

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. José Ricardo Queiroz Franco, meu orientador, pelas contribuições, paciência e estímulo que foram fundamentais à elaboração desta dissertação.

Ao Prof. Sebastião Salvador, meu orientador acadêmico.

Aos professores, funcionários e colegas do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, que de alguma forma contribuíram neste trabalho.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico pela ajuda financeira.

## ABSTRACT

The aim of the present work is to present a novel technique for plastic analysis (limit analysis) of framed structures, based on a kinematic principles (Upper Bound Theorem). The technique consists of transforming the structural problem into an optimization problem, which is solved by Linear Programming. The solution of the problem is obtained by optimizing the load function applied to the structure which is subjected to a set of restrictions such like the equations of equilibrium and the ultimate resistance of the cross section to bending. Such restrictions are set into the problem as equalities and inequalities. The solution of the problem is presented as collapse load factor,  $\lambda_c$ , and the corresponding mechanism of collapse.

This work also encompass the automatic definition of the equations of equilibrium for modular rectangular framed structures and a similar technique developed for minimum weight design. The minimum weight design technique was formulated based on the weight compatibility mechanism and the Foulkes Theorem. The problem is solved in a similar form to the previous one.

The automatic calculations are obtained through a computational program developed in FORTRAN for this purpose.



## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar técnica desenvolvida para análise plástica (Análise Limite) de estruturas reticulares, baseada em princípios cinemáticos (Upper Bound Theorem). A técnica consiste na transformação do problema estrutural em um problema de otimização que será resolvido através de Programação Linear (P.L.). O problema consiste fundamentalmente da minimização da função de carga aplicada à estrutura (carga mínima de colapso) sujeita a uma série de restrições tais como as equações de equilíbrio. As equações de equilíbrio podem ser obtidas automaticamente para estruturas aporticadas de vãos e ou andares múltiplos. Tais restrições aparecem no problema como equações e inequações lineares. O que se obtém como resultado é o fator de carga de colapso,  $\lambda_c$ , associado ao mecanismo de colapso correspondente.

Também, como parte deste trabalho, foi desenvolvida a técnica para minimização de peso de estruturas reticulares formulada através do mecanismo de compatibilidade de peso (Teorema de Foulkes). O problema é resolvido de forma semelhante ao do anterior.

A automatização dos cálculos foi feita com um programa computacional desenvolvido em linguagem FORTRAN.

## SUMÁRIO

---

|  |     |
|--|-----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                | 01  |
| 2. ANÁLISE PLÁSTICA: REVISÃO DE CONCEITOS .....    | 06  |
| 3. ANÁLISE PLÁSTICA VIA PROGRAMAÇÃO LINEAR .....   | 44  |
| 4. AUTOMATIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE EQUILÍBRIO .....  | 64  |
| 5. PESO MÍNIMO VIA PROGRAMAÇÃO LINEAR .....        | 95  |
| 6. CONCLUSÃO E TÓPICOS PARA FUTURAS PESQUISAS..... | 120 |
| 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....                  | 121 |
| 8. BIBLIOGRAFIA .....                              | 125 |
| 9. ANEXO I   |     |
| 10. ANEXO II                                       |     |
| 11. ANEXO III                                      |     |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura (2-1) - Relação Tensão x Deformação .....                                   | 07 |
| Figura (2-2) - Seções transversais simétricas submetidas a tensões de flexão ..... | 09 |
| Figura (2-3) - Seção qualquer platificada .....                                    | 09 |
| Figura (2-4) - Viga biapoiada .....  | 17 |
| Figura (2-5) - Deformações elástica e plástica .....                               | 19 |
| Figura (2-6) - Mecanismo de viga .....   | 19 |
| Figura (2-7) - Relação Carga x Deformação .....                                    | 20 |
| Figura (2-8) - Viga biengastada .....  | 22 |
| Figura (2-9) - Diagrama de momentos elásticos .....                                | 22 |
| Figura (2-10) Deformação no regime elasto-plástico .....                           | 23 |
| Figura (2-11) - Diagrama de momentos fletores elasto-plástico .....                | 24 |
| Figura (2-12) - Deformações elástica e elasto-plástica ...                         | 25 |



|  |    |
|--|----|
| Figura (2-13) - Diagrama de momentos fletores plásticos ..         | 27 |
| Figura (2-14) - Mecanismo de viga .....                            | 28 |
| Figura (2-15) - Relação $W \times \delta$ - Viga biengastada ..... | 29 |
| Figura (2-16) - Pórtico .....                                      | 31 |
| Figura (2-17) - Mecanismos independentes .....                     | 32 |
| Figura (3-1) - Viga biengastada .....                              | 52 |
| Figura (3-2) - Mecanismo de viga .....                             | 52 |
| Figura (3-3) - Mecanismo de colapso .....                          | 55 |
| Figura (3-4) - Pórtico .....                                       | 56 |
| Figura (3-5) - Mecanismos independentes .....                      | 57 |
| Figura (3-6) - Mecanismo de colapso .....                          | 60 |
| Figura (3-7) - Pórtico .....                                       | 60 |
| Figura (3-8) - Mecanismos independentes .....                      | 61 |
| Figura (3-9) - Mecanismo de colapso .....                          | 63 |

|   |    |
|---|----|
| Figura (4-1) - Exemplo de numeração de barras e nós para pórticos ..... | 67 |
| Figura (4-2) - Posições das rótulas nas barras .....                    | 71 |
| Figura (4-3) - Mecanismo de andar .....                                 | 72 |
| Figura (4-4) - Mecanismo de viga .....                                  | 73 |
| Figura (4-5) - Mecanismo de nó .....                                    | 73 |
| Figura (4-6) - Numeração para as vigas .....                            | 74 |
| Figura (4-7) - Pórtico .....  | 77 |
| Figura (4-8) - Posição das rótulas plásticas .....                      | 80 |
| Figura (4-9) - Pórtico .....  | 81 |
| Figura (4-10) - Viga .....  | 84 |
| Figura (4-11) - Pórtico .....   | 86 |
| Figura (4-12) - Posição das rótulas plásticas .....                     | 89 |
| Figura (4-13) - Pórtico .....   | 90 |
| Figura (4-14) - Posição das rótulas plásticas .....                     | 94 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura (5-1) - Pórtico .....   | 98  |
| Figura (5-2) - Representação Gráfica da Analogia Geométrica<br>..... | 101 |
| Figura (5-3) - Pórtico .....   | 117 |
| Figura (5-4) - Viga .....  | 118 |



## 1. INTRODUÇÃO

---

### 1.1. Considerações Gerais

Nos dias de hoje, os conceitos de estado limite aplicados a projetos de estruturas prediais de aço começam a ter larga aceitação, nos países desenvolvidos. Várias normas internacionais, e também a NBR 8800/86 [1], já prevêem a utilização desses conceitos como critérios de projeto, desde que sejam atendidas uma série de condições que garantam o colapso plástico, caracterizado pela formação de mecanismo, como o estado limite último predominante.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar técnica desenvolvida para análise plástica (Análise Limite) de estruturas reticulares, baseada em princípios cinemáticos (Upper Bound Theorem), pelo método inicialmente proposto por Neal [2], Neal e Symonds [3], [4]. A técnica consiste na transformação do problema estrutural em um problema de otimização que será resolvido através de Programação Linear (P.L.). O problema consiste fundamentalmente na minimização da função de carga aplicada à estrutura (carga mínima de colapso) sujeita a uma série de restrições tais como as equações de equilíbrio. Tais restrições aparecem no problema como equações e inequações lineares, formando um sistema que deve ser resolvido via P.L. . Como todas as cargas são proporcionais a um fator de carga  $\lambda$ , o que se pretende obter

como resultado é o fator de carga de colapso,  $\lambda_c$ , associado ao mecanismo de colapso correspondente.

Também, como parte deste trabalho, foi desenvolvida a técnica para minimização de peso de estruturas reticulares formulada através do mecanismo de compatibilidade de peso (Teorema de Foulkes) [5] sendo o problema resolvido de forma semelhante ao anterior.

Para automatização das análises foram desenvolvidos algoritmos capazes de traduzir as técnicas mencionadas para uma linguagem computacional. Desenvolveu-se, também, pré-processadores para geração automática dos dados de entrada e das equações de equilíbrio correspondentes aos mecanismos de colapso independentes.

## 1.2. Hipóteses Básicas

Neste trabalho a técnica para análise plástica de estruturas reticulares foi desenvolvida sujeita a algumas hipóteses básicas sugeridas e adotadas em vários trabalhos entre os quais podem-se destacar BAKER, HORNE, HEYMAN [6], BEEDLE [7], NEAL [2] entre outros. A primeira delas refere-se a resistência da estrutura à ação de momentos fletores, sendo este considerado o meio principal pelo qual as cargas são suportadas. A segunda hipótese refere-se ao dimensionamento, onde a RESISTÊNCIA ÚLTIMA é o critério adotado para o dimensionamento da barra. A terceira hipótese refere-se aos efeitos das forças axiais e forças cortantes que são considerados desprezíveis. Os efeitos da mudança de



geometria nas equações de equilíbrio também NÃO estão incluídos nos cálculos. A adoção do critério de resistência última da estrutura implica ainda na não ocorrência de nenhum tipo de instabilidade estrutural ou fadiga, no caso de cargas cíclicas.

### 1.3. Razões para o estudo e adoção da Análise Plástica

A adoção do cálculo no regime plástico foi um processo gradativo, que teve fundamentalmente as seguintes razões:

- a existência de certos materiais com a propriedade de apresentarem um patamar de escoamento definido;

- a possibilidade de se admitir, com confiabilidade, que as seções totalmente plastificadas se comportem como articulações;

- o melhor conhecimento da situação de colapso;

- a independência do colapso plástico de uma série de fatores como imperfeição na rigidez dos nós, rotações de apoios (engaste) e da presença das tensões residuais. Além destas, com a competitividade do mercado de hoje, cresceu a necessidade de desenvolvimento de técnicas que conduzissem a dimensionamentos mais econômicos. Assim a Análise Plástica começa a se destacar já que nos projetos baseados no regime plástico as cargas limites são bem superiores as do regime elástico.



#### 1.4. Resumo dos objetivos do presente trabalho

O presente trabalho tem como objetivo apresentar soluções para problemas de análise plástica bem como formulação matemática para que a mesma possa ser traduzida em linguagem computacional.

Baseado nisto, foi desenvolvido um programa para microcomputadores em linguagem FORTRAN, com o objetivo de automatizar a geração das equações de equilíbrio referentes aos mecanismos de colapso independentes para pórticos planos. O problema será resolvido via programação linear através do método SIMPLEX [8].

Para testar a confiabilidade do método apresentado, de técnicas de otimização de peso de estruturas via programação linear, foram resolvidos uma série de exemplos da literatura com os quais foi feito um estudo comparativo minucioso.

Espera-se que este trabalho possa servir como um texto auxiliar inicial para aqueles que se interessam pelo estudo da análise plástica e que porventura desejam dar continuidade a ele.

## 1.5. Resumo do conteúdo da dissertação

No capítulo dois é feita uma revisão de conceitos importantes para o entendimento deste trabalho. São revistos os conceitos de rótulas plásticas, momento plástico, o princípio do trabalho virtual, os teoremas básicos, colapso plástico e com o objetivo de ilustrar são feitos três exemplos "passo a passo" da obtenção da carga de colapso e do mecanismo correspondente.

O capítulo três trata da aplicação da técnica de programação linear em problemas de análise plástica de estruturas reticulares. Toda a análise é baseada em princípios cinemáticos. É feita uma modelagem matemática do problema e sua solução é obtida utilizando o método SIMPLEX de programação linear.

O capítulo quatro tem o objetivo de apresentar a técnica desenvolvida para automatizar a obtenção das equações de equilíbrio para pórticos planos e vigas. Para tal foi desenvolvida uma sub-rotina em FORTRAN que está detalhada neste capítulo.

O capítulo cinco apresenta a técnica de programação linear para calcular o peso mínimo de estruturas. O programa computacional desenvolvido com o objetivo de automatizar o processo é também apresentado e discutido.

No capítulo seis são feitas algumas considerações finais e sugestões para trabalhos posteriores.

## 2. ANÁLISE PLÁSTICA: REVISÃO DE CONCEITOS

---

### 2.1. Introdução

Este capítulo tem como objetivo rever alguns tópicos importantes da análise plástica. Estes conceitos são fundamentais para a compreensão deste trabalho e esta revisão foi incluída neste texto como subsídio para futuros trabalhos, já que, apesar da vasta bibliografia internacional disponível, o material nacional é escasso.

Todos os temas referidos neste capítulo podem ser encontrados, para uma leitura complementar, nas seguintes referências: NEAL [2], BAKER, HORNE, HEYMAN [6], BEEDLE [7], BRESLER, LIN [9], DANIELS [10], FRANCO [11], GERE, TIMOSHENKO [12], GERE, WEAVER [13], HEYMAN [14], HORNE [15], HORNE, MORRIS [16], QUEIROZ [17].

Dentre os principais conceitos destacam-se o de rótula plástica, momento plástico, princípio do trabalho virtual aplicado à análise plástica, os teoremas básicos e a definição de colapso plástico.

Além destes são apresentados três exemplos passo-a-passo da análise elasto-plástica, a saber:

- viga biapoiada com uma carga concentrada no meio do vão;

- viga biengastada com carga distribuída;



- pórtico hiperestático.

O objetivo da apresentação destes exemplos, é mostrar o comportamento estrutural acima do limite de proporcionalidade até a carga de colapso.

## 2.2. Definição de Rótula Plástica

Uma consideração básica da análise plástica de estruturas estaticamente indeterminadas é que o material seja dúctil. Assim, o material é levado a se deformar plasticamente e antes do colapso a estrutura passa por um processo de redistribuição de tensões.

A figura 2.1 mostra o comportamento de um material idealizado, submetido a um carregamento uniaxial.

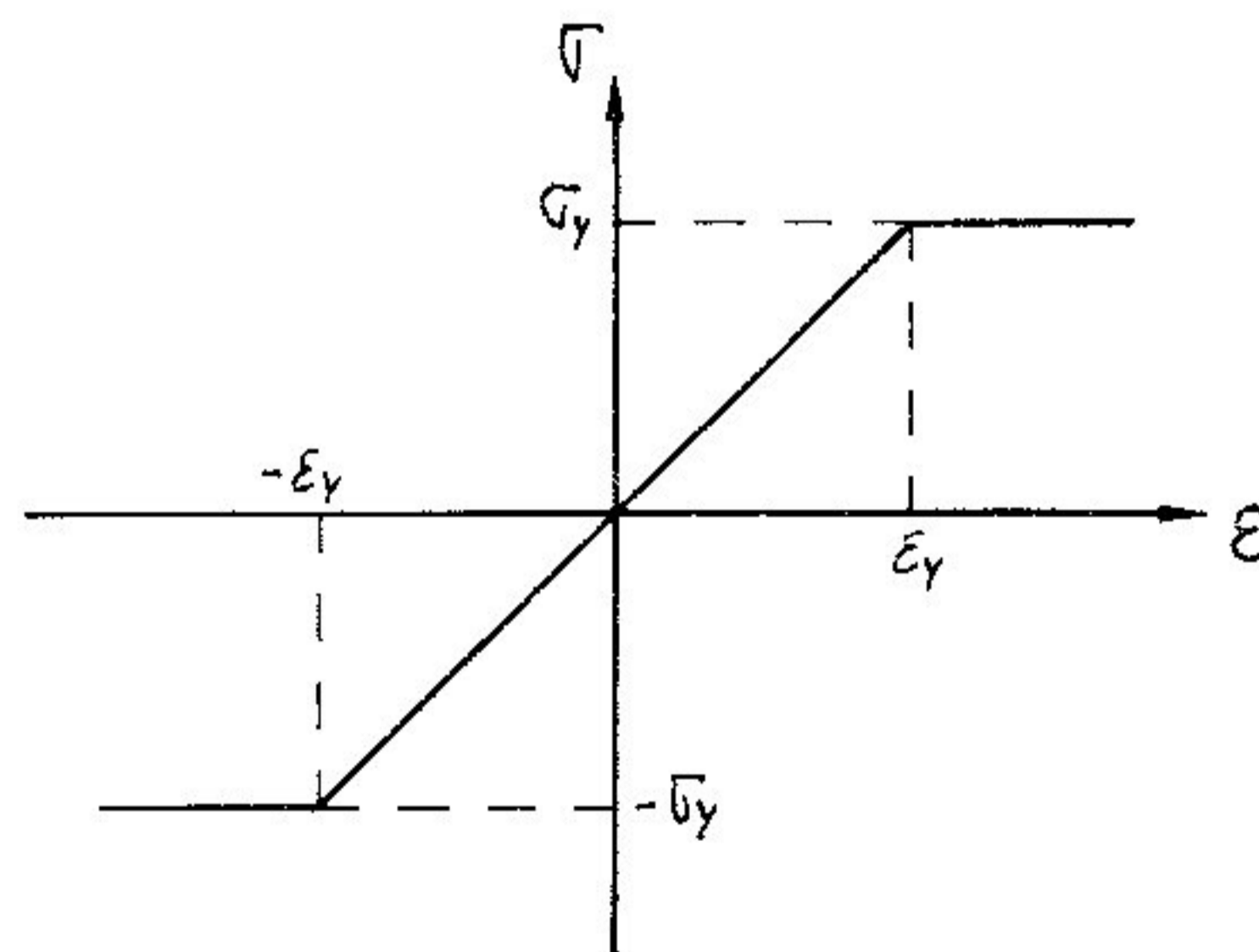


Figura 2.1 - Relação Tensão x Deformação

A proporcionalidade entre a força e o alongamento só existe até um certo valor limite da tensão, chamado limite de proporcionalidade, o qual depende das propriedades do material. Esta é a chamada fase elástica. O comportamento dos materiais acima deste limite é variável. É a chamada fase plástica. É a fase em que o material se deforma continuamente sob uma tensão constante. A simples relação de tensão-deformação elástica-perfeitamente plástica mostrada na figura leva a cálculos bem simples e representa uma aproximação muito boa do comportamento da maioria dos aços estruturais.

Considere-se uma relação entre tensão e deformação para uma barra submetida a um momento fletor. Inicialmente a máxima tensão ( $\sigma$ ) varia linearmente com a deformação ( $\epsilon$ ) de tal forma que  $\epsilon \leq \epsilon_v$  e  $\sigma \leq \sigma_v$  ou seja no limite de proporcionalidade. A figura 2.2(a) nos mostra esta situação para seções transversais simétricas. Suponha-se que agora o momento fletor aumente de forma tal que somente o material do bordo da seção estará escoando, como é mostrado na figura 2.2(b). A medida que o momento fletor cresce, o escoamento se espalha na direção do eixo de deformação zero. Este eixo de tensão e de deformação zero divide a seção transversal em duas áreas iguais. Quando todo o material da seção escoar é dito que a mesma está totalmente plastificada e se comportará como se fosse uma rótula, pois, a deformação cresce em toda a seção transversal sem nenhuma variação de tensão. Este comportamento de rótula mostrado na figura

2.2(c) é denominado Rótula Plástica.

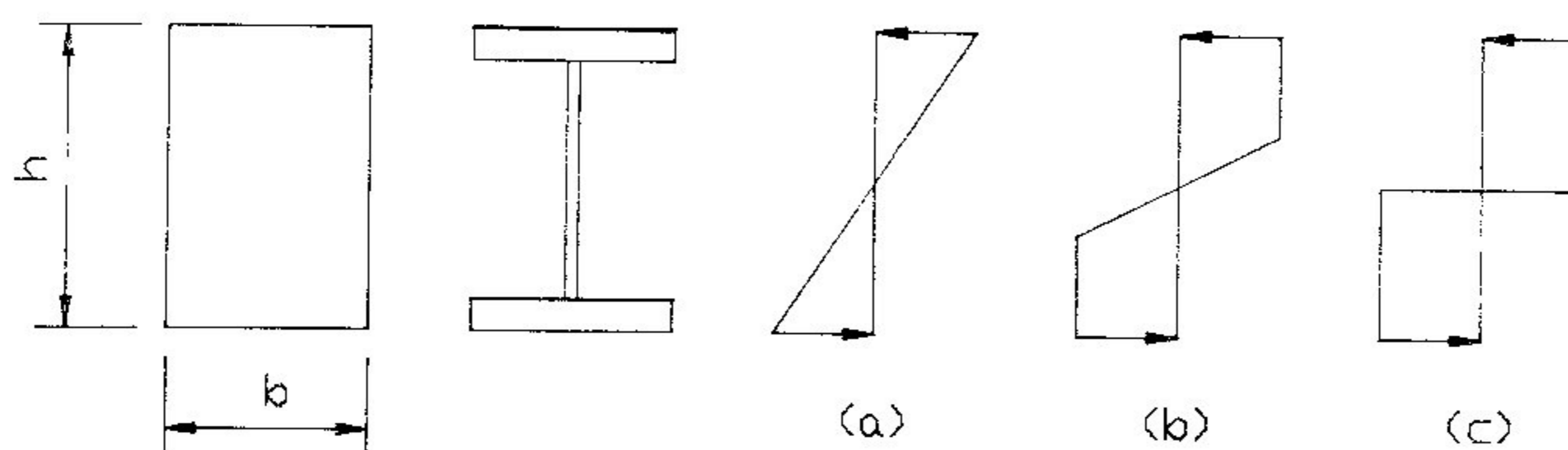


Figura 2.2 - Seções transversais simétricas submetidas a tensões de flexão

### 2.3. Cálculo do Momento Plástico

Para a determinação do momento plástico considere uma seção transversal qualquer submetida à flexão em relação ao eixo  $x$  e o diagrama de distribuição de tensões correspondente a uma rótula plástica, como mostra a figura 2.3.

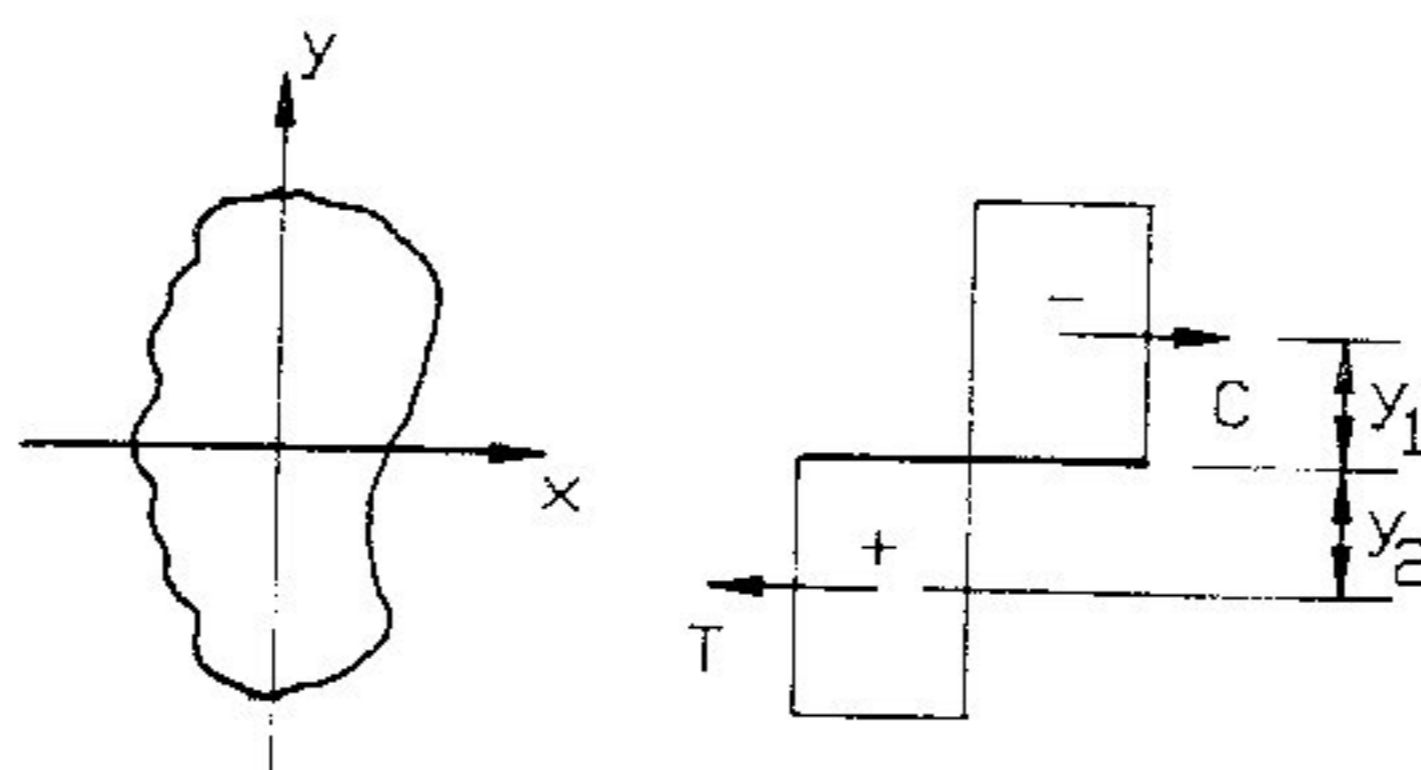


Figura 2.3 - Seção qualquer plastificada



Uma vez formada a rótula plástica, a equação de equilíbrio da seção transversal pode ser escrita como:

$$C = T \quad (2.1)$$

onde  $C$  é a força normal de compressão acima do eixo de deformação zero e  $T$  a força normal de tração abaixo do eixo. Assim,

$$A_c \sigma_y = A_t \sigma_y \quad (2.2)$$

onde:  $A_c$  = área comprimida

$A_t$  = área tracionada

Tais forças correspondem a um momento fletor aplicado igual ao momento plástico  $M_p$  e o equilíbrio de momentos em relação ao eixo de deformação zero fornece:

$$M_p = C y_1 + T y_2 \quad (2.3)$$

$$M_p = A_c \sigma_y y_1 + A_t \sigma_y y_2 \quad (2.4)$$

$$M_p = \sigma_y (A_c y_1 + A_t y_2) \quad (2.5)$$

$$Z_x = A_c y_1 + A_t y_2 \quad (2.6)$$

$$M_p = Z_x \sigma_y \quad (2.7)$$

onde  $Z_x$  é o módulo de resistência plástica da seção transversal. Este módulo plástico é uma propriedade geométrica da seção.

A razão entre o módulo plástico e o módulo elástico é denominada fator de forma da seção. Assim,

$$f = \frac{Z_x}{W_x} \quad (2.8)$$

#### 2.4. Princípio do Trabalho Virtual

O princípio do trabalho virtual pode ser aplicado na análise plástica como uma forma de obter as equações de equilíbrio e de compatibilidade de cada estrutura. Este princípio é apresentado de duas maneiras. A primeira envolve um sistema de forças (cargas e momentos) que satisfazem as equações de equilíbrio e a segunda envolve um sistema de deslocamentos (translações perpendiculares ao eixo da barra, curvaturas e rotações) que satisfazem as equações de compatibilidade.

Seja a equação abaixo:

$$\sum P\delta = \int M\kappa ds + \sum M\theta \quad (2.9)$$

onde,

$M$  = qualquer distribuição de momento fletor satisfazendo as equações de equilíbrio;

$P$  = carga concentrada externa

$\kappa$  = qualquer distribuição de curvaturas compatível com as rotações das rótulas  $\theta$  e translações perpendiculares aos eixos das barras  $\delta$ .

O somatório do lado esquerdo da equação abrange todos os pontos de aplicação das cargas externas. Do lado direito da equação a integral abrange todas as barras da estrutura com a distância  $s$  medida ao longo de cada barra e o somatório inclui todas as seções onde possam existir rotações de rótula (nó).

Para convenção de sinal é adotado como direção positiva da força  $P$  a mesma direção positiva correspondente ao deslocamento  $\delta$ , ou seja, o deslocamento tem que ser consistente com a força. Similarmente, a convenção de sinal para  $\kappa$  e  $\theta$  tem que ser consistente com  $M$ .

A equação do Princípio do Trabalho Virtual pode ser aplicada com uma abordagem cinemática ou estática como segue:

1) Sistema de deslocamento virtual  $(\delta^*, \kappa^*, \theta^*)$ . Isto significa que deslocamentos, curvaturas e rotações das rótulas podem ser escolhidos arbitrariamente, submetidos apenas aos requisitos da compatibilidade. Este procedimento, baseado em considerações cinemáticas, é conhecido como Princípio de Deslocamento Virtual e é usado para gerar as equações de equilíbrio.

Este princípio cinemático pode ser enunciado da seguinte forma: " Se um sistema de forças em equilíbrio está submetido a um deslocamento virtual compatível com as



restrições vinculares, o trabalho realizado pelas forças externas é igual ao trabalho realizado pelas forças internas".

2) Sistema de força virtual  $(P^*, M^*)$ . Aqui forças e momentos são escolhidos arbitrariamente, submetidos apenas aos requisitos do equilíbrio. Denominado Princípio das Forças Virtuais, este procedimento, baseado em considerações de equilíbrio estático, é usado para determinar as equações de compatibilidade.

Para este princípio devem ser considerados dois sistemas de carga. O primeiro é relativo à estrutura em sua condição real, isto é, sistema de carga real aplicado à estrutura. O segundo sistema consiste de uma carga unitária aplicada à mesma estrutura correspondente ao deslocamento desejado. Se o deslocamento a ser calculado for uma translação, então a carga unitária é uma força concentrada no ponto onde o deslocamento ocorre. Se o deslocamento for uma rotação, então a carga unitária é um binário. No caso do deslocamento relativo entre dois pontos ao longo da linha que os une, a carga unitária consiste em duas forças co-lineares e opostas que atuam nos dois pontos. Sendo o deslocamento uma rotação relativa entre dois pontos, a carga unitária consiste em dois binários iguais e opostos aplicados nos pontos.

As duas formas do Princípio serão usadas para as análises "Passo-a-Passo" dos exemplos apresentados neste capítulo.

## 2.5. Teoremas Básicos

A Teoria da Plasticidade fornece ferramentas que possibilitam o estudo de estruturas mais complexas. Tais ferramentas são os chamados Teoremas Limites (Bound Theorems), que caracterizam os dois tipos de abordagem mencionados do problema (estática e cinemática). Nesta dissertação foi adotado a abordagem cinemática no qual é estudado o modo de deformação (mecanismo de colapso) e o equilíbrio de energia.

### 2.5.1. Teorema Estático (Lower-Bound Theorem)

Em geral, existem várias distribuições de momentos fletores para uma estrutura reticular hiperestática que satisfazem as condições de equilíbrio estático com um conjunto de cargas externas.

A condição necessária para uma estrutura ser capaz de sustentar um conjunto de cargas dado é que exista pelo menos uma distribuição segura de momentos fletores e que seja estaticamente admissível para as cargas dadas.

O enunciado formal deste teorema supõe que a estrutura está submetida a um carregamento único, sendo cada carga  $\lambda P_1, \lambda P_2, \lambda P_3, \dots, \lambda P_n$  aplicada a um ponto dado numa direção definida. As cargas  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  são fixas por hipótese e  $\lambda$  é o fator de carga. O fator de carga que causa o colapso plástico é definido como  $\lambda_c$ , fator de



carga de colapso.

As cargas são especificadas completamente pelo valor de  $\lambda$ , e podem ser identificadas coletivamente como um conjunto de cargas  $\lambda$ .

Teorema: "Se existe qualquer distribuição de momentos fletores através de uma estrutura que seja segura e estaticamente admissível para as cargas  $\lambda$ , o valor de  $\lambda$  tem que ser menor ou igual ao fator de carga de colapso  $\lambda_c$ ."

#### 2.5.2. Teorema Cinemático (Upper-Bound Theorem)

Se o mecanismo real de colapso é conhecido para uma dada estrutura e carregamento, o fator de carga de colapso pode ser obtido equacionando o trabalho realizado pelas cargas durante um pequeno movimento do mecanismo de colapso ao trabalho absorvido nas rótulas plásticas, conceito básico do Princípio do Deslocamento Virtual.

Quando o mecanismo real de colapso não é conhecido a equação do trabalho pode ser escrita para qualquer mecanismo. O valor de  $\lambda$  será obtido para o mecanismo correspondente.

O teorema cinemático diz respeito aos valores correspondentes de  $\lambda$ , e pode ser escrito assim:

"Para uma dada estrutura submetida a um carregamento único (conjunto de cargas  $\lambda$ ), o valor de  $\lambda$  que correspondente a um mecanismo qualquer assumido tem que ser maior ou igual ao fator de carga de colapso  $\lambda_c$ ."



### 2.5.3. Teorema da Unicidade

Os teoremas cinemático e estático podem ser combinados e formar o teorema da Unicidade.

Assim,

"Para uma dada estrutura e um conjunto de cargas  $\lambda$ , se existir pelo menos uma maneira segura e estaticamente admissível de distribuição de momentos fletores, na qual o momento plástico ocorre em um número suficiente de seções transversais para produzir um mecanismo, o correspondente fator de carga será o fator de carga real de colapso  $\lambda_c$ ."

### 2.6. Colapso Plástico

Seja uma estrutura hiperestática sujeita a um carregamento único. Com o acréscimo contínuo de cargas aparecerão rótulas plásticas sucessivas na estrutura reduzindo o grau hiperestático da mesma. O colapso plástico só ocorre quando um número suficiente de rótulas plásticas se forma transformando a estrutura em um mecanismo.

A carga de colapso plástico não é afetada pelas tensões residuais, imperfeição das barras, rotações das rótulas plásticas que tenham ocorridos durante carregamentos anteriores ou movimento de apoios (imperfeição de engastes).

Em estruturas que possuem barras sujeitas a grandes esforços axiais estes efeitos devem ser analisados pois influenciam na carga de colapso.

## 2.7. Casos Simples de Colapso Plástico

Com o objetivo de ilustrar os conceitos vistos, determina-se agora a carga de colapso plástico e o mecanismo de colapso correspondente para algumas estruturas. Para que a análise fique bem clara, será mostrada cada etapa de cálculo "Passo-a-Passo".

### 2.7.1. Viga biapoiada com carga concentrada

Seja uma viga biapoiada de vão  $l$  submetida a uma carga concentrada  $w$  no meio do vão como mostra a figura 2.4:

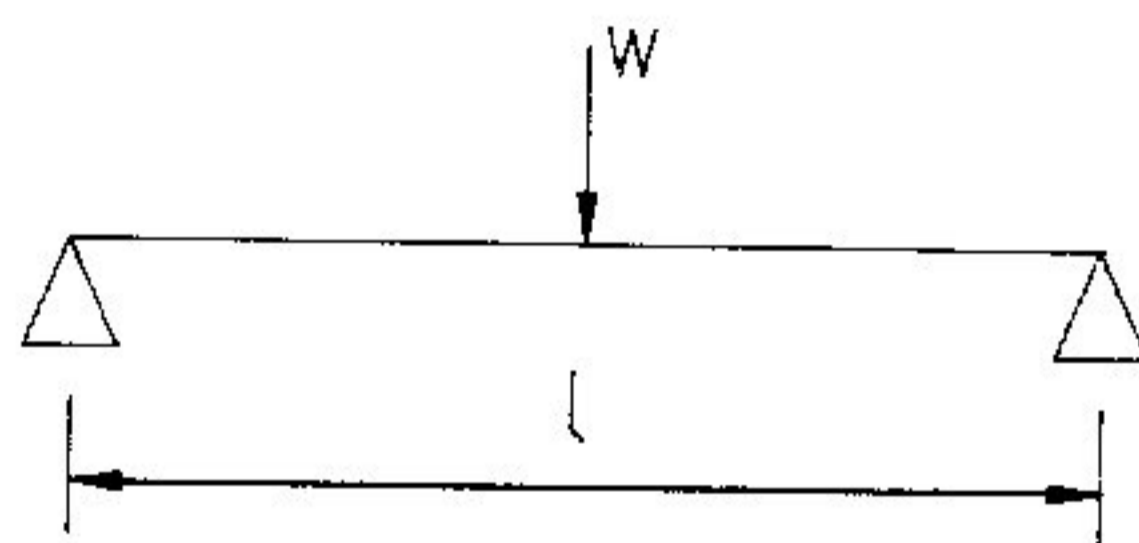


Figura 2.4 - Viga Biapoiada

A carga  $w$  cresce a partir de zero até que a carga elástica crítica  $w_y$  seja atingida, ou seja, é a carga que define o início do escoamento da seção mais solicitada cujo momento fletor é  $M_y$ .

$$M = \frac{w l}{4} \quad (2.10)$$

$$M_y = \frac{w_y l^3}{4} \quad (2.11)$$

A flecha na região central nesta fase é dado por:

$$\delta_y = \frac{w_y l^3}{48 E I} \quad (2.12)$$

Com o aumento da carga  $w$ , a seção central, aonde a tensão é máxima, começa a escoar. Esta fase é dita elasto-plástica. Aqui começam a aparecer as deformações permanentes. A deformação já não é mais proporcional à carga.

Em um dado instante o momento fletor no meio do vão atinge o valor  $M_p$  e uma rótula plástica se forma embaixo da carga. Esta carga é a de colapso  $w_c$  e é obtida fazendo  $M = M_p$ .

$$w_c = \frac{4 M_p}{l} \quad (2.13)$$

A viga continua a sofrer deformação com a carga constante devido a rotação da rótula plástica e então o colapso plástico ocorre.

Durante o colapso,  $w_c$  e  $M_p$  não variam, o que implica em uma curvatura  $\kappa$  constante. Portanto, o aumento da flecha durante o colapso é devido exclusivamente à rotação da rótula plástica central. A figura 2.5 ilustra esta deformação.



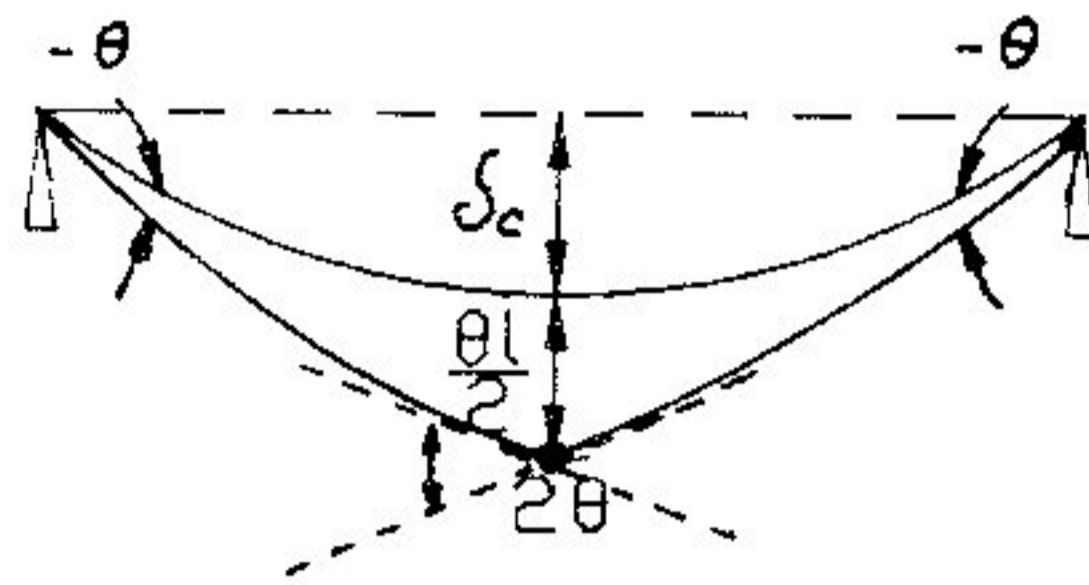


Figura 2.5 - Deformações elástica e plástica

A curvatura das metades da viga é a mesma. A figura 2.6 representa o mecanismo de colapso. Este mecanismo é conhecido como *Mecanismo de Viga*.

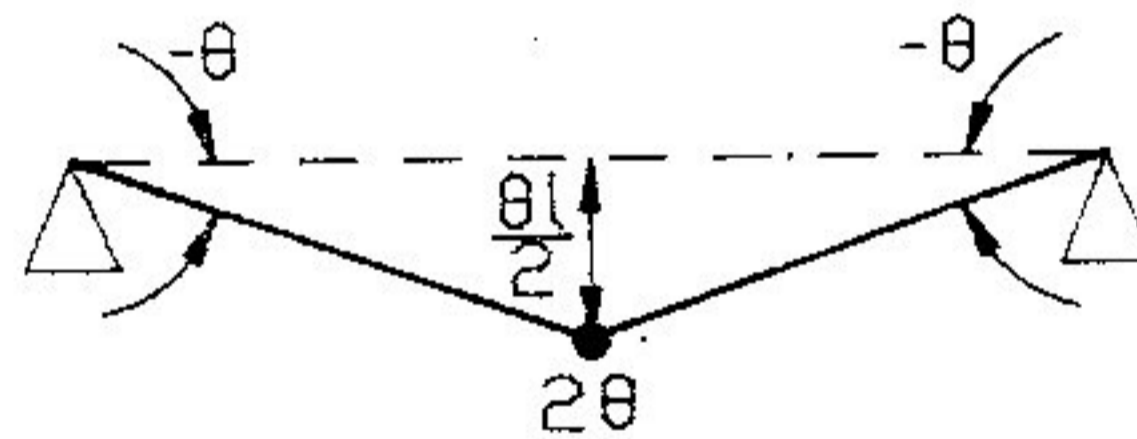


Figura 2.6 - Mecanismo de Viga

A rotação e a translação perpendicular ao eixo da barra adicional durante o colapso plástico são indefinidas. Entretanto, se as deformações se tornarem muito acentuadas ocorrerá uma mudança de geometria da estrutura o que afetaria as condições de equilíbrio.

A Teoria Plástica simples não abrange tais casos; ela só estima as cargas nas quais as grandes deformações perpendiculares aos eixos das barras são iminentes (ponto 'c' no gráfico da figura 2.7).

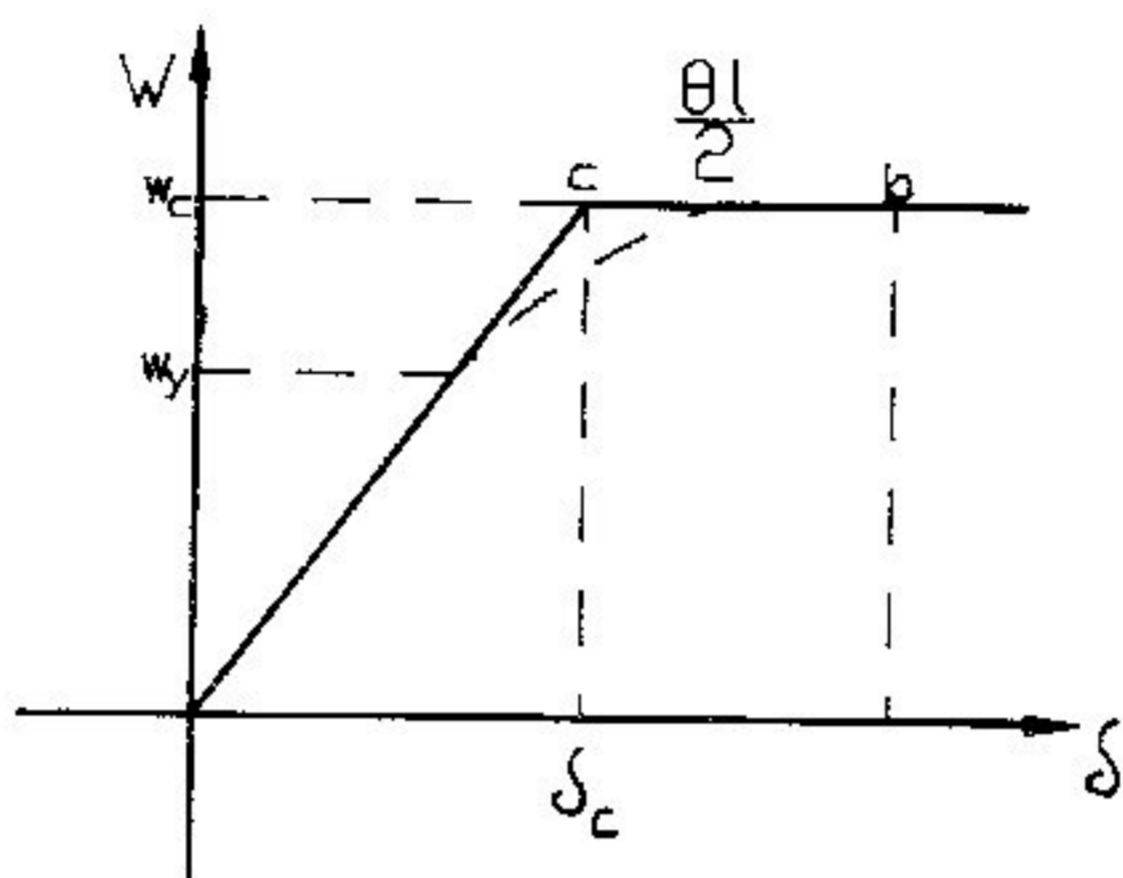


Figura 2.7 - Relação carga x deformação

A linha tracejada no gráfico mostra qualitativamente o efeito de levar em consideração a plastificação intermediária da seção que precede a formação da rótula.

Para este simples exemplo a razão entre a carga de colapso  $w_c$  e a carga  $w_y$  (elástica) é igual a  $f$  (fator de forma). Esta razão é válida para qualquer estrutura estaticamente determinada:

$$f = \frac{w_c}{w_y} \quad (2.14)$$

O momento fletor máximo é proporcional à carga e ocorre na mesma seção. A plastificação ocorre quando o maior momento é  $M_p$ , pois o aparecimento de uma simples rótula é suficiente para transformar uma estrutura isostática em um mecanismo.

$$f = \frac{w_c}{w_y} = \frac{M_p}{M_y} \quad (2.15)$$

O procedimento visto até agora foi o de igualar o momento máximo com o momento plástico, para se obter a carga de colapso plástico. Este procedimento é chamado *estático*.

Um outro processo para se obter a carga de colapso plástico é o procedimento *cinemático*. Parte-se do propósito de que durante o colapso não há variação na energia de deformação elástica armazenada na viga. O trabalho realizado pelo carregamento durante um pequeno movimento no mecanismo de colapso é então igual ao trabalho absorvido pela rótula plástica. Desta forma:

$$w_c \frac{l \theta}{2} = M_p 2\theta \quad (2.16)$$

$$w_c = \frac{4 M_p}{l} \quad (2.17)$$

### 2.7.2. Barra biengastada com carga distribuída

Será analisado agora o comportamento de uma barra biengastada submetida a uma carga distribuída  $q$ , de vão  $l$  e



de rigidez a flexão  $EI$ , como mostra a figura 2.8.

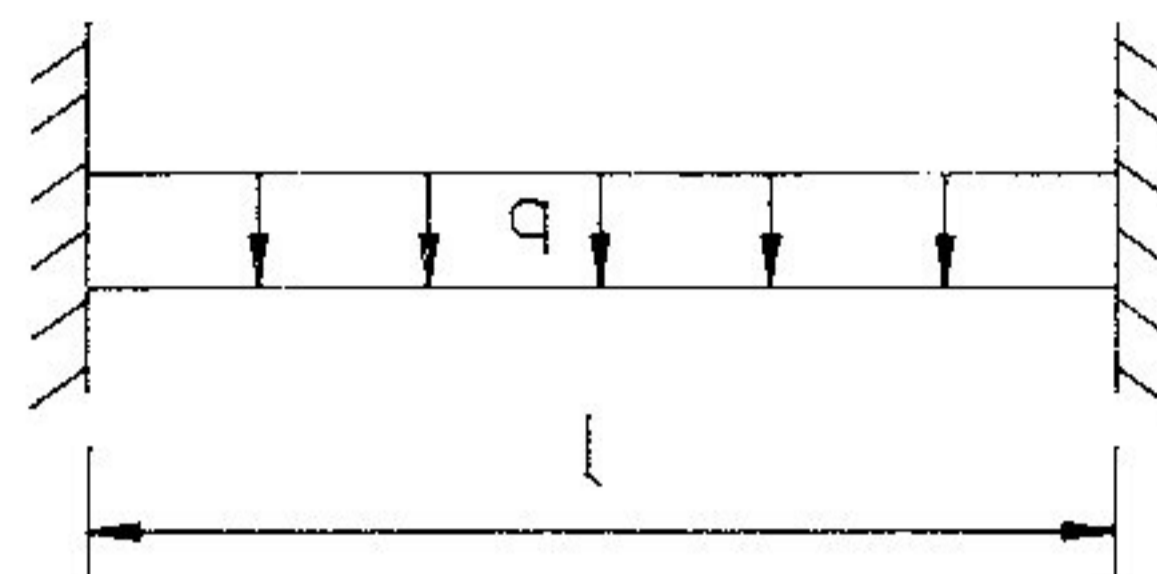


Figura 2.8 - Viga Biengastada

Chama-se de  $w$  ao produto da carga distribuída  $q$  pelo vão  $l$ ,

$$w = ql \quad (2.18)$$

Da estática temos:

$$M_1 = \frac{-w l}{12} \quad (2.19)$$

$$M_2 = \frac{w l}{24} \quad (2.20)$$

$$M_2 - M_1 = \frac{w l}{8} \quad (2.21)$$

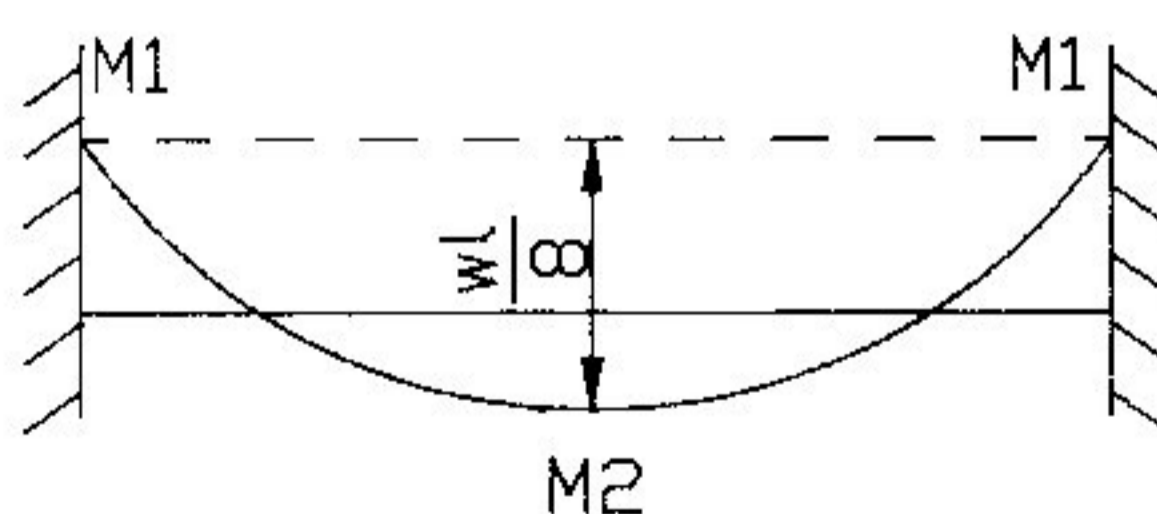


Figura 2.9 - Diagrama de momentos fletores elásticos

O estado de deformação mostrado na figura 2.10 forma base para cálculos que serão apresentados a seguir. Neste caso, a viga sofreu uma rotação  $-\theta_1$  em cada extremidade e o vão inteiro é suposto estar no regime elástico.

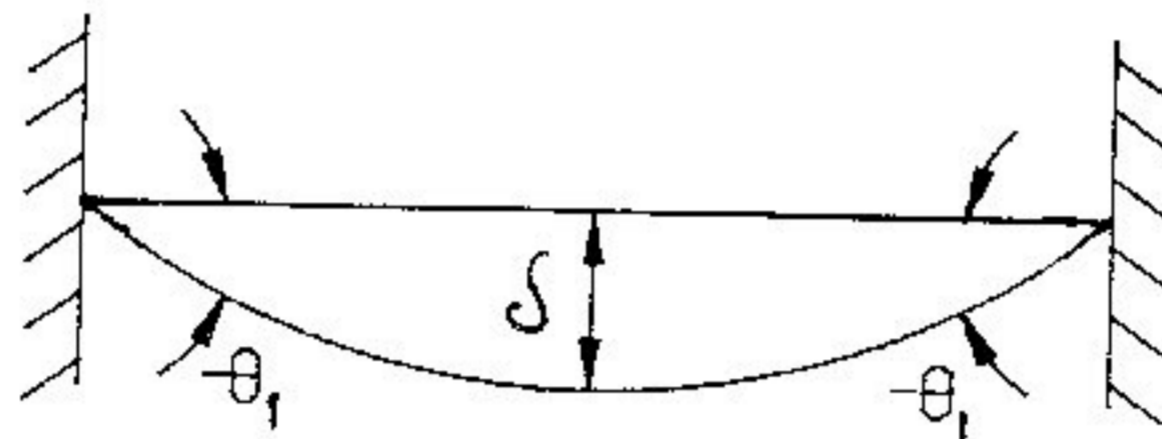


Figura 2.10 - Deformação no regime elasto-plástico

A análise elástica nos fornece as seguintes equações de compatibilidade:

$$M_1 = -\frac{1}{12} w l^2 - \frac{2 E I \theta_1}{l} \quad (2.22)$$

$$\delta = \frac{w l^3}{384 E I} - \frac{1}{4} l \theta_1 \quad (2.23)$$

Se  $q$  é acrescida proporcionalmente a partir de zero, o comportamento é totalmente elástico até que  $w = w_y$ ,  $\theta_1 = 0$ , então,

$$M_1 = -\frac{1}{12} w_y l^2 \quad (2.24)$$

$$M_2 = \frac{1}{24} w_y l^3 \quad (2.25)$$

$$\delta = \frac{w_y l^3}{384 E I} \quad (2.26)$$

A figura 2.12(a) mostra a forma deformada para estrutura na fase elástica.

O comportamento elástico cessa quando  $M_1 = M_{pl}$ , então as rótulas plásticas se formam nas extremidades da barra. Assim, a carga  $w_p$  é dada por:

$$-\frac{1}{12} w_p l^3 = -M_p \quad (2.27)$$

$$w_p = \frac{12 M_p}{l} \quad (2.28)$$

Para este valor de carga  $w_p$  o estado da viga passa a ser o seguinte:

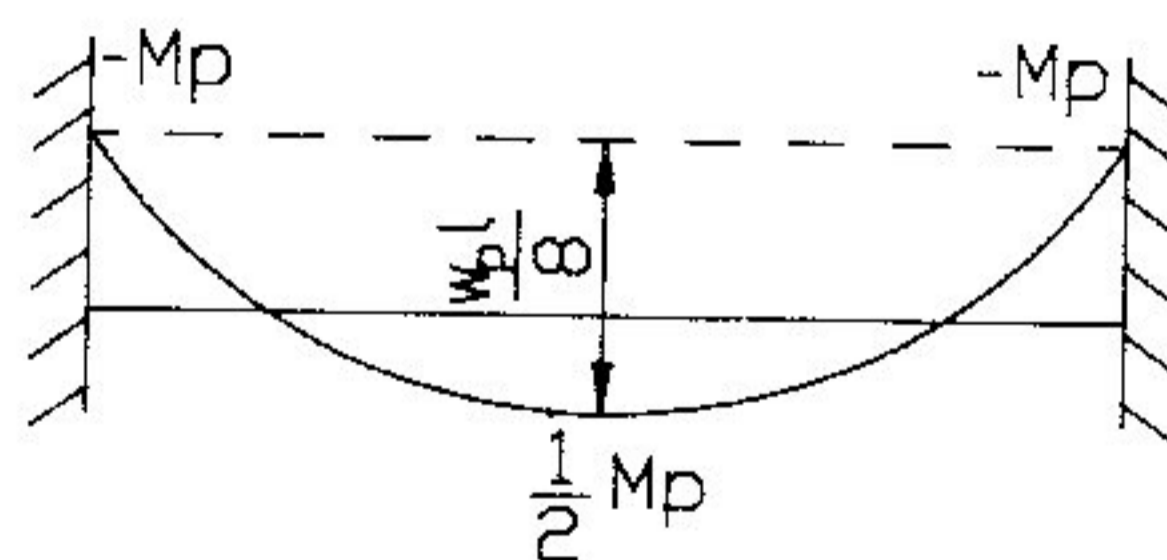


Figura 2.11 - Diagrama de momentos fletores elasto-plástico



Se  $w$  cresce de  $w_p$  para  $w_p + \Delta w$  as rótulas plásticas sofrerão rotação enquanto que  $M_1$  permanecerá constante com o valor  $-M_p$ . As variações ocorridas neste "passo" serão identificadas com o prefixo  $\Delta$ . A figura 2.12(b) mostra a forma deformada da viga durante este processo, que é caracterizada por:

$$M_1 = M_p \quad (2.29)$$

$$\Delta M_1 = 0 \quad (2.30)$$

$$\Delta \theta_1 < 0 \quad (2.31)$$

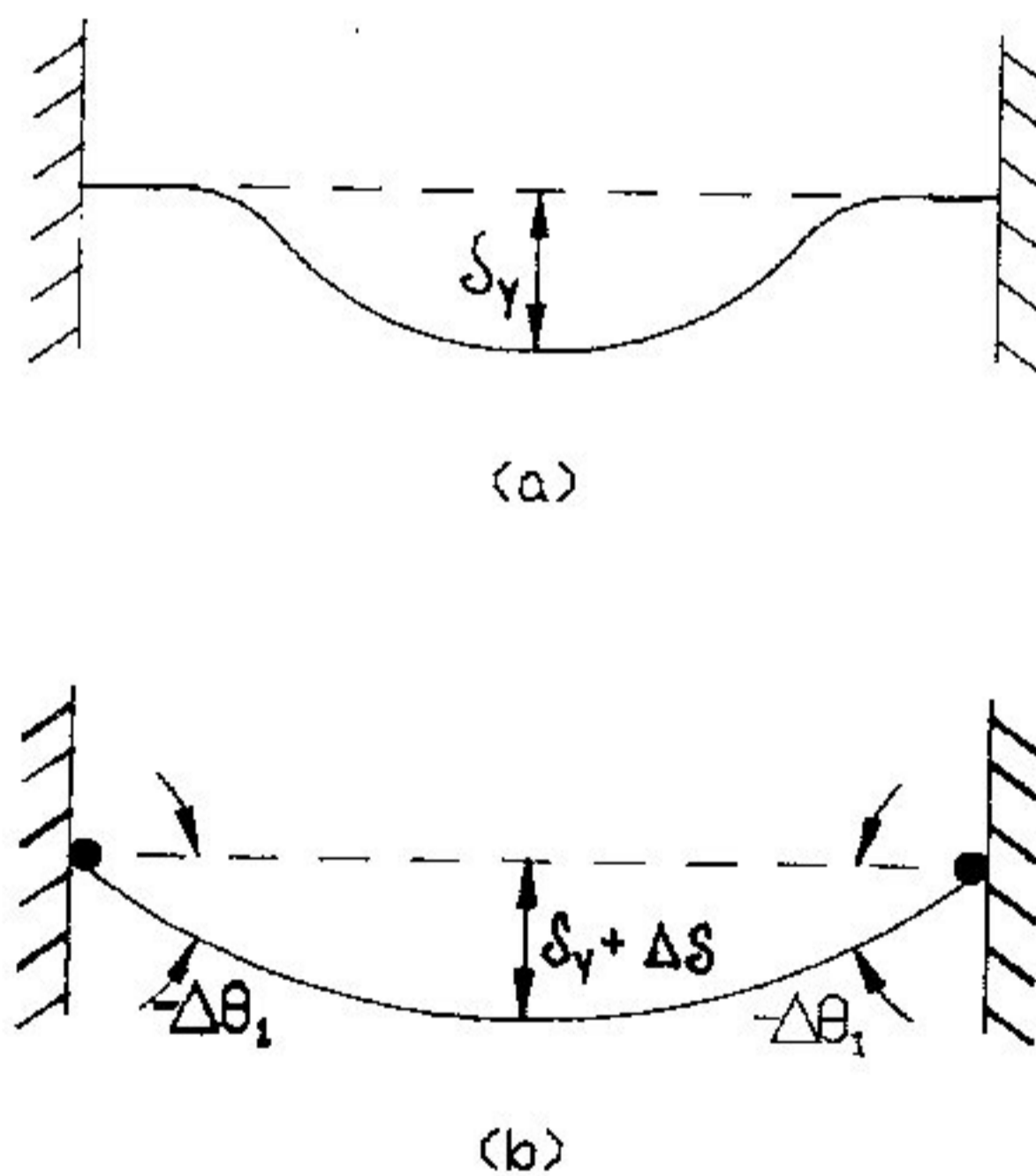


Figura 2.12 - Deformações elástica e elasto-plástica

As equações de equilíbrio serão:

$$\Delta M_2 = \frac{\Delta w l}{8} \quad (2.32)$$

$$-\frac{1}{12} \Delta w l - \frac{2 E I \Delta \theta_1}{l} = 0 \quad (2.33)$$

$$\Delta \delta = \frac{\Delta w l^3}{384 E I} - \frac{1}{4} l \Delta \theta_1 \quad (2.34)$$

Desde que  $\Delta M_1 = 0$ , tem-se apenas  $\Delta M_2$  como incógnita, cujo valor é obtido imediatamente pela equação de equilíbrio:

$$\Delta M_2 = \frac{\Delta w l}{8} \quad (2.35)$$

A viga é então estaticamente determinada neste "passo". Entretanto, tem-se agora uma nova geometria desconhecida  $\Delta \theta_1$ , que é obtida pela equação de compatibilidade:

$$\Delta \theta_1 = -\frac{\Delta w l^2}{24 E I} \quad (2.36)$$

Substituindo na equação acima:

$$\Delta \delta = \frac{5 \Delta w l^3}{384 E I} \quad (2.37)$$

Estas equações  $\Delta M_2$ ,  $\Delta \theta_1$  e  $\Delta \delta$  mostram que as relações de incremento  $\Delta w$ ,  $\Delta M_2$ ,  $\Delta \theta_1$  e  $\Delta \delta$  são as mesmas para

uma viga simplesmente apoiada. Isto ocorre porque as condições de  $\Delta M_1 = 0$  e  $\Delta \theta_1 \neq 0$  correspondem às condições para um apoio simples.

No início deste "passo" o valor de  $M_2 = 0.5 M_p$ . Como  $\Delta w$  cresce,  $M_2$  cresce com a equação :

$$\Delta M_2 = \frac{\Delta w l}{8} \quad (2.38)$$

até que seja atingida o valor  $M_p$ . A distribuição do momento fletor é mostrada na figura 2.13:

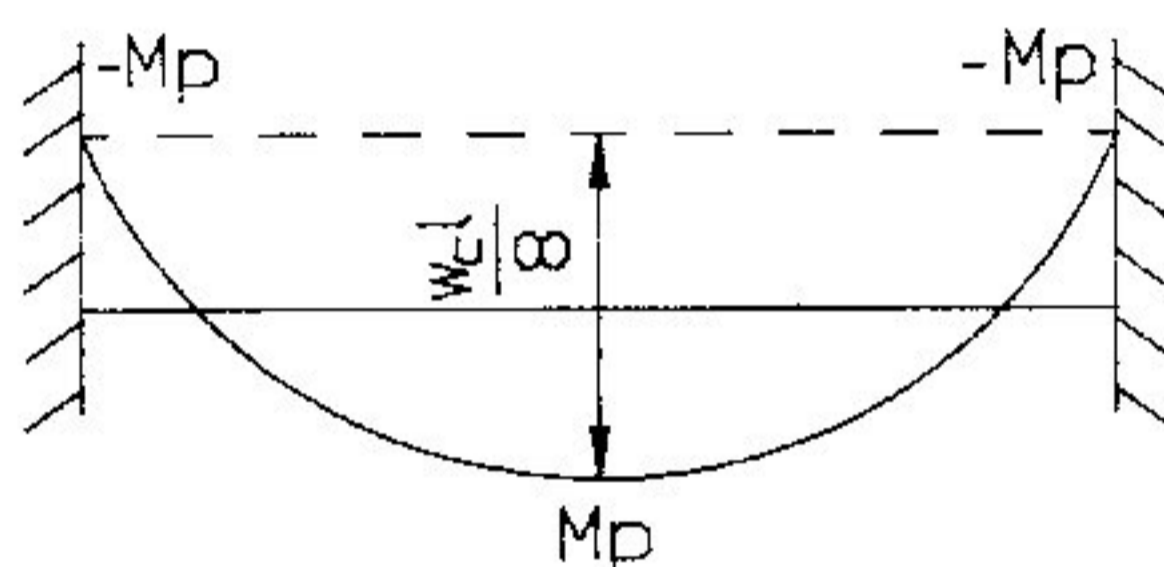


Figura 2.13 - Diagrama de momentos fletores plásticos

O valor correspondente de  $\Delta w$  é dado por

$$M_p = 0.5 M_p + \frac{\Delta w l}{8} \quad (2.39)$$

$$\Delta w = \frac{4 M_p}{l} \quad (2.40)$$

Das equações correspondentes aos valores  $\Delta \theta_1$  e  $\Delta \delta$  temos:



$$\Delta\theta_1 = -\frac{\Delta w l^2}{24 E I} = -\frac{4 M_p l^2}{24 l E I} = -\frac{M_p l}{6 E I} \quad (2.41)$$

$$\Delta\delta = \frac{5 \Delta w l^3}{384 E I} = \frac{5 \cdot 4 M_p l^3}{384 l E I} = \frac{5 M_p l^2}{96 E I} \quad (2.42)$$

Quando  $w$  atinge o valor:

$$w = \frac{12 M_p}{l^2} + \frac{4 M_p}{l^2} = \frac{16 M_p}{l^2} \quad (2.43)$$

é formada uma rótula plástica no meio do vão. Este mecanismo de colapso é mostrado na figura 2.14:

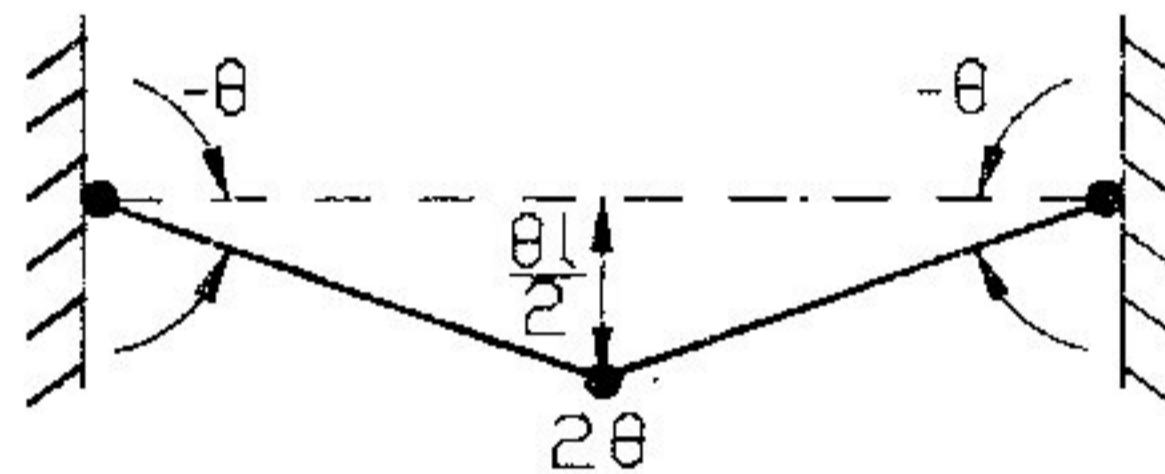


Figura 2.14 - Mecanismo de Viga

Quando  $w = w_c$ , mas antes que a rótula plástica central comece a girar, a viga é dita estar em Ponto de Colapso.

A figura 2.15 mostra a relação entre  $w$  e  $\delta$  para viga biengastada:

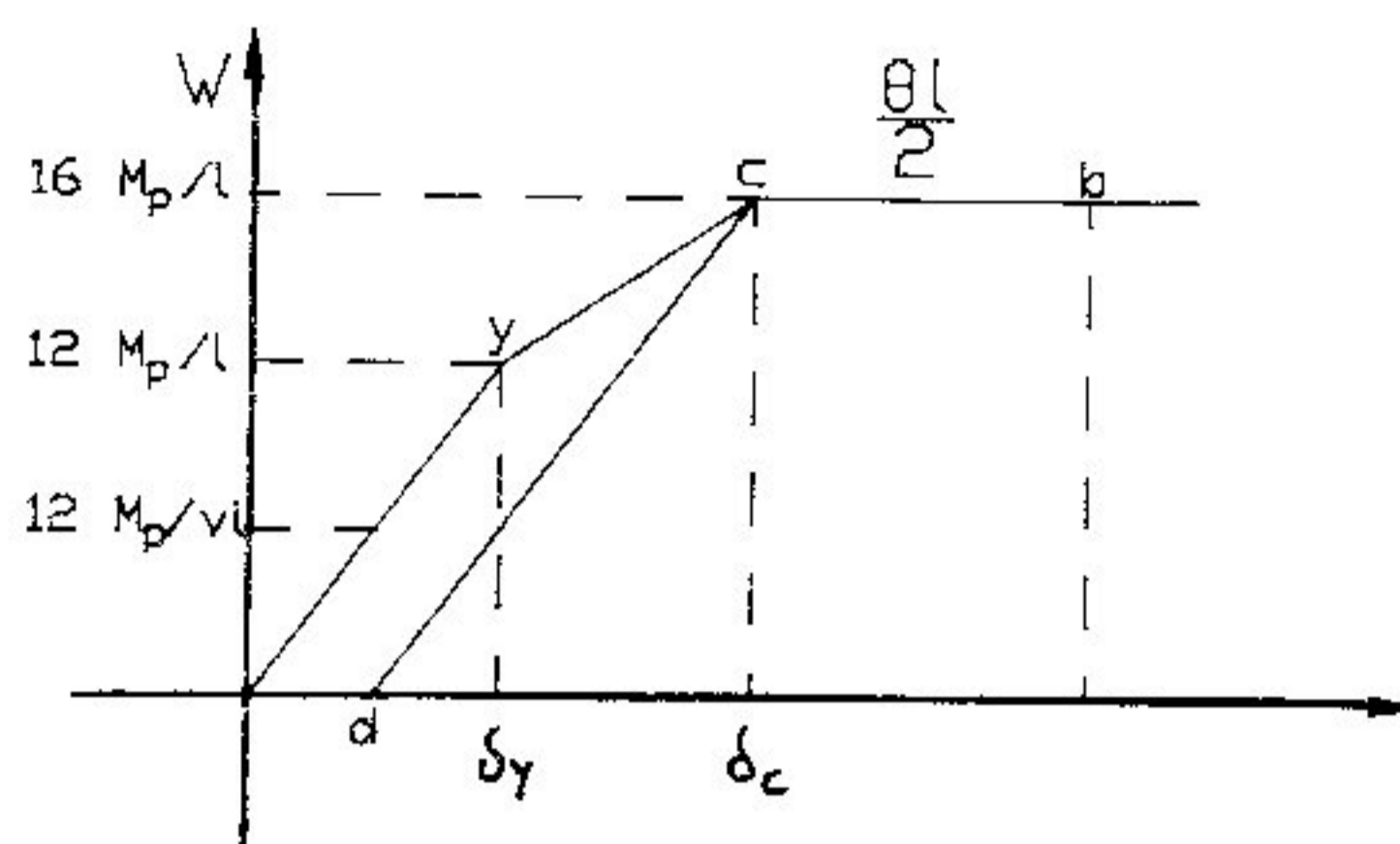


Figura 2.15 - Relação  $W \times \delta$  - Viga Biengastada

Esta relação carga x deslocamento é típica para vigas ou pórticos com uma redundante. Quando a primeira rótula plástica se forma, a estrutura é reduzida a uma estática determinada para posteriores aumentos de carga, e a rotação da rótula plástica que ocorre causa uma redução na translação perpendicular ao eixo da barra na relação carga x deslocamento. O colapso não ocorre até que a próxima rótula plástica se forme, reduzindo a estrutura a um mecanismo.

O comportamento da viga biengastada é fundamentalmente diferente do comportamento da viga simplesmente apoiada. Para a viga biapoiada a formação de uma simples rótula plástica causa colapso e a razão entre a carga de colapso  $w_c$  e a carga crítica  $w_y$  é o fator de forma  $f$ . Entretanto para a viga biengastada a carga crítica é  $w_y = \frac{12 M_p}{f l}$  enquanto que a carga de colapso é  $w_c = \frac{16 M_p}{l}$  e a razão  $\frac{w_c}{w_y} = \frac{4 f}{3}$ .

O motivo desta relação ser maior do que a anterior é devido a presença de uma redundante que existe neste último caso.

O cálculo da carga de colapso pode também ser feito diretamente usando o Processo Estático:

$$\frac{w_c l}{8} = 2 M_p \quad (2.44)$$

$$w_c = \frac{16 M_p}{l} \quad (2.45)$$

Um outro processo para determinar esta carga é baseado no mecanismo de colapso. É o Processo Cinemático. Como o deslocamento é  $\frac{l \theta}{2}$ , o deslocamento vertical médio devido à carga uniformemente distribuída  $w_c$  é  $\frac{l \theta}{4}$ , então o trabalho realizado pela carga durante o movimento é  $w_c \frac{l \theta}{4}$ .

Para cada rótula plástica o trabalho absorvido tem que ser positivo e é o produto do momento plástico  $M_p$  e a magnitude da rotação da rótula. Equacionando o trabalho realizado pelo trabalho absorvido,

$$\frac{1}{4} w_c l \theta = M_p (\theta) + M_p (2\theta) + M_p (\theta) \quad (2.46)$$

$$\frac{1}{4} w_c l \theta = 4 M_p \theta \quad (2.47)$$

$$w_c = \frac{16 M_p}{l} \quad (2.48)$$



### 2.7.3. Pórtico Retangular

Seja o pórtico com nós rígidos e engastado na base. As barras possuem seção transversal constante e com rigidez à flexão  $EI$ , com dimensões e carregamento como mostra a figura 2.16. A linha tracejada indica o lado da barra onde o momento fletor é positivo.

O diagrama de momentos varia linearmente entre os nós. Como estes momentos não podem exceder  $M_p$  em magnitude em qualquer seção, aparecem rótulas plásticas apenas no final das barras (nos nós). Logo, as únicas possibilidades para formação das rótulas plásticas são nas seções numeradas. Isto exclui o caso especial em que a força cortante é nula no segmento, fazendo com que o momento fletor seja constante ao longo do segmento.

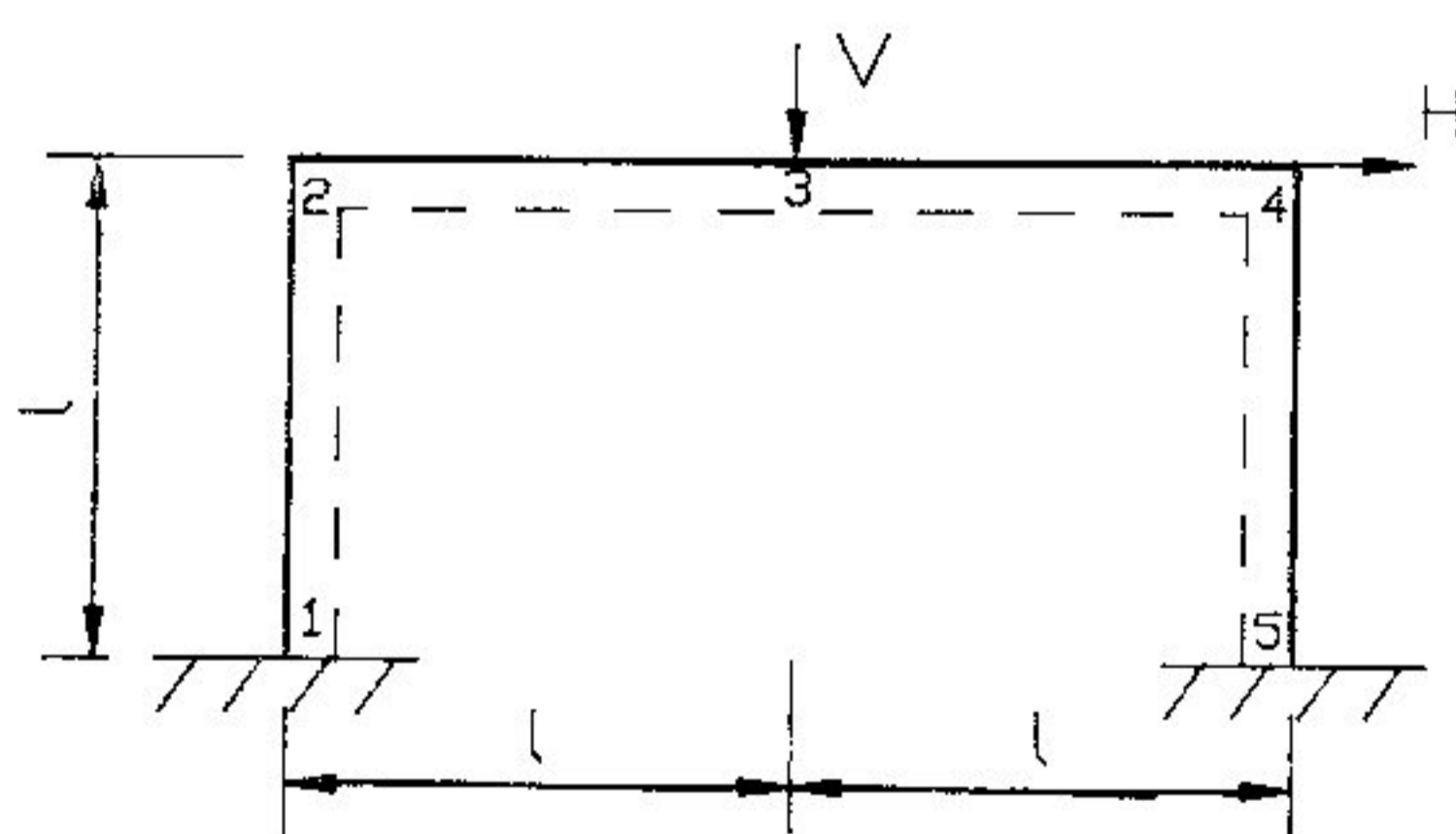


Figura 2.16 - Pórtico

O pórtico tem três redundantes, força cortante, axial e momento fletor. Para um corte em qualquer seção e com estas três redundantes determinadas, o pórtico se torna

estaticamente determinado.

As equações de equilíbrio serão obtidas usando o sistema de deslocamento virtual baseado na figura 2.17. A figura 2.17(a) mostra o mecanismo de viga e a 2.17(b) o mecanismo lateral (andar).

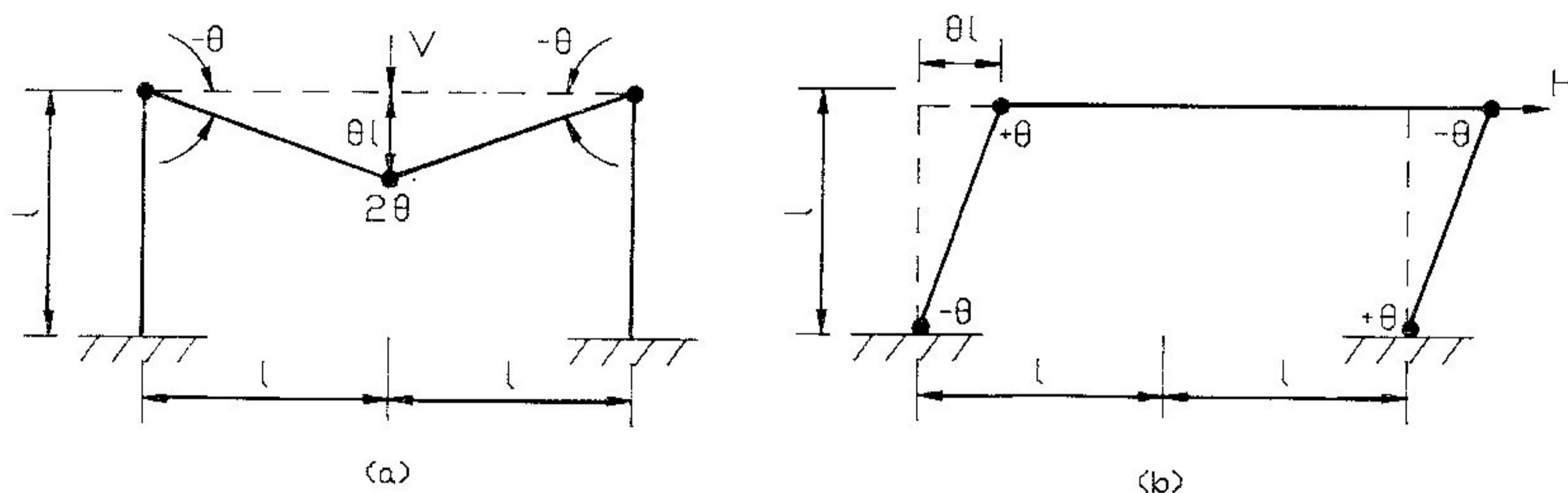


Figura 2.17 - Mecanismos Independentes

As rótulas não são do tipo plásticas mas são introduzidas para permitir pequenos deslocamentos, enquanto que, as barras entre as rótulas, permanecem indeformáveis. Como a curvatura em qualquer ponto é nula, tem-se:

$$\sum P\delta^* = \sum M\theta^* \quad (2.49)$$

O sistema consiste nas cargas H e V estarem em equilíbrio com os momentos nas cinco seções numeradas.

Usando o sistema de deslocamento virtual tem-se:

$$V(1\theta) = M_2(-\theta) + M_3(2\theta) + M_4(-\theta) \quad (2.50)$$

$$h(\theta) = M_1(-\theta) + M_2(\theta) + M_4(-\theta) + M_5(\theta) \quad (2.51)$$

Cancelando  $\theta$  nas equações (2.50) e (2.51) temos:

$$VI = -M_2 + 2M_3 - M_4 \quad (2.52)$$

$$HI = -M_1 + M_2 - M_4 + M_5 \quad (2.53)$$

As três equações da compatibilidade são deduzidas usando sistema de força virtual. Todas as forças  $P^*$  externas são iguais a zero. Fazendo os momentos  $m^*$  a equação do Princípio do Trabalho Virtual fica:

$$0 = \int m^* \kappa \, ds + \sum m^* \theta \quad (2.54)$$

A curvatura real  $\kappa$  em qualquer seção é relacionada com o momento real  $M$  através da relação elástica  $\kappa = \frac{M}{EI}$ , assim, a equação (2.54) fica:

$$0 = \int \frac{m^* M}{EI} \, ds + \sum m^* \theta \quad (2.55)$$

Dentro de cada segmento linear (barras), ambos  $m^*$  e  $M$  variam linearmente ao longo da distância  $s$ . Dessa forma a integral pode ser desenvolvida para um segmento  $AB$  de comprimento  $l$  da seguinte forma (Integrais de Produto):

$$\int_B^A \frac{m^* M}{EI} \, ds = \frac{l}{6EI} \left[ m_A^* (2M_A + M_B) + m_B^* (2M_B + M_A) \right] \quad (2.56)$$



As duas últimas equações em conjunto podem ser usadas para gerar as três equações de compatibilidade. Fazendo as forças V e H iguais a zero:

$$0 = -m_2 + 2m_3 - m_4 \quad (2.57)$$

$$0 = -m_1 + m_2 - m_4 + m_5 \quad (2.58)$$

Os valores de  $m^*$  para os três sistemas de forças virtuais apresentados na tabela abaixo tem-se as três equações de compatibilidade:

| SEÇÃO     | 1 | 2 | 3   | 4 | 5 |
|-----------|---|---|-----|---|---|
| SISTEMA 1 | 1 | 1 | 0.5 | 0 | 0 |
| SISTEMA 2 | 0 | 0 | 0.5 | 1 | 1 |
| SISTEMA 3 | 0 | 1 | 1   | 1 | 0 |

Substituindo os sistemas de forças virtuais na equação (2.55) tem-se para o Sistema 1:

a) Barra (1-2)

$$\frac{1}{6EI} [ 1 ( 2M_1 + M_2 ) + 1 ( M_1 + 2M_2 ) ] \quad (2.59)$$

$$\frac{1}{6EI} ( 3M_1 + 3M_2 ) \quad (2.60)$$

b) Barra (2-3)

$$\frac{l}{6EI} [ 1 ( 2M_2 + M_3 ) + 0.5 ( M_2 + 2M_3 ) ] \quad (2.61)$$

$$\frac{l}{6EI} ( 2.5M_2 + 2M_3 ) \quad (2.62)$$

c) Barra (3-4)

$$\frac{l}{6EI} [ 0.5 ( 2M_3 + M_4 ) + 0 ] \quad (2.63)$$

$$\frac{l}{6EI} ( M_3 + 0.5M_4 ) \quad (2.64)$$

d) Barra (4-5) = 0

Resultando na seguinte equação para o Sistema 1:

$$3M_1 + 5.5M_2 + 3M_3 + 0.5M_4 + \frac{6EI}{l} (\theta_1 + \theta_2 + 0.5\theta_3) = 0 \quad (2.65)$$

De forma similar, obtêm-se as equações para os Sistemas 2 e 3:

Sistema 2:

$$0.5M_2 + 3M_3 + 5.5M_4 + 3M_5 + \frac{6EI}{l} (0.5\theta_3 + \theta_4 + \theta_5) = 0 \quad (2.66)$$

Sistema 3:

$$M_1 + 5M_2 + 6M_3 + 5M_4 + M_5 + \frac{6EI}{l} (\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) = 0 \quad (2.67)$$

Estas equações de compatibilidade, juntamente com as de equilíbrio, podem ser escritas compactamente e de uma forma incremental:

$$\begin{array}{c}
 \left| \begin{array}{ccccc}
 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\
 -1 & 1 & 0 & -1 & 1 \\
 \hline
 3 & 5.5 & 3 & 0.5 & 0 \\
 0 & 0.5 & 3 & 5.5 & 3 \\
 1 & 5 & 6 & 5 & 1
 \end{array} \right| \cdot \begin{array}{c} \Delta M_1 \\ \Delta M_2 \\ \Delta M_3 \\ \Delta M_4 \\ \Delta M_5 \end{array} + \\
 + \frac{6EI}{l} \left| \begin{array}{ccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 1 & 1 & 0.5 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0.5 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1 & 0
 \end{array} \right| \cdot \begin{array}{c} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \\ \Delta \theta_3 \\ \Delta \theta_4 \\ \Delta \theta_5 \end{array} = \begin{array}{c} \Delta V_1 \\ \Delta H_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array}
 \end{array}$$

As duas equações acima da linha tracejada são as equações de equilíbrio e as abaixo são as equações de compatibilidade.

Estas cinco equações podem ser usadas para traçar o comportamento do pórtico quando submetido a um carregamento proporcional:

$$V = H = W \quad (2.68)$$



até o colapso, partindo da condição que o pórtico está descarregado e livre de tensões.

As relações abaixo são assumidas:

$$|M| < M_p \quad (2.69)$$

$$\Delta M \neq 0 \quad (2.70)$$

$$\Delta \theta = 0 \quad (2.71)$$

ou

$$|M| = M_p \quad (2.72)$$

$$\Delta M = 0 \quad (2.73)$$

$$\Delta \theta \neq 0 \quad (2.74)$$

Como  $W$  cresce, o pórtico comportá-se elasticamente em um primeiro instante, então as variações nas rotações das rótulas  $\Delta \theta_1 \dots \Delta \theta_5$  são nulas. As equações tem solução:

$$\Delta M_1 = -0.2125 \Delta W l$$

$$\Delta M_2 = -0.0125 \Delta W l$$

$$\Delta M_3 = 0.3 \Delta W l$$

$$\Delta M_4 = -0.3875 \Delta W l$$

$$\Delta M_5 = 0.4125 \Delta W l$$

O maior momento é  $0.4125 \Delta W l$  na seção 5. Este momento terá o valor de  $M_p$  para uma carga crítica  $W_y$ :

$$0.4125 W_y l = M_p \quad (2.75)$$

$$W_y = \frac{2.424 M_p}{I} \quad (2.76)$$

Para um novo incremento de  $W$  ou seja  $W_y + \Delta W$ , a rótula plástica que fora formada na seção 5 começa a girar enquanto  $M_5$  permanece constante igual a  $M_p$ . Então durante este passo,

$$M_5 = M_p \quad (2.77)$$

$$\Delta M_5 = 0 \quad (2.78)$$

$$\Delta \theta_5 > 0 \quad (2.79)$$

$$\Delta \theta_1 = \Delta \theta_2 = \Delta \theta_3 = \Delta \theta_4 = 0 \quad (2.80)$$

Substituindo estes valores na expressão matricial anterior tem-se:

$$\Delta M_1 = -0.468 \Delta W I$$

$$\Delta M_2 = 0.108 \Delta W I$$

$$\Delta M_3 = 0.342 \Delta W I$$

$$\Delta M_4 = -0.424 \Delta W I$$

$$\Delta \theta_5 = 0.209 \Delta W I^2 / EI$$

Durante este passo o número de redundantes passou de três para duas, porque o incremento do momento é agora conhecido,  $\Delta M_5 = 0$ . Tem-se agora apenas quatro desconhecidas,  $\Delta M_1$ ,  $\Delta M_2$ ,  $\Delta M_3$  e  $\Delta M_4$ . As duas equações de equilíbrio precisam ser suplementadas por apenas duas das

equações de compatibilidade para determinar estes quatro incrementos de momentos fletores. Porém, tem-se uma nova incógnita geométrica,  $\Delta\theta_5$  e ela é obtida pela terceira equação de compatibilidade.

Durante o próximo passo ocorrerá a rótula plástica nos nós 4 e 5:

$$M_4 = -M_P \quad (2.81)$$

$$\Delta M_4 = 0 \quad (2.82)$$

$$\Delta\theta_4 < 0 \quad (2.83)$$

$$M_5 = M_P \quad (2.84)$$

$$\Delta M_5 = 0 \quad (2.85)$$

$$\Delta\theta_5 > 0 \quad (2.86)$$

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2 = \Delta\theta_3 = 0 \quad (2.87)$$

A solução correspondente passa a ser então:

$$\Delta M_1 = -0.85 \Delta W l$$

$$\Delta M_2 = 0.15 \Delta W l$$

$$\Delta M_3 = 0.575 \Delta W l$$

$$\Delta\theta_4 = -0.558 \Delta W l^2/EI$$

$$\Delta\theta_5 = 0.258 \Delta W l^2/EI$$

Tem-se agora apenas três estáticos desconhecidos,  $\Delta M_1$ ,  $\Delta M_2$ ,  $\Delta M_3$ . Neste "passo", o número de redundantes passa a ser apenas um. Assim, apenas uma equação de compatibilidade é necessária, para que, em conjunto com as



duas equações de equilíbrio, determine as três incógnitas. As outras duas equações de compatibilidade serão necessárias para achar as incógnitas geométricas  $\Delta\theta_4$  e  $\Delta\theta_5$ .

A próxima rótula plástica se formará na seção 3. A situação é a seguinte:

$$M_3 = M_P \quad (2.88)$$

$$\Delta M_3 = 0 \quad (2.89)$$

$$\Delta\theta_3 > 0 \quad (2.90)$$

$$M_4 = -M_P \quad (2.91)$$

$$\Delta M_4 = 0 \quad (2.92)$$

$$\Delta\theta_4 < 0 \quad (2.93)$$

$$M_5 = M_P \quad (2.94)$$

$$\Delta M_5 = 0 \quad (2.95)$$

$$\Delta\theta_5 > 0 \quad (2.96)$$

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2 = 0 \quad (2.97)$$

A estrutura agora é estaticamente determinada. As duas equações de equilíbrio são suficientes para determinar  $\Delta M_1$  e  $\Delta M_2$  e as três equações de compatibilidade para determinar  $\Delta\theta_3$ ,  $\Delta\theta_4$ ,  $\Delta\theta_5$ . A solução é:

$$\Delta M_1 = -2.0 \quad \Delta W \quad l$$

$$\Delta M_2 = -1.0 \quad \Delta W \quad l$$

$$\Delta\theta_3 = 3.833 \quad \Delta W \quad l^2/EI$$

$$\Delta\theta_4 = -2.667 \quad \Delta W \quad l^2/EI$$

$$\Delta\theta_5 = 0.833 \quad \Delta W \quad l^2/EI$$

Neste ponto a rótula plástica se forma na seção 1.

Conclusão: A carga final é  $3M_p / l$  e para esta carga tem-se quatro rótulas plásticas. Isto reduz o pórtico a um mecanismo. Logo, a carga de colapso é  $w_c = 3 M_p / l$ . Se  $w_y = 2.424 M_p / l$  a razão em  $w_c / w_y$  é 1.24. Se o efeito do fator de forma  $\nu$  for levado em conta então a razão passa a ser  $1.24\nu$ .

## 2.8. Invariância na carga de colapso

Se uma estrutura está submetida a mais de uma carga, estas cargas dificilmente crescerão na mesma proporção. Felizmente, grande variedade pode ocorrer na maneira em que as demais cargas crescem até o seus valores de colapso sem afetar a carga de colapso. Para o pórtico considerado o colapso ocorrerá para um carregamento proporcional quando  $H = V = 3 M_p / l$ .

Tomando um caso extremo de carregamento que não é proporcional, supõe-se que a carga  $V = 3 M_p / l$  é primeiramente aplicada e se mantém constante enquanto que  $H$  é crescente (constantemente) a partir de zero. A análise "passo-a-passo" nos mostra que a carga  $V = 3 M_p / l$  causa efeitos totalmente elásticos e que  $H$  tem que ser acrescido até o valor  $2.133 M_p / l$ , para que a primeira rótula plástica se forme. A primeira rótula se forma na seção 4, ao contrário do carregamento proporcional, em que a rótula é

formada inicialmente na seção 5. Quando a quarta rótula plástica se forma na seção 1, o valor de  $H$  é  $3 M_p / l$  e o colapso ocorre com o mesmo mecanismo que antes.

Logo, a carga de colapso para este caso é  $H = V = 3M_p / l$ , que é a mesma para o carregamento proporcional.

A única diferença entre os dois casos é a relação carga-deslocamento anterior ao colapso.

O pórtico finalmente analisado tem três redundantes. Se em qualquer estágio de carregamento existirem três rótulas plásticas e em cada uma o momento é conhecido, o pórtico se torna isostaticamente determinado. Se a quarta rótula plástica for formada o pórtico se reduz a um mecanismo.

## 2.9. Comportamento no descarregamento

Se o carregamento da estrutura for retirado após ocorridas algumas rotações nas rótulas plásticas, na carga de colapso  $w_c$ , estas rotações podem cessar e o comportamento durante o descarregamento poderá ser totalmente elástico.

Mas se  $w$  foi levada até o ponto de colapso o descarregamento será uma linha paralela ao carregamento elástico permanecendo uma deformação residual.

A razão da existência de translações residuais é que na estrutura descarregada existem momentos residuais causados pelas rotações das rótulas plásticas, que permanece constante durante o processo de descarregamento.



O princípio da superposição não pode ser aplicado nos casos em que existirem momentos residuais.

## 2.10. Análise Plástica

Como já foi definido no capítulo 1, a análise plástica deve ser usada em estruturas de aço onde o colapso plástico é o estado limite predominante. Quando o método de dimensionamento plástico é apropriado, ele tem uma série de vantagens sobre o método elástico. Uma delas é o grande aumento na carga crítica. No caso particular do exemplo estudado  $w_c/w_y = 1.24\nu$ . Tomando  $\nu=1.14$  para uma seção tipo I, valor este que pode ser verificado em AÇOMINAS [18], tem-se:

$$w_c/w_y = 1.41$$

ou seja, a carga de colapso plástico é de 41% maior que a carga elástica.

Observa-se, entretanto, que a análise plástica pode substituir a elástica em certos casos, mas não elimina a aplicabilidade desta última.

### 3. ANÁLISE PLÁSTICA VIA PROGRAMAÇÃO LINEAR

---

#### 3.1. Introdução

O objetivo deste capítulo é descrever a técnica de programação linear e aplicá-la à problemas de Análise Plástica de estruturas reticulares.

Esta formulação do problema foi usada por Neal e Symonds que desenvolveram este método de análise baseado na solução de sistema de inequações lineares.

A técnica baseia-se na transformação do problema estrutural em um problema de otimização que será resolvido via programação linear. O problema de otimização consiste fundamentalmente na minimização da função de carga aplicada à estrutura, carga mínima de colapso, sujeita a uma série de restrições tais como as equações de equilíbrio e a resistência última em qualquer seção que não pode exceder, em módulo, o valor do momento plástico,  $M_p$ .

A estrutura está submetida a um carregamento único cujos valores serão multiplicados por um fator de carga  $\lambda$  positivo. Todas as cargas sofrerão aumentos proporcionais em função do valor de  $\lambda$ .

Esses problemas são caracterizados por terem várias soluções que satisfazem as condições básicas iniciais. Assim, o que se deseja é selecionar a solução particular que seja a melhor do problema e que satisfaça todas as condições do mesmo, que é chamada de Solução Ótima. A programação linear



serve assim para encontrar esta solução. A grande vantagem desta técnica é a sua simplicidade de montagem do problema e de programação. O método SIMPLEX foi adotado para aplicação da técnica aos problemas considerados.

Para isto foi desenvolvido um programa em FORTRAN baseado nos princípios cinemáticos (Upper Bound Theorem), para solucionar o problema seguinte: achar o fator de carga de colapso  $\lambda_c$  que multiplicado pelo carregamento aplicado na estrutura fornece a carga mínima de colapso.

Aos interessados em obter informações complementares, este capítulo foi escrito baseado nas seguintes referências, além das citadas no capítulo anterior: NEAL, SYMONDS [3] [4], BARROSO [8], LIVESLEY [19], MUNRO [20], DORN, GREENBERG [21], FRANCO [22].

### 3.2. Modelagem do problema

A programação linear tem como objetivo determinar a solução ótima do problema apresentado. O problema é modelado matematicamente através de expressões lineares que satisfaçam as restrições das equações de equilíbrio e as condições de resistência última das barras. Desta forma o problema estrutural é transformado em um problema de otimização.

O problema padrão de programação linear pode ser formulado da seguinte forma:

$$\text{Maximizar: } f = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (3.1)$$



$$\text{Sujeito a } \sum a_{ij} x_j \leq b_i$$

$$x_1, \dots, x_n \geq 0$$

onde,

$i \dots\dots$  > é o número de inequações

$n \dots\dots$  > é o número de variáveis do problema

$b \dots\dots$  > não negativo

A função linear a ser minimizada ou maximizada é conhecida como função objetivo.

Pela própria formulação do problema, uma das condições impostas é a de que as variáveis sejam positivas. Isto nos leva ao uso de um artifício matemático, que transforma as variáveis  $x_j$  do problema em variáveis positivas, tal que:

$$x_j = x_j^+ - x_j^- \quad (3.2)$$

sendo que  $x_j^+ > 0$  e  $x_j^- > 0$

assim,

$$x_j^+ = x_j \quad ; \quad x_j^- = 0 \quad \text{para } x_j > 0$$

e

$$x_j^+ = 0 \quad ; \quad x_j^- = -x_j \quad \text{para} \quad x_j < 0$$

O problema estrutural é transformado em um problema de programação linear inicialmente formulando-se a função objetivo de tal forma que:

$$f = c_1 \lambda + c_2 M_{1p} + c_3 M_{1m} + \dots \quad (3.3)$$

Como o problema é minimizar a função de carga aplicada à estrutura, carga mínima de colapso, a função objetivo (3.3) e o vetor C, de coeficientes da mesma, ficam:

$$f = \lambda \quad (3.4)$$

$$C = [ 1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 ] \quad (3.5)$$

A matriz A a seguir representada é composta pelos coeficientes das inequações e equações lineares de restrição do problema. As primeiras linhas desta matriz, acima da linha tracejada mostrada, são referentes às inequações da resistência última à flexão de cada seção. Isto é:

$$M_{1p} \leq M_p \quad ; \quad M_{1m} \leq M_p \quad (3.6)$$

As demais linhas são referentes às equações de equilíbrio dos mecanismos independentes.

As primeiras linhas do vetor B referem-se ao valor máximo do momento de plastificação de cada seção. A partir

daí cada linha está relacionada com uma equação de equilíbrio dos mecanismos independentes. Pela modelagem do problema elas são nulas.

$$\begin{bmatrix}
 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\
 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 \\
 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & \\
 \hline
 a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\
 a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 b_1 \\
 b_2 \\
 \dots \\
 b_{n-2} \\
 b_{n-1} \\
 0 \\
 0
 \end{bmatrix}$$

MATRIZ A

VETOR B

### 3.3. Equações de equilíbrio

Como já foi visto no capítulo anterior, as equações de equilíbrio serão obtidas a partir dos mecanismos independentes.

Com a geometria e o carregamento da estrutura dados, monta-se cada equação em função das posições possíveis de rótulas plásticas nas barras.

Pode-se começar a montagem das equações de equilíbrio a partir do mecanismo de andar (ou lateral).

O outro mecanismo possível é o de viga. Este mecanismo ocorrerá nas barras carregadas transversalmente, sejam elas vigas ou colunas.

O terceiro tipo de mecanismo analisado é o de



rotação nodal.

### 3.4. Programação Linear

A solução do problema de programação linear pode ser obtida pelo método SIMPLEX. Como não é objetivo deste trabalho desenvolver uma sub-rotina de programação linear, a sub-rotina ZX3LP [23] foi utilizada para resolver o problema.

Os seguintes parâmetros são passados do programa principal para a citada sub-rotina:

N = número de variáveis do modelo

M1 = número de inequações

M2 = número de equações

IA = dimensão da matriz A

A = matriz dos coeficientes das expressões lineares

B = vetor com a resistência última a flexão de cada seção

C = vetor dos coeficientes da função objetivo

Esta sub-rotina otimiza o problema e retorna a solução através dos parâmetros:

IER = indicador de erro

S = valor da função objetivo. Pela formulação do problema, este é o valor do fator de carga de colapso  $\lambda_c$ .

PSOL = "Primal Solution". Esta solução maximizada fornece a distribuição dos momentos fletores nas diversas

seções para a solução encontrada da função objetivo.

DSOL = "Dual Solution". Esta é a solução minimizada da função objetivo.

### 3.5. O programa computacional

Estabelecidos todos os princípios da técnica de análise, foi gerado um algoritmo, que com relativa simplicidade foi traduzido na forma de programa computacional para a automatização dos processos de cálculo.

Para dar maior versatilidade e generalidade ao programa definiu-se que a entrada de dados poderá ser feita de três maneiras.

A primeira opção com a criação automática de arquivo de dados para uma estrutura reticular qualquer. Neste caso é necessário ter a priori as equações referentes aos mecanismos independentes.

A segunda opção é a geração automática dos dados, onde o próprio programa se encarrega de desenvolver as equações de equilíbrio referentes aos mecanismos independentes de colapso da estrutura. Há, entretanto, uma limitação quanto ao tipo de estrutura gerada neste ítem. Isto será mostrado com mais detalhes no próximo capítulo.

A terceira opção é a leitura dos dados em arquivo gerado por qualquer processo de edição de texto.

Com a entrada de dados concluída, a sub-rotina ZX3LP é usada para resolver o problema da programação linear.

De posse da solução do problema tem-se as opções de

saída dos resultados no vídeo, impressora ou em arquivo.

### 3.6. Geração do arquivo de dados para estrutura qualquer

Para esta opção foi desenvolvida uma sub-rotina em linguagem FORTRAN, para gerar o arquivo de dados que será lido pelo programa principal.

Esta sub-rotina é chamada GERADADO. Ela é acessada através da opção (1) CRIAR ARQUIVO DE DADOS, do menu principal. Através dela os parâmetros N, M1, M2, IA, os coeficientes da matriz A e os vetores B e C são fornecidos interativamente criando-se um arquivo na forma padrão para leitura do programa.

De acordo com a modelagem do problema e com o objetivo do mesmo é fornecido o coeficiente de  $\lambda$ , que representa o trabalho realizado pelas forças externas e os coeficientes  $M_p$  de cada equação. A própria sub-rotina se encarrega de fazer o artifício da transformação das variáveis, ou seja,  $M_m = -M_p$ .

As demais variáveis solicitadas pela sub-rotina serão vistas nos exemplos a seguir.

### 3.7. Exemplos

Para aplicar a técnica exposta até agora, serão resolvidos a seguir alguns exemplos.



### 3.7.1. Exemplo 1.

Para a viga biengastada com carregamento e vão como mostra a figura 3.1 determinar o fator de carga de colapso  $\lambda_c$ , utilizando o técnica da programação linear. Adotar o momento plástico para a barra igual a 40 KNm.

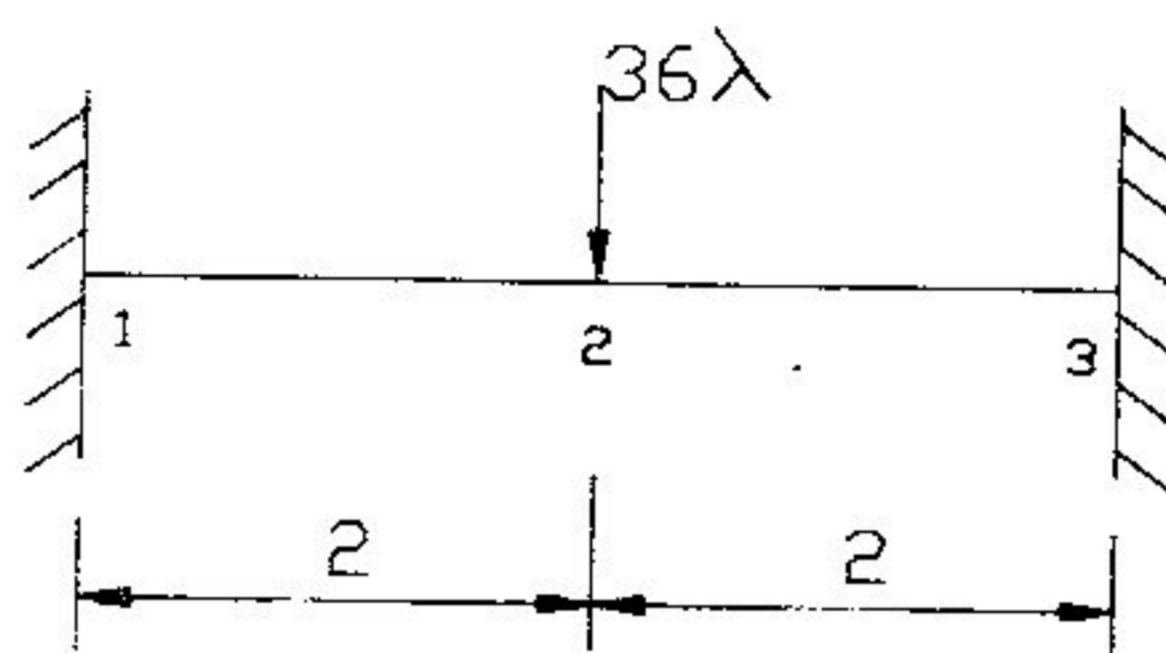


Figura 3.1 - Viga Biengastada

Para a estrutura dada, o único mecanismo possível é o de viga, como mostra a figura 3.2.

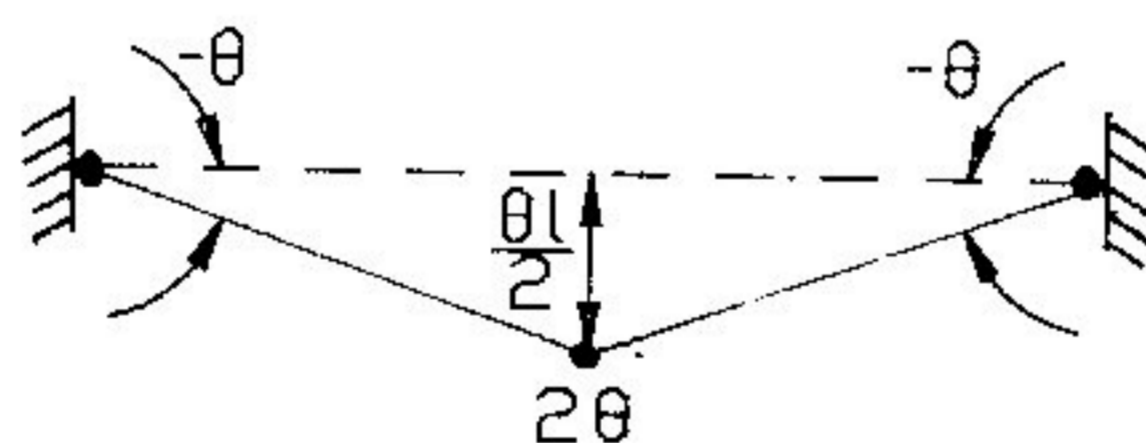


Figura 3.2 - Mecanismo de viga

A equação referente ao mecanismo independente de viga é a seguinte:

$$72 \lambda = -M_1 + 2M_2 - M_3 \quad (3.7)$$

$$72 \lambda + M_1 - 2M_2 + M_3 = 0 \quad (3.8)$$

Modelando o problema matematicamente para P.L. tem-se:

Maximizar:

$$f = c_1 \lambda + c_2 M_{1p} + c_3 M_{1m} + c_4 M_{2p} + c_5 M_{2m} + c_6 M_{3p} + c_7 M_{3m} \quad (3.9)$$

$$72\lambda + M_{1p} - M_{1m} - 2M_{2p} + 2M_{2m} + M_{3p} - M_{3m} = 0 \quad (3.10)$$

O número de variáveis do problema é  $N = 7$ .

Para  $f = \lambda$ , o vetor  $C$  e a matriz  $A$  têm respectivamente os seguintes coeficientes:

$$C = [ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 ]$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 72 & 1 & -1 & -2 & 2 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

As inequações acima da linha tracejada na Matriz A representam os coeficientes das inequações  $M_{ip} \leq M_p$  e  $M_{im} \leq M_p$ . Elas serão geradas automaticamente. Cada linha representa a condição do momento fletor em cada seção de ser menor ou igual ao momento plástico  $M_p$ . A quantidade de inequações do problema (M1) é um parâmetro a ser fornecido ao programa. Para o exemplo dado são seis inequações de restrição, uma para cada variável, assim,  $M1 = 6$ .

A linha abaixo da tracejada na matriz A refere-se a equação de mecanismo. O número de equações do problema é um dos parâmetros de entrada do programa, assim,  $M_2 = 1$ . Esta será a única linha que será fornecida interativamente da Matriz A para o programa.

O vetor B fica:

$$B = [ 40 \ 40 \ 40 \ 40 \ 40 \ 40 \ 0 ]^T$$

O coeficiente do vetor B relativo à equação de equilíbrio do mecanismo independente é zero. Os demais tem valor do momento plástico máximo adotado para o problema.

Resolvendo o sistema pela técnica automatizada apresentada tem-se:

$$\lambda = 2.22$$

Com os seguintes momentos nos pontos indicados:



|            |       |            |       |         |        |
|------------|-------|------------|-------|---------|--------|
| $M_{1p} =$ | 0.00  | $M_{1m} =$ | 40.00 | $M_1 =$ | -40.00 |
| $M_{2p} =$ | 40.00 | $M_{2m} =$ | 0.00  | $M_2 =$ | 40.00  |
| $M_{3p} =$ | 0.00  | $M_{3m} =$ | 40.00 | $M_3 =$ | -40.00 |

A figura 3.3 mostra o mecanismo de colapso e os pontos de formação das rótulas plásticas.

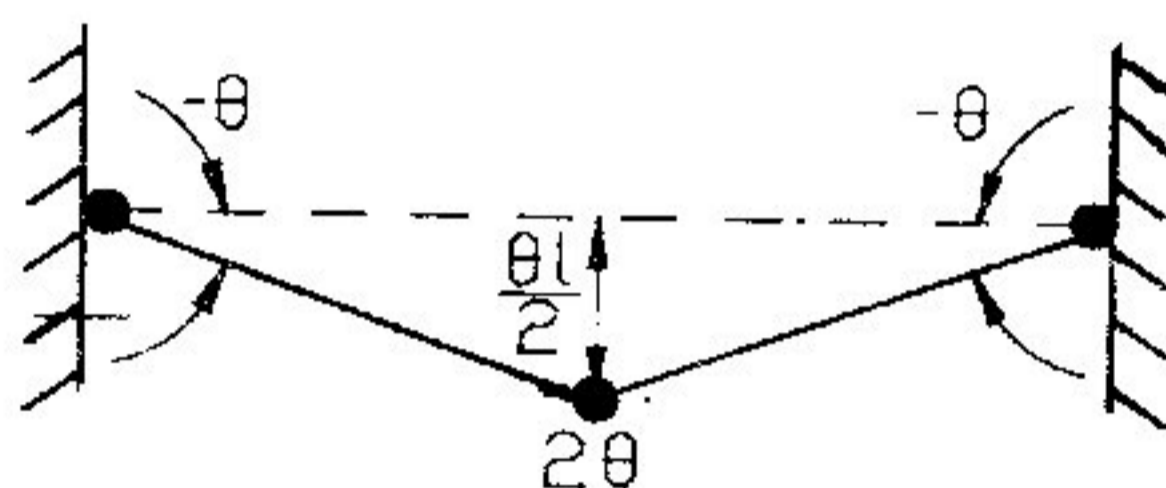


Figura 3.3 - Mecanismo de colapso

Substituindo os valores dos momentos encontrados na equação referente ao mecanismo de viga podemos verificar o valor do fator de carga de colapso  $\lambda_c$ . O resultado confirma também o mecanismo único adotado.

Assim,

$$72 \lambda = -(-40) + 2(40) -(-40)$$

$$72 \lambda = 160$$

$$\lambda = 2.22$$

No anexo I tem-se as entradas de dados e a solução encontrada para o exemplo dado utilizando a opção (1) - Criação Arquivo de Dados, do programa principal.

### 3.7.2. Exemplo 2

Para o pórtico da figura 3.4 calcular o fator de carga de colapso, utilizando a técnica da programação linear. Todas as barras possuem o mesmo momento plástico de 40 KNm.

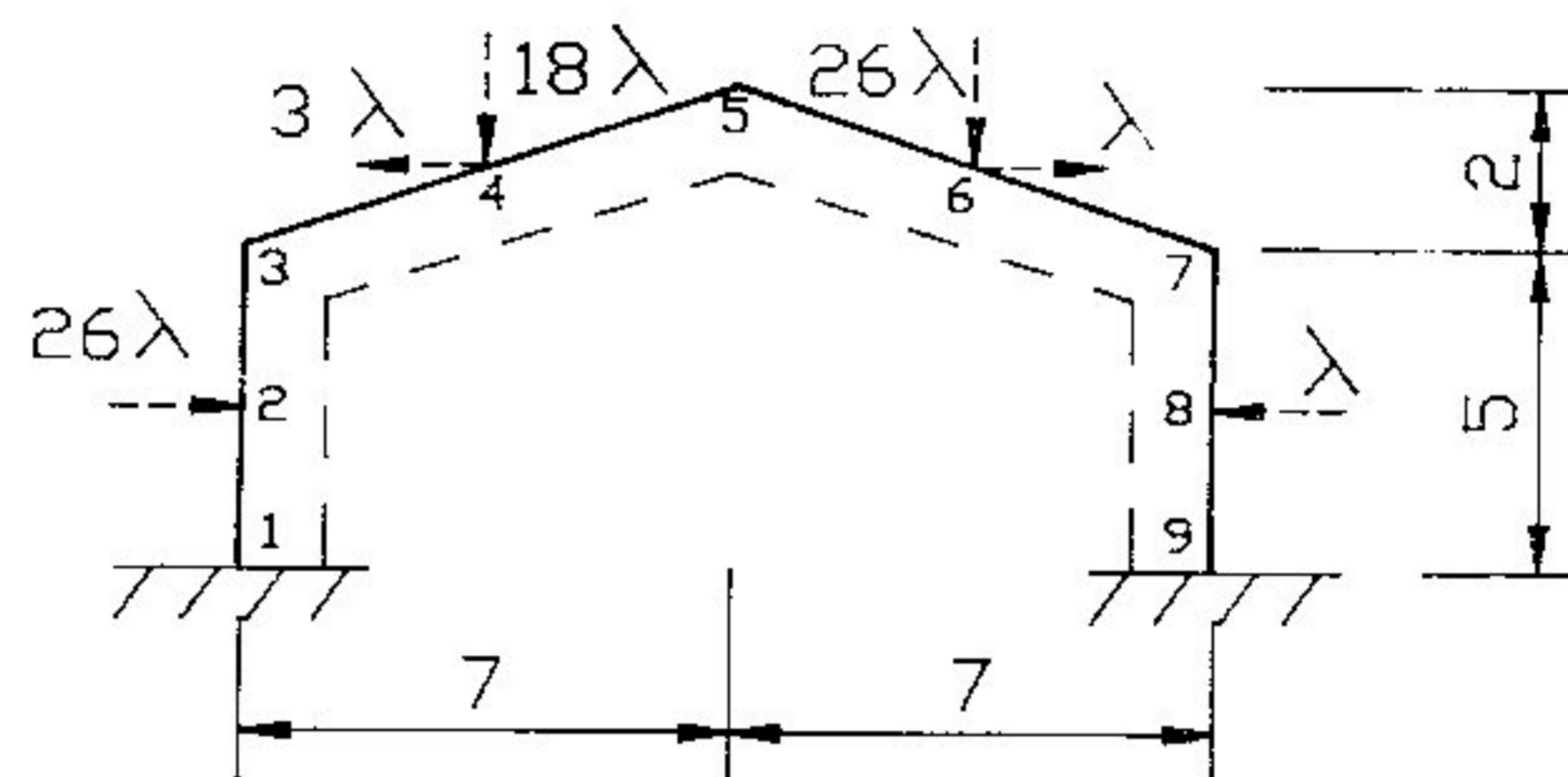
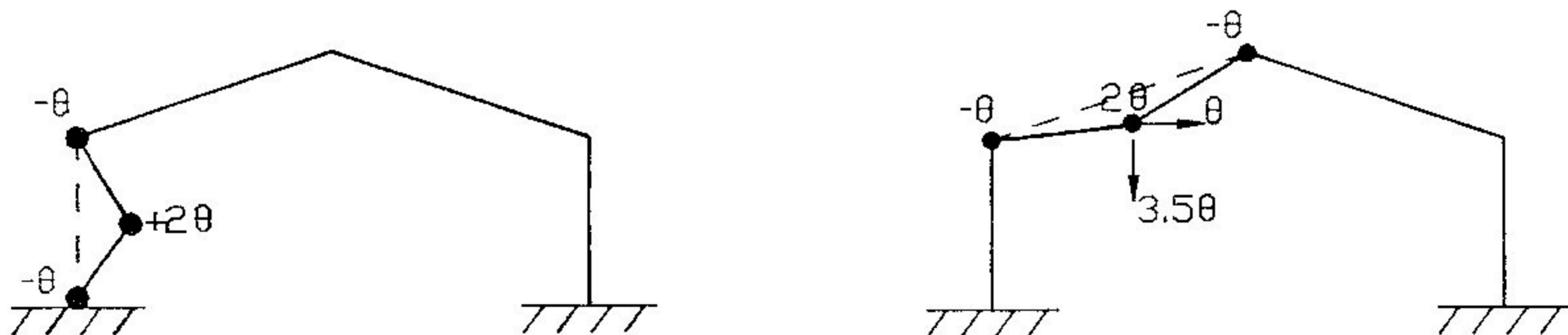


Figura 3.4 - Pórtico

Para este pórtico tem-se quatro mecanismos de viga e dois mecanismos laterais (ou andar). A figura 3.5 ilustra estes mecanismos independentes.



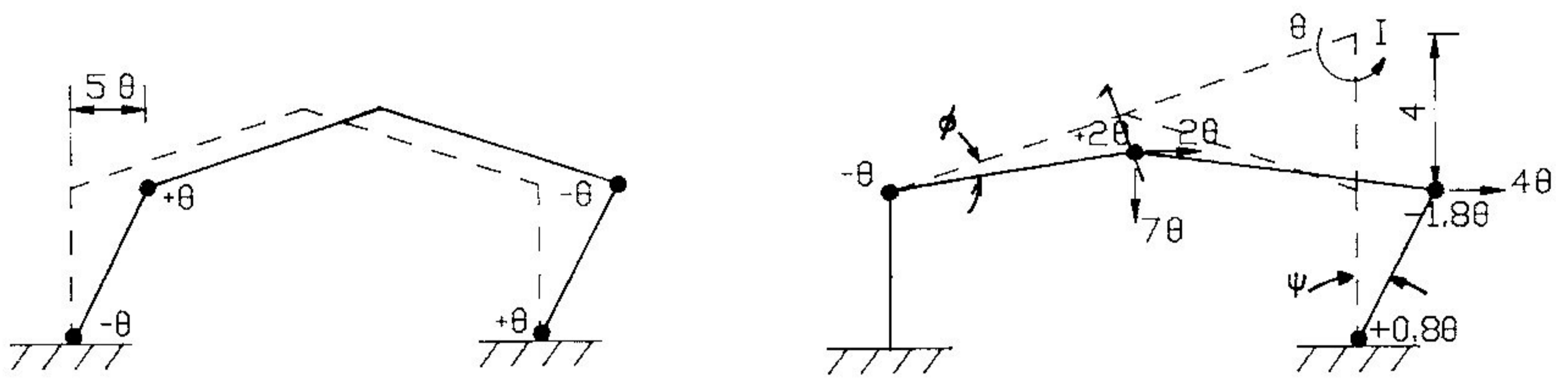


Figura 3.5 - Mecanismos independentes

Considerando que  $M_i = M_{ip} - M_{im}$  as seis equações de equilíbrio derivadas dos seis mecanismos independentes são:

$$32.5 \lambda + M_{1p} - M_{1m} - 2M_{2p} + 2M_{2m} + M_{3p} - M_{3m} = 0 \quad (3.11)$$

$$30 \lambda + M_{3p} - M_{3m} - 2M_{4p} + 2M_{4m} + M_{5p} - M_{5m} = 0 \quad (3.12)$$

$$45 \lambda + M_{5p} - M_{5m} - 2M_{6p} + 2M_{6m} + M_{7p} - M_{7m} = 0 \quad (3.13)$$

$$1.25 \lambda + M_{7p} - M_{7m} - 2M_{8p} + 2M_{8m} + M_{9p} - M_{9m} = 0 \quad (3.14)$$

$$52.5 \lambda + M_{1p} - M_{1m} - M_{3p} + M_{3m} + M_{7p} - M_{7m} - M_{9p} + M_{9m} = 0 \quad (3.15)$$

$$152\lambda + M_{3p} - M_{3m} - 2M_{5p} + 2M_{5m} + 1.8M_{7p} - 1.8M_{7m} - 0.8M_{9p} + 0.8M_{9m} = 0 \quad (3.16)$$

Modelando o problema matematicamente para P.L.



tem-se:

Maximizar:

$$f = c_1 \lambda + c_2 M_{1p} + c_3 M_{1m} + c_4 M_{2p} + c_5 M_{2m} + \dots + c_{18} M_{9p} + c_{19} M_{9m} \quad (3.17)$$

O número de variáveis do problema é  $N = 19$ .

Para  $f = \lambda$ , o vetor  $C$  e a Matriz  $A$  ficam respectivamente:

$$C = [ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 ]$$

|      |   |    |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |     |      |    |   |      |     |
|------|---|----|----|---|----|----|----|---|----|----|----|---|-----|------|----|---|------|-----|
| 0    | 1 | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0    | 0  | 0 | 0    | 0   |
| 0    | 0 | 1  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0    | 0  | 0 | 0    | 0   |
| 0    | 0 | 0  | 1  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0    | 0  | 0 | 0    | 0   |
| 0    | 0 | 0  | 0  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0    | 0  | 0 | 0    | 0   |
| 0    | 0 | 0  | 0  | 0 | 1  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0    | 0  | 0 | 0    | 0   |
| 0    | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 1  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0    | 0  | 0 | 0    | 0   |
| 0    | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0    | 0  | 0 | 1    | 0   |
| 0    | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0    | 0  | 0 | 0    | 1   |
| 32.5 | 1 | -1 | -2 | 2 | 1  | -1 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0    | 0  | 0 | 0    | 0   |
| 30.0 | 0 | 0  | 0  | 0 | 1  | -1 | -2 | 2 | 1  | -1 | 0  | 0 | 0   | 0    | 0  | 0 | 0    | 0   |
| 45.0 | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 1  | -1 | -2 | 2 | 1   | -1   | 0  | 0 | 0    | 0   |
| 1.25 | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 1   | -1   | -2 | 2 | 1    | -1  |
| 52.5 | 1 | -1 | 0  | 0 | -1 | 1  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 1   | -1   | 0  | 0 | -1   | 1   |
| 152  | 0 | 0  | 0  | 0 | 1  | -1 | 0  | 0 | -2 | 2  | 0  | 0 | 1.8 | -1.8 | 0  | 0 | -0.8 | 0.8 |

As linhas acima da linha tracejada na matriz A referem-se às inequações lineares do problema. Para o exemplo tem-se  $M_1 = 18$ .

As linhas abaixo da tracejada na matriz referem-se às equações de equilíbrio dos mecanismos independentes. Logo, o número de equações do problema é  $M_2 = 6$ .

O vetor B é:

$$B = [ 40 \ 40 \ \dots \ 40 \ 40 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 ]^T$$

Os coeficientes do vetor B relativo às equações de equilíbrio são nulos. Os demais têm o valor do momento plástico máximo.

Resolvendo o problema pela técnica apresentada tem-se:

$$\lambda = 1.47$$

Com os seguintes momentos nos pontos indicados:

|            |       |            |       |         |        |
|------------|-------|------------|-------|---------|--------|
| $M_{1p} =$ | 0.00  | $M_{1m} =$ | 37.37 | $M_1 =$ | -37.37 |
| $M_{2p} =$ | 0.00  | $M_{2m} =$ | 14.74 | $M_2 =$ | -14.74 |
| $M_{3p} =$ | 0.00  | $M_{3m} =$ | 40.00 | $M_3 =$ | -40.00 |
| $M_{4p} =$ | 22.11 | $M_{4m} =$ | 0.00  | $M_4 =$ | 22.11  |
| $M_{5p} =$ | 40.00 | $M_{5m} =$ | 0.00  | $M_5 =$ | 40.00  |
| $M_{6p} =$ | 33.16 | $M_{6m} =$ | 0.00  | $M_6 =$ | 33.16  |
| $M_{7p} =$ | 0.00  | $M_{7m} =$ | 40.00 | $M_7 =$ | -40.00 |

$$\begin{array}{lll}
 M_{8p} = 0.92 & M_{8m} = 0.00 & M_8 = 0.92 \\
 M_{9p} = 40.00 & M_{9m} = 0.00 & M_9 = 40.00
 \end{array}$$

A figura 3.6 mostra as posições das rótulas plásticas para a solução encontrada.

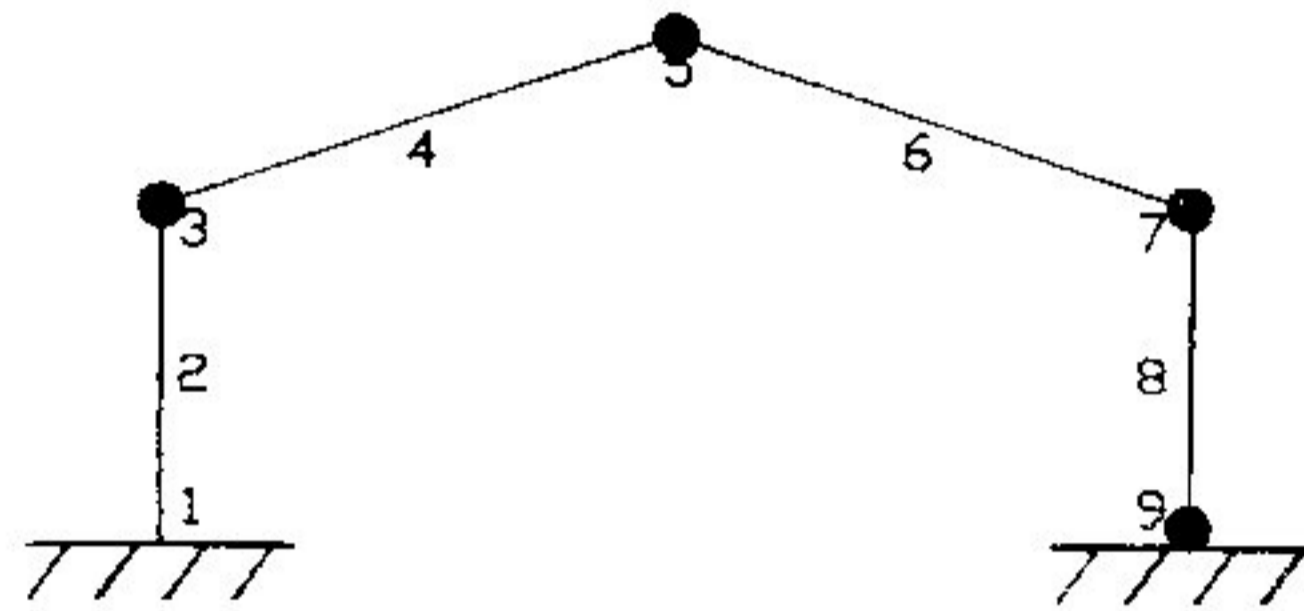


Figura 3.6 - Mecanismo de colapso

### 3.7.3. Exemplo 3

Utilizando a técnica da programação linear determinar o fator de carga de colapso  $\lambda$  para o pórtico da figura 3.7. Adotar o momento plástico para as colunas igual a 45 KNm e para a viga igual a 30 KNm.

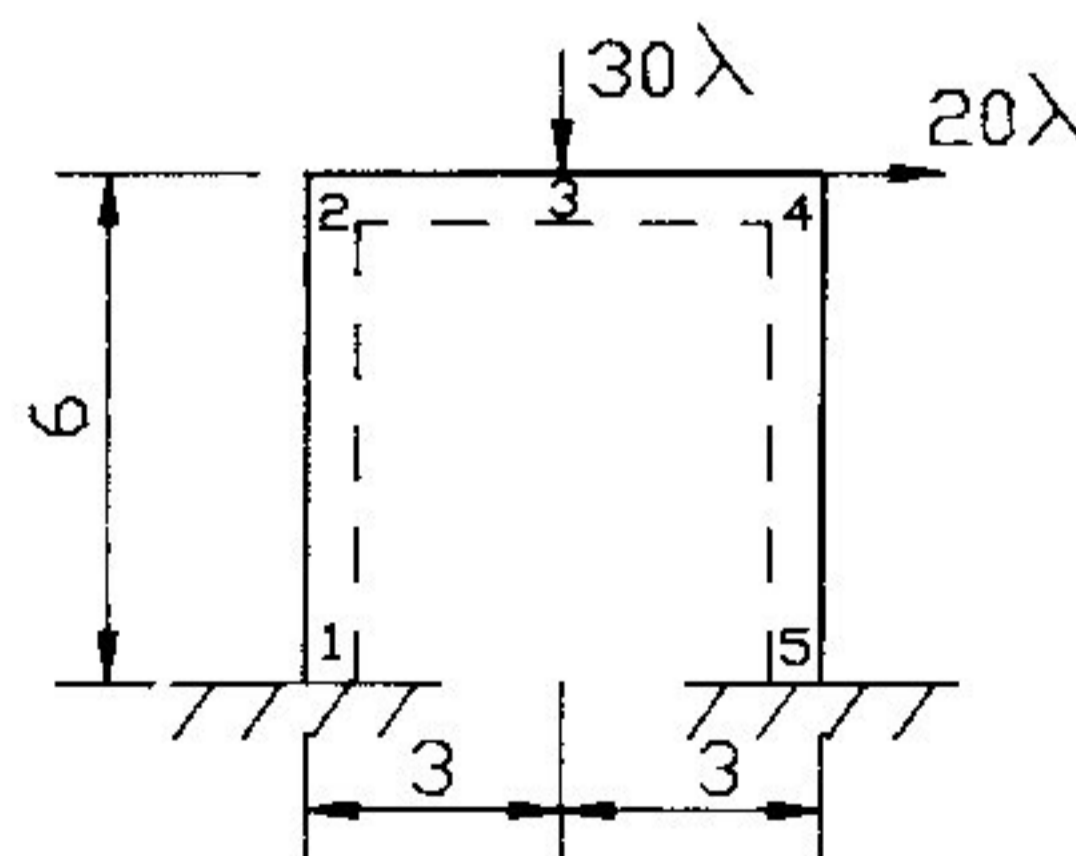


Figura 3.7 - Pórtico



A partir dos dois mecanismos independentes mecanismo lateral e o de viga obtém-se as duas equações de equilíbrio. A figura 3.8 ilustra os mecanismos independentes.

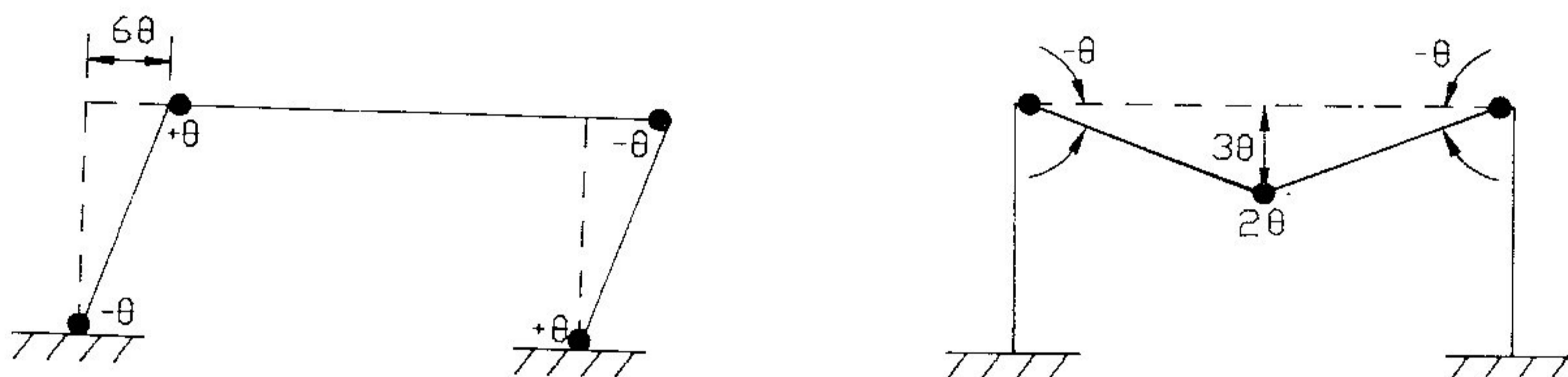


Figura 3.8 - Mecanismos Independentes

As equações de equilíbrio são:

$$120 \lambda + M_{1p} - M_{1m} - M_{2p} + M_{2m} + M_{4p} - M_{4m} - M_{5p} + M_{5m} = 0 \quad (3.18)$$

$$90 \lambda + M_{2p} - M_{2m} - 2M_{3p} + 2M_{3m} + M_{4p} - M_{4m} = 0 \quad (3.19)$$

Modelando o problema matematicamente para P.L. tem-se:

Maximizar:

$$f = c_1 \lambda + c_2 M_{1p} + c_3 M_{1m} + c_4 M_{2p} + c_5 M_{2m} + \dots + c_{10} M_{5p} + c_{11} M_{5m} \quad (3.20)$$

Para  $f = \lambda$ , o vetor  $C$  e a Matriz  $A$  ficam

respectivamente:

$$c = [ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 ]$$

$$\left[ \begin{array}{cccccccccccc} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 120 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 90 & 0 & 0 & 1 & -1 & -2 & 2 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right]$$

O vetor B fica:

$$B = [ 45 \ 30 \ 30 \ 30 \ 45 \ 0 \ 0 ]^T$$

Resolvendo o problema pela técnica apresentada tem-se:

$$\lambda = 1.00$$

Com os seguintes momentos nos pontos indicados:

|                         |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| M <sub>1p</sub> = 0.00  | M <sub>1m</sub> = 45.00 | M <sub>1</sub> = -45.00 |
| M <sub>2p</sub> = 0.00  | M <sub>2m</sub> = 0.00  | M <sub>2</sub> = 0.00   |
| M <sub>3p</sub> = 30.00 | M <sub>3m</sub> = 0.00  | M <sub>3</sub> = 30.00  |

|                  |                  |                |
|------------------|------------------|----------------|
| $M_{4p} = 0.00$  | $M_{4m} = 30.00$ | $M_4 = -30.00$ |
| $M_{5p} = 45.00$ | $M_{5m} = 0.00$  | $M_5 = 45.00$  |

O mecanismo de colapso do problema e as posições das rótulas plásticas são mostrados na figura 3.9.

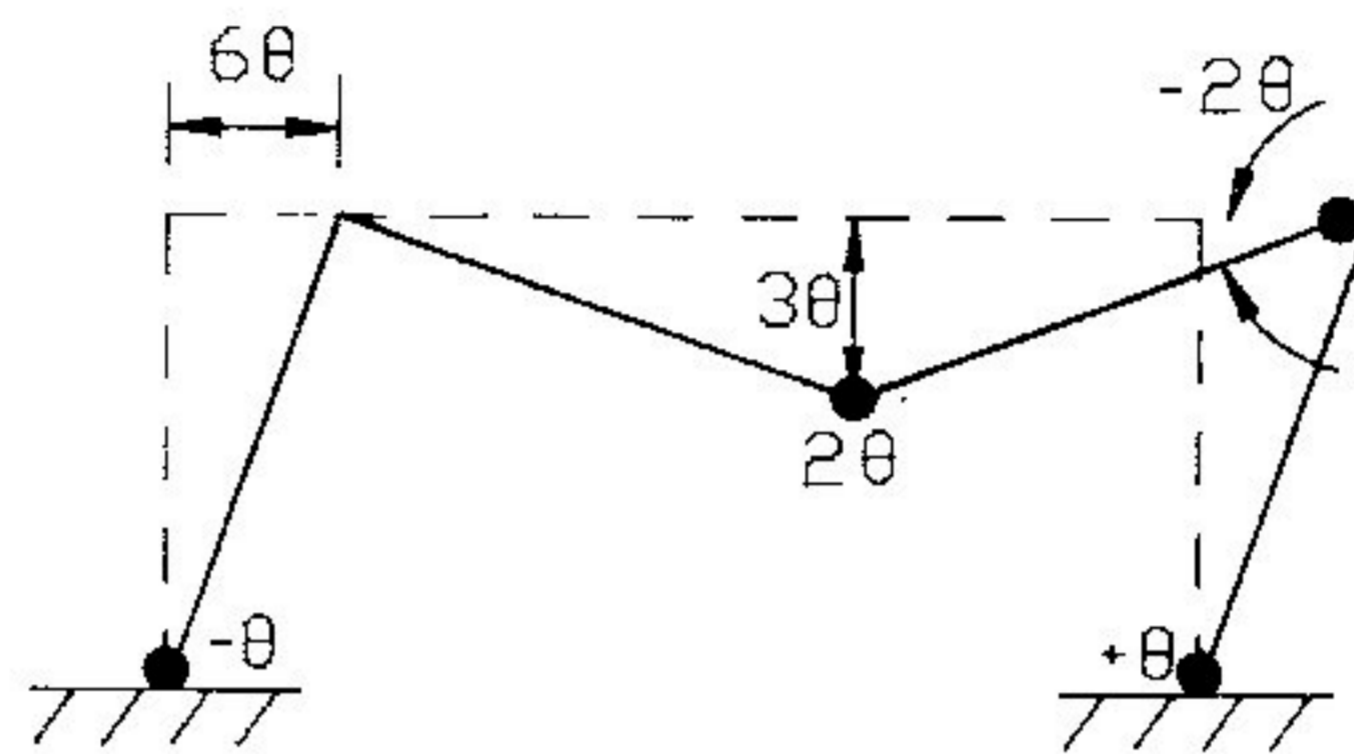


Figura 3.9 - Mecanismo de colapso



## 4. AUTOMATIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE EQUILÍBRIO

---

### 4.1. Introdução

O objetivo deste capítulo é mostrar o desenvolvimento de técnica para automatização das equações de equilíbrio para a análise plástica mostrada no capítulo anterior. O desenvolvimento desta técnica consistiu na elaboração de algoritmo para automatizar o estabelecimento das equações de equilíbrio de estruturas aporticadas. Os procedimentos do algoritmo foram implementados em sub-rotina em linguagem FORTRAN que por sua vez foi incorporada ao programa de análise mencionado no capítulo anterior.

Para o presente trabalho, a automatização da obtenção das equações de equilíbrio está limitada às vigas e aos pórticos planos retangulares de andares e vãos múltiplos.

A sub-rotina de automatização gera um arquivo de dados que é lido posteriormente pelo programa principal que executa os procedimentos de análise segundo a técnica da programação linear, descrita anteriormente.

Para os interessados em obter informações complementares, este capítulo foi desenvolvido baseado nas referências citadas nos capítulos anteriores.

## 4.2. Pórtico plano multicelular

A obtenção automática das equações de equilíbrio para pórticos multicelulares representa um avanço na automação de análise plástica. Dentro do programa computacional desenvolvido para a análise plástica esta automação é acessada pela opção (2)- AUTOMATIZAÇÃO ENTRADA DE DADOS PARA PÓRTICOS.

Algumas restrições, entretanto, devem ser observadas e conhecidas pelo usuário. Esta opção se limita à análise de estruturas com módulos retangulares de andar e/ou vãos. A seguir tem-se o detalhamento da técnica mencionada.

### 4.2.1. Algoritmo da sub-rotina

O algoritmo da técnica geradora das equações de equilíbrio é composto basicamente dos seguintes procedimentos de entrada de dados:

- 1) Início
- 2) Dados da Estrutura:
  - 2.1 - Quantidade de apoios
    - Distância entre eles
  - 2.2 - Quantidade de andares
    - Distância entre eles
  - 2.3 - Apoios rotulados
  - 2.4 - Barras com extremidade rotulada
  - 2.5 - Momento plástico das barras

- 3) Carregamentos
  - 3.1 - Carga nos nós
  - 3.2 - Carga nas barras
- 4) Impressão dos dados iniciais
- 5) Montagem das equações de equilíbrio a partir dos mecanismos de viga, lateral (andar) e de nó.
- 6) Geração do arquivo de dados.

#### 4.2.2. Numeração das barras e nós

O programa inicialmente será dimensionado para uma estrutura com no máximo cinco apoios e no máximo dez andares. A numeração das barras, dos apoios e dos nós seguirão as seguintes regras:

- 1) Primeiramente serão numeradas as colunas de baixo para cima e da esquerda para a direita;
- 2) Continuando a numeração seguem as vigas numeradas da esquerda para a direita e de baixo para cima.
- 3) Os apoios serão numerados da esquerda para a direita.
- 4) Os nós serão numerados da esquerda para a direita e de baixo para cima, seguindo a numeração dos apoios.

A figura 4.1 mostra um pórtico de 4 andares múltiplos com 5 apoios, 25 nós, 36 barras numerados de acordo com a entrada de dados do programa.



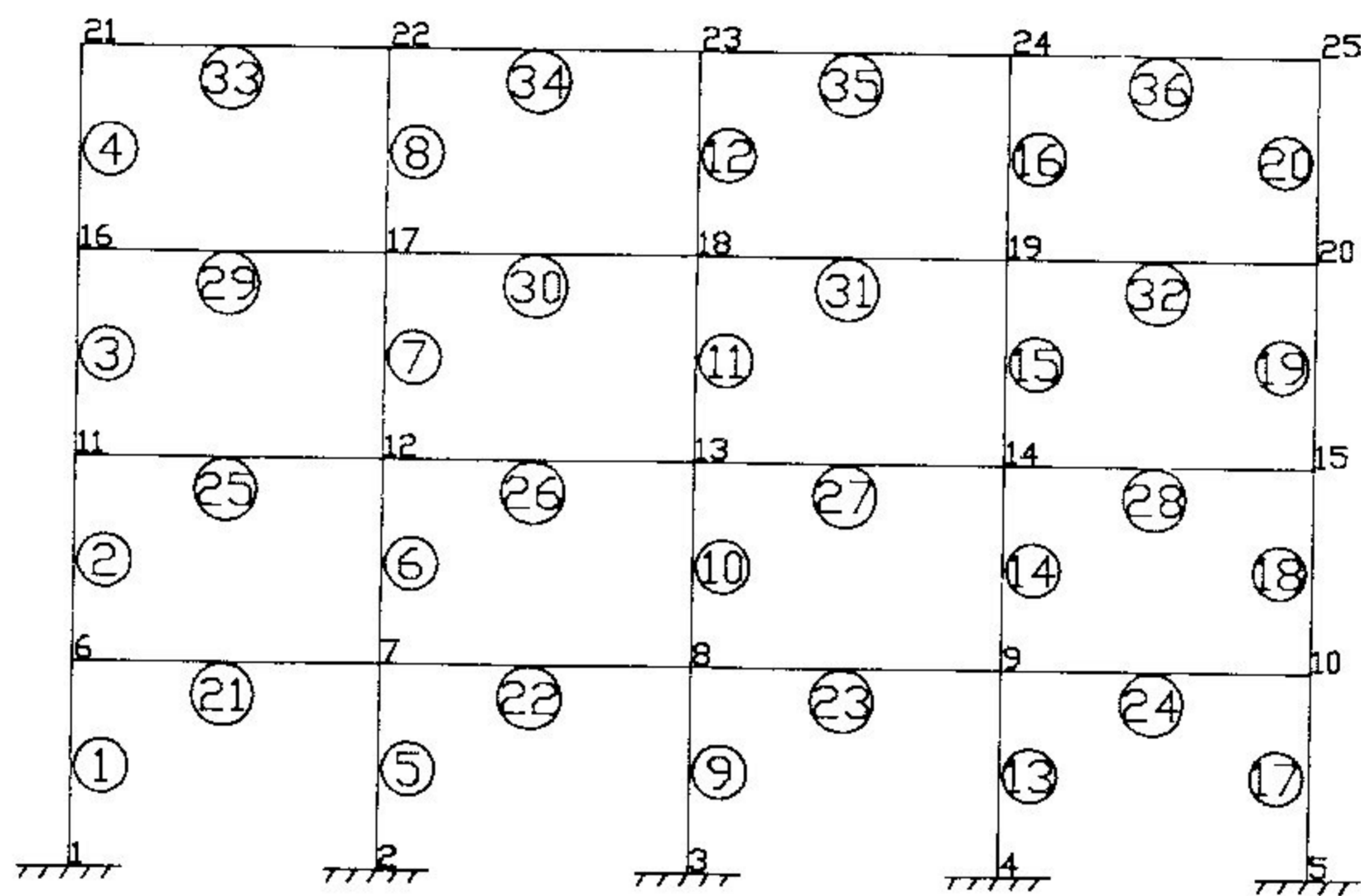


Figura 4.1 - Exemplo de numeração de barras e nós para pórtico

#### 4.2.3. Geometria da estrutura

Neste primeiro passo da automatização são

fornechos a quantidade de apoios e a distância entre eles, cujas coordenadas poderão ser geradas (vão típico) ou fornecidas uma a uma.

Em seguida são fornecidas a quantidade de andares e a altura entre cada andar. Pode-se ter também uma geração automática das coordenadas dos nós ou a entrada interativa das mesmas uma a uma.

Com estes dados conhecidos o programa define a numeração das barras e dos nós conforme ilustrado na figura 4.1 .

#### 4.2.4. Restrição dos apoios

Inicialmente todos os apoios são considerados engastados. Se existir algum que seja liberado para momento fletor o seu número é fornecido e o programa se encarrega de tratá-lo como uma rótula.

Para sair desta opção no programa computacional, basta entrar com um número negativo para o apoio.

#### 4.2.5. Barras com extremidades liberadas

No caso de barras com liberação para momento fletor em alguma extremidade, o número da barra e a extremidade liberada são fornecidos ao programa.

Esta opção é válida apenas para as vigas, já que na maior parte das estruturas as colunas são contínuas.

Para sair desta opção basta entrar com um número

negativo para a barra.

#### 4.2.6. Momento plástico das barras

Em seguida é fornecido o momento plástico de cada barra. O programa permite uma geração automatizada desta propriedade, quando várias barras tiverem o mesmo momento plástico, fornecendo a Barra Inicial, a Barra Final e o Incremento da numeração das barras entre estes dois valores que tem o mesmo momento plástico.

Para sair desta opção basta entrar com um número negativo para a barra inicial.

#### 4.2.7. Carregamentos

##### 4.2.7.1. Cargas nodais

O primeiro conjunto de dados a ser fornecido é relativo aos carregamentos nodais. É fornecido interativamente o número do nó e a força na direção  $x$  (sistema global). Sabe-se que a validade deste trabalho são para forças normais e cortantes desprezíveis. Baseado nesta consideração não é necessário fornecer cargas verticais nos nós na direção  $y$ .

Para sair desta opção basta entrar com um número negativo para o nó.



#### 4.2.7.2. Cargas nas barras

Na sequência do pré-processamento, entra-se com as cargas nas barras. O carregamento na barra é dividido em carga uniformemente distribuída em toda sua extensão e/ou uma carga concentrada no meio do vão.

A sub-rotina foi dimensionada para uma quantidade máxima de sessenta barras carregadas.

O carregamento é considerado positivo quando as cargas atuarem da esquerda para a direita, no caso das colunas e de cima para baixo para as vigas.

Para sair desta opção basta entrar com o número da barra negativo.

#### 4.2.8. Impressão dos dados iniciais

Terminada a entrada de dados, o programa permite a impressão dos mesmos. Tem-se as opções de imprimí-los na tela, na impressora ou gravá-los em arquivo.

#### 4.2.9. Equações de Equilíbrio

De posse da geometria e do carregamento monta-se um vetor com as posições possíveis de rótulas plásticas nas barras. Nas barras descarregadas são possíveis duas posições de rótulas e nas barras carregadas três, como mostra a figura 4.2(a) e (b) respectivamente.

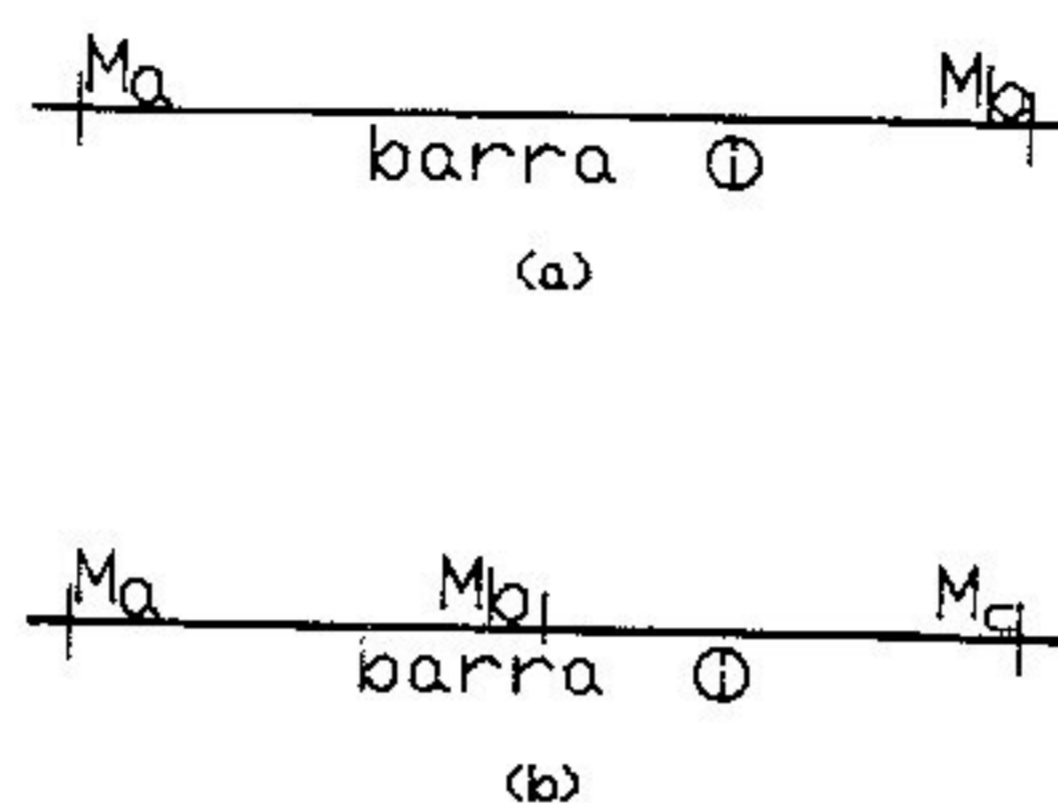


Figura 4.2 - Posições das rótulas nas barras

Começa-se a montagem das equações de equilíbrio a partir dos mecanismos de andar (ou lateral). Para o momento no topo das colunas das extremidades será adotado o menor valor entre o  $M_c$  (momento plástico da coluna) e  $M_y$  (momento plástico da viga). Nas colunas intermediárias estas rótulas aparecem no topo da coluna. A convenção de sinal para o momento positivo assim como os pontos possíveis de rótulas plásticas deste mecanismo de andar (ou lateral) é mostrado na figura 4.3.

No caso da extremidade da viga ser rotulada, considera-se uma articulação naquela extremidade, definindo no vetor B, relativo às resistências últimas das barras, que o valor do momento neste ponto seja zero. O mesmo ocorre com os apoios liberados para momento fletor.

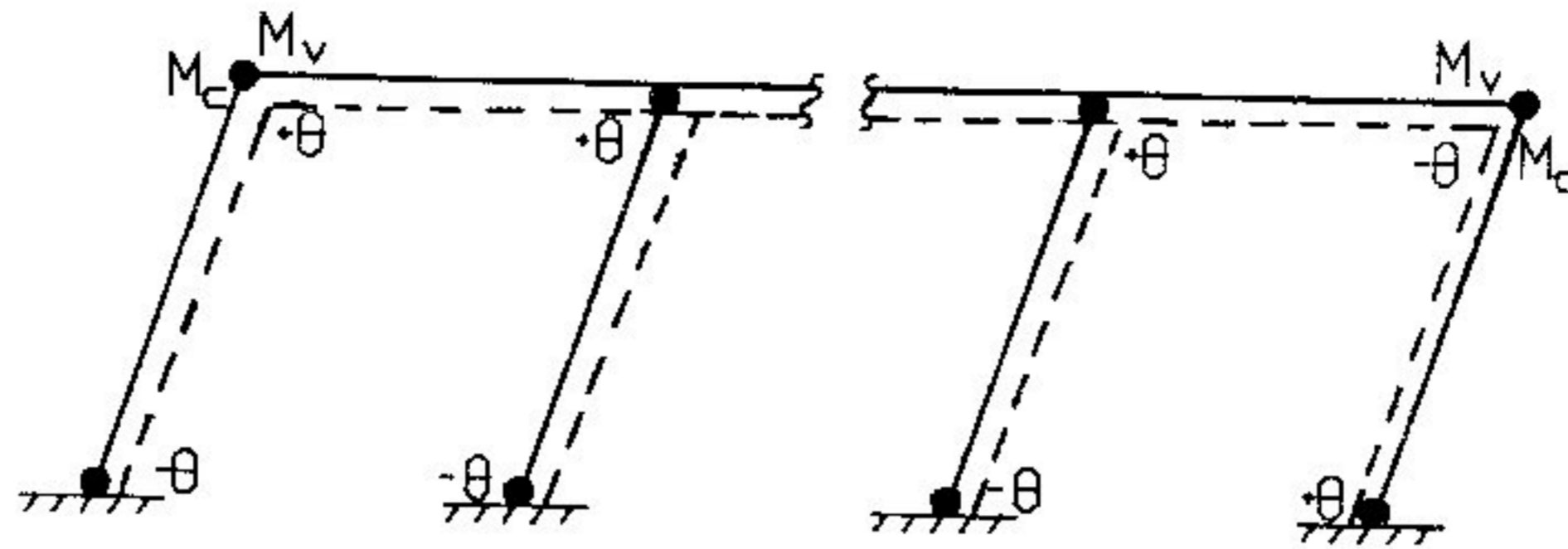


Figura 4.3 - Mecanismo de andar

O segundo mecanismo gerador de equação de equilíbrio é o de viga. Este mecanismo ocorrerá nas barras carregadas transversalmente, sejam elas vigas ou colunas.

Neste capítulo a rótula plástica para o mecanismo de viga será sempre analisada nas extremidades da barra e no meio do vão. A figura 4.4 ilustra este tipo de mecanismo.

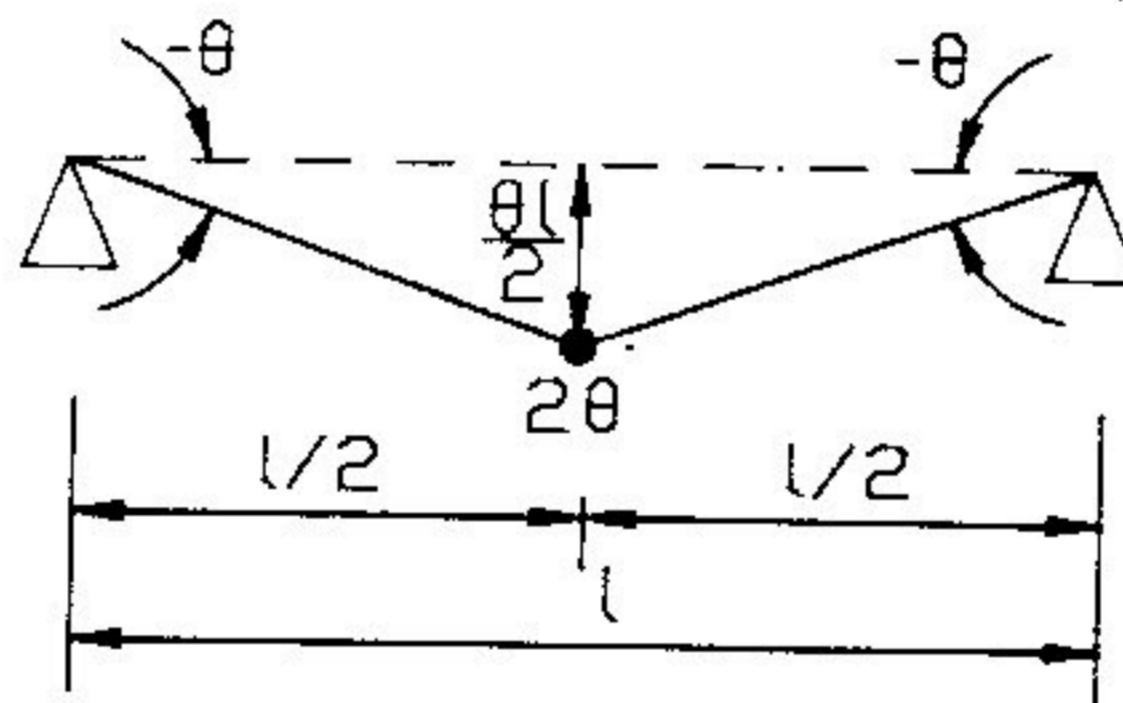


Figura 4.4 - Mecanismo de viga

O terceiro tipo de mecanismo analisado é o de rotação nodal. Estes mecanismos serão usados para completar o número total de mecanismos. O mecanismo e as convenções de sinais adotados são mostrados na figura 4.5.



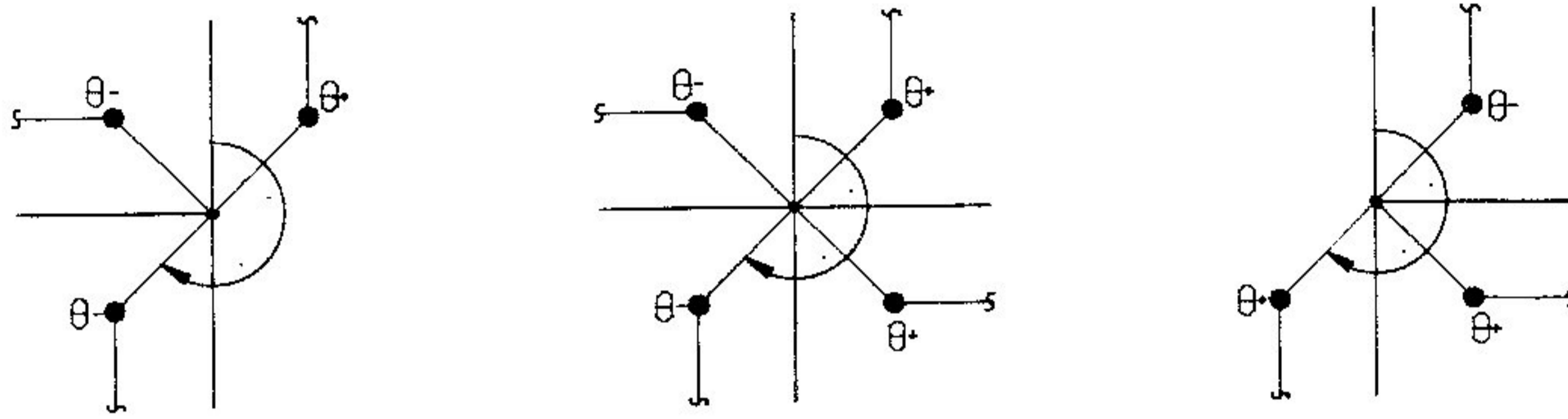


Figura 4.5 - Mecanismo de Nó

### 4.3. Vigas

Para completar o trabalho de obtenção automática das equações de equilíbrio, foi inserido no programa a opção para o estudo de vigas. A sub-rotina que automatiza as equações de equilíbrio para vigas é acessada pela opção (3)-AUTOMATIZAÇÃO ENTRADA DE DADOS PARA VIGAS.

O procedimento do algoritmo e suas restrições são descritos a seguir.

#### 4.3.1. Algoritmo da sub-rotina

O algoritmo desta sub-rotina geradora das equações de equilíbrio, é composta basicamente do seguinte:

1) Início

2) Dados da Estrutura:

2.1 - Quantidade de apoios

- Distância entre eles

2.2 - Extremidades rotuladas

2.3 - Momento plástico das barras

3) Carregamentos

3.1 - Carga nas barras

4) Impressão dos dados iniciais

5) Montagem das equações de equilíbrio a partir dos mecanismos de viga.

6) Geração do arquivo de dados.

#### 4.3.2. Numeração das barras e apoios

O programa inicialmente será dimensionado para uma estrutura com no máximo cinco apoios. A numeração das barras e dos apoios seguirá as seguintes regras:

1) As vigas serão numeradas da esquerda para a direita.

2) Os apoios serão numerados da esquerda para a direita.

A figura 4.6 mostra uma viga com 5 apoios numerados de acordo com a entrada de dados do programa.



Figura 4.6 - Numeração para as vigas

#### 4.3.3. Geometria da estrutura

Neste primeiro passo da sub-rotina são fornecidas a quantidade de apoios e a distância entre eles, cujas coordenadas poderão ser geradas (vão típico) ou fornecidas uma a uma.

Com estes dados conhecidos o programa define a numeração das barras e dos nós conforme ilustrado na figura 4.6.

#### 4.3.4. Restrições dos apoios extremos

Inicialmente os apoios extremos serão considerados engastados. A sub-rotina permite liberar para momento fletor as extremidades da esquerda e/ou da direita. Os apoios intermediários independem desta condição.

Para sair desta opção basta entrar com um número negativo.

#### 4.3.5. Momento plástico das barras

A seguir é fornecido o momento plástico constante para todas as barras.

#### 4.3.6. Cargas nas barras

Na sequência do pré-processamento, entra-se com as cargas nas barras. O carregamento na barra é dividido em



carga uniformemente distribuída em toda sua extensão e/ou uma carga concentrada no meio do vão.

O carregamento é considerado positivo quando as cargas atuarem de cima para baixo.

Para sair desta opção basta entrar com o número da barra negativo.

#### 4.3.7. Impressão dos dados iniciais

Terminada a entrada de dados, o programa permite a impressão dos mesmos. Tem-se a opção de imprimí-los na tela, na impressora ou gravá-los em arquivo.

#### 4.3.8. Equações de Equilíbrio

De posse da geometria e do carregamento monta-se um vetor com as posições possíveis de rótulas plásticas nas barras. Nas barras descarregadas são possíveis duas posições de rótulas e nas barras carregadas três, como já foi visto na figura 4.2.

O mecanismo analisado pela sub-rotina é o de viga. Este mecanismo ocorrerá nas barras carregadas. Neste trabalho a rótula plástica para este mecanismo será sempre analisada nas extremidades da barra e no meio do vão, como foi visto na figura 4.4.

#### 4.4. Exemplos

Os exemplos de análise plástica que se seguem tem suas equações de equilíbrio geradas automaticamente pela técnica descrita anteriormente e mostram a importância desta automatização para a análise plástica.

##### 4.4.1. Exemplo 1.

Utilizando a técnica da programação linear determinar o fator de carga de colapso  $\lambda$  para o pórtico da figura 4.7. Adotar o momento plástico para as barras igual a 30 KNm. Este exemplo foi tirado do livro do NEAL [2].

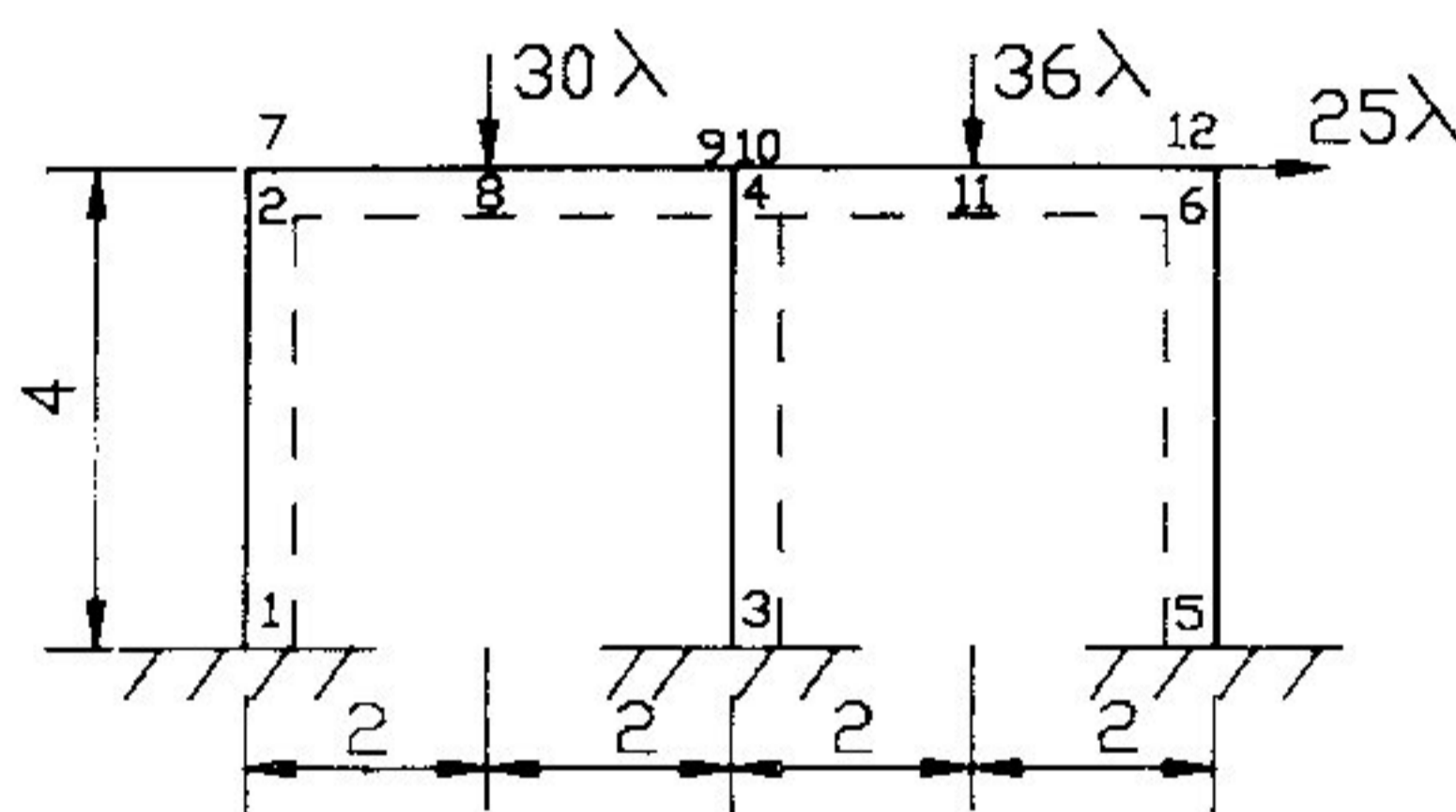


Figura 4.7 - Pórtico

Modelando o problema matematicamente para P.L. tem-se:

Maximizar

$$f = c_1 \lambda + c_2 M_{1p} + c_3 M_{1m} + c_4 M_{2p} + c_5 M_{2m} + \dots + c_{24} M_{12p} + c_{25} M_{12m} \quad (4.1)$$

Para obter o fator de carga de colapso faz-se:

$$f = \lambda$$

(4.2)

Resolvendo o problema utilizando a opção (2) do menu do programa principal tem-se a seguinte entrada de dados e resultados:

|                            |      |
|----------------------------|------|
| QUANTIDADE DE APOIOS ..... | 3    |
| VAO 1 .....                | 4.00 |
| VAO 2 .....                | 4.00 |

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| QUANTIDADE DE ANDARES ..... | 1    |
| ANDAR 1 .....               | 4.00 |

#### RESTRICAO DOS APOIOS

APOIO 1..... ENGASTADO  
APOIO 2..... ENGASTADO  
APOIO 3..... ENGASTADO

#### BARRAS COM EXTREMIDADE ROTULADA

TODAS AS EXTREMIDADES DAS BARRAS SAO RIGIDAS

#### CARREGAMENTO NODAL

| NO | FORCA X |
|----|---------|
| 6. | 25.00   |



CARGA NAS BARRAS

| BARRA | CARGA DISTRIBUIDA | CARGA CONCENTRADA |
|-------|-------------------|-------------------|
| 4     | 0.00              | 30.00             |
| 5     | 0.00              | 36.00             |

PROPRIEDADE DAS BARRAS

| BARRA | PONTOS  | MOMENTO PLASTICO |
|-------|---------|------------------|
| 1     | 1 a 2   | 30.00            |
| 2     | 3 a 4   | 30.00            |
| 3     | 5 a 6   | 30.00            |
| 4     | 7 a 8   | 30.00            |
| 5     | 10 a 12 | 30.00            |

INDICADOR DE ERRO (IER) = 0

VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S) = 1.42

PRIMAL SOLUTION (PSOL) :

|        |       |        |       |      |        |
|--------|-------|--------|-------|------|--------|
| M 1p = | 0.00  | M 1m = | 30.00 | M 1= | -30.00 |
| M 2p = | 4.66  | M 2m = | 0.00  | M 2= | 4.66   |
| M 3p = | 0.00  | M 3m = | 30.00 | M 3= | -30.00 |
| M 4p = | 17.59 | M 4m = | 0.00  | M 4= | 17.59  |
| M 5p = | 30.00 | M 5m = | 0.00  | M 5= | 30.00  |
| M 6p = | 0.00  | M 6m = | 30.00 | M 6= | -30.00 |
| M 7p = | 4.66  | M 7m = | 0.00  | M 7= | 4.66   |
| M 8p = | 30.00 | M 8m = | 0.00  | M 8= | 30.00  |
| M 9p = | 0.00  | M 9m = | 30.00 | M 9= | -30.00 |
| M10p = | 0.00  | M10m = | 12.41 | M10= | -12.41 |

|             |       |             |       |            |        |
|-------------|-------|-------------|-------|------------|--------|
| $M_{11p} =$ | 30.00 | $M_{11m} =$ | 0.00  | $M_{11} =$ | 30.00  |
| $M_{12p} =$ | 0.00  | $M_{12m} =$ | 30.00 | $M_{12} =$ | -30.00 |

A figura 4.8 mostra as rótulas plásticas formadas para o mecanismo de colapso resultante.

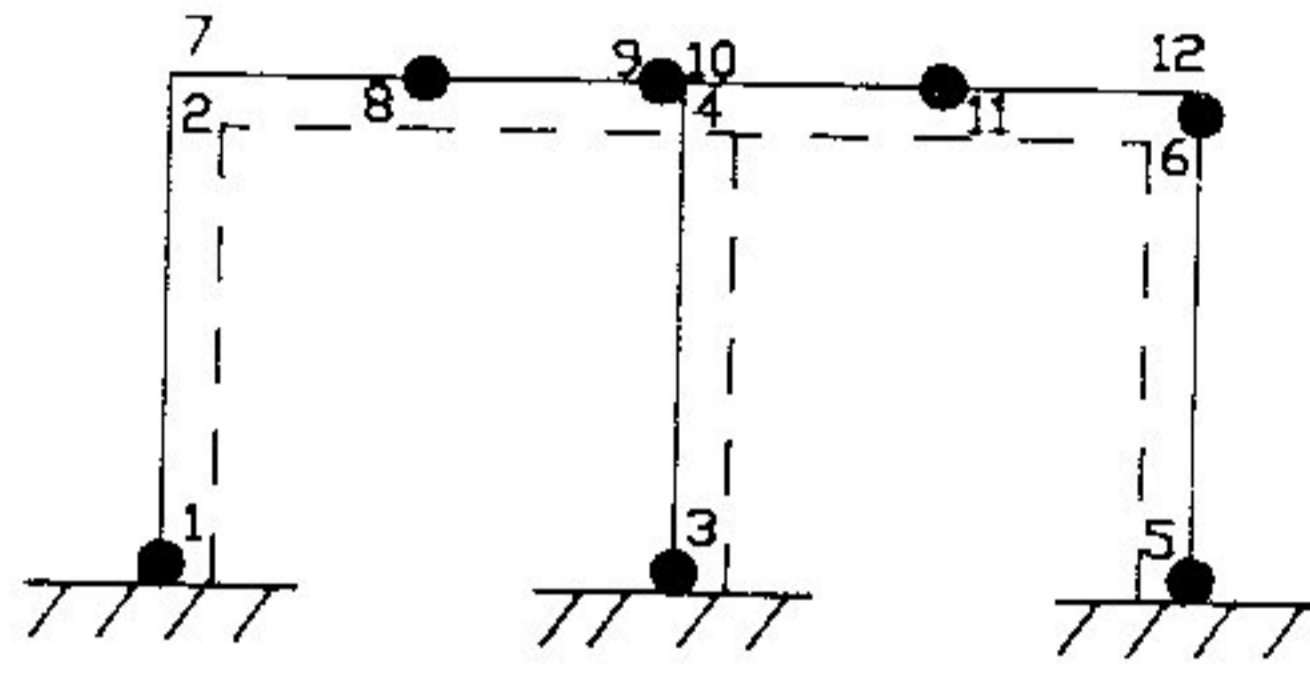


Figura 4.8 - Posição das Rótulas Plásticas

#### 4.4.2. Exemplo 2.

Resolver pela técnica apresentada o pórtico cuja geometria e carregamento são mostrados na figura 4.9. Todas as barras tem o mesmo momento plástico de 50 KNm. Este exemplo foi tirado do livro do BEEDLE [7]. O objetivo deste exemplo é mostrar a aplicabilidade do programa computacional desenvolvido para o caso de apoios rotulados.

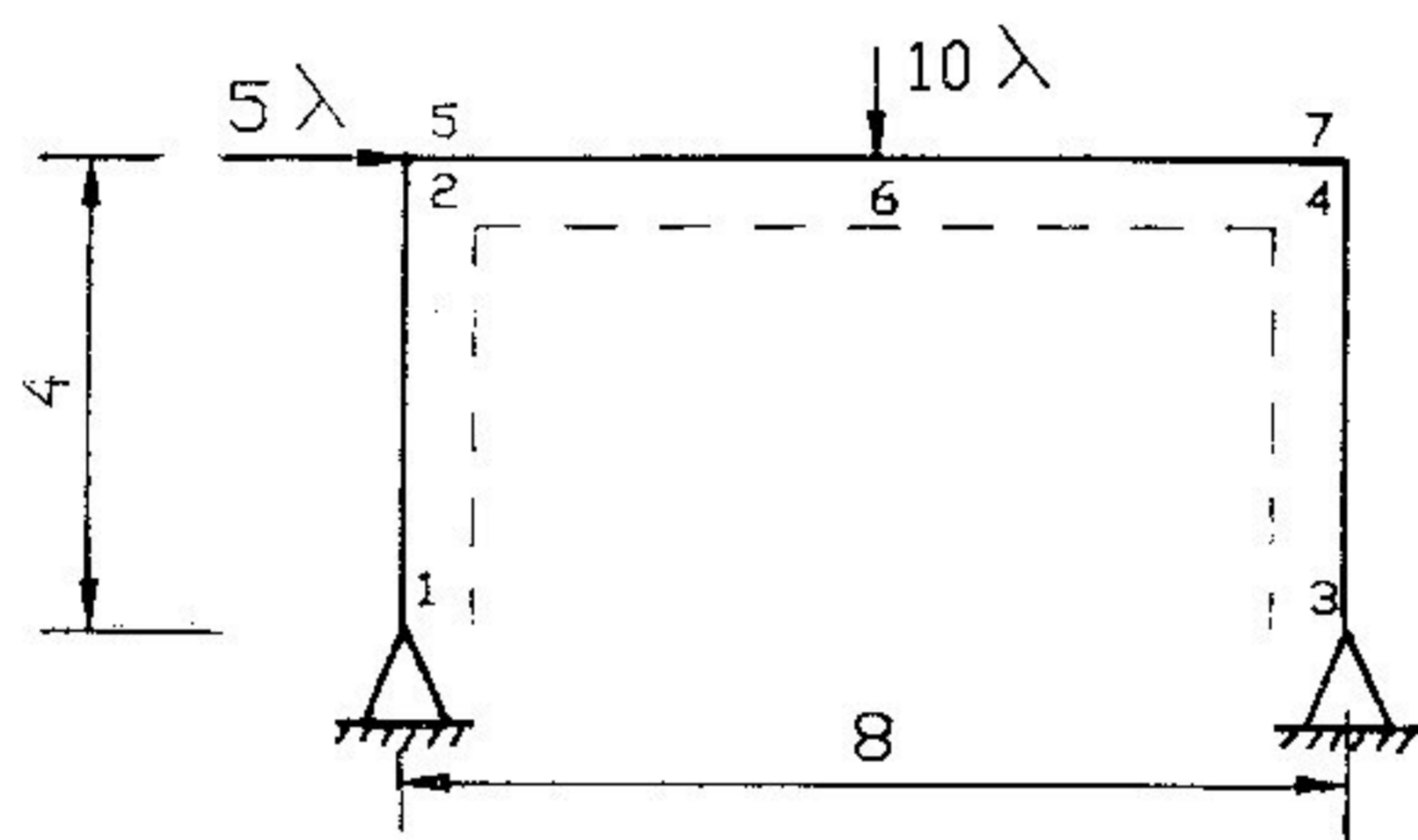


Figura 4.9 - Pórtico

De forma similar aos problemas anteriores, utilizando a opção (2) para a automatização das equações de equilíbrio para pórticos chegou-se aos seguintes resultados:

|                            |      |
|----------------------------|------|
| QUANTIDADE DE APOIOS ..... | 2    |
| VAO 1 .....                | 8.00 |



QUANTIDADE DE ANDARES ..... 1

ANDAR 1 ..... 4.00

RESTRICAO DOS APOIOS

APOIO 1..... ROTULADO

APOIO 2..... ROTULADO

BARRAS COM EXTREMIDADE ROTULADA

TODAS AS EXTREMIDADES DAS BARRAS SAO RIGIDAS

CARREGAMENTO NODAL

| NO | FORCA X |
|----|---------|
| 3. | 5.00    |

CARGA NAS BARRAS

| BARRA | CARGA DISTRIBUIDA | CARGA CONCENTRADA |
|-------|-------------------|-------------------|
| 3     | 0.00              | 10.00             |

PROPRIEDADE DAS BARRAS

| BARRA | PONTOS | MOMENTO PLASTICO |
|-------|--------|------------------|
| 1     | 1 a 2  | 50.00            |
| 2     | 3 a 4  | 50.00            |
| 3     | 5 a 7  | 50.00            |

INDICADOR DE ERRO (IER) = 0

VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S) = 3.33

PRIMAL SOLUTION (PSOL) :

|        |       |        |       |      |        |
|--------|-------|--------|-------|------|--------|
| M 1p = | 0.00  | M 1m = | 0.00  | M 1= | 0.00   |
| M 2p = | 16.67 | M 2m = | 0.00  | M 2= | 16.67  |
| M 3p = | 0.00  | M 3m = | 0.00  | M 3= | 0.00   |
| M 4p = | 0.00  | M 4m = | 50.00 | M 4= | -50.00 |
| M 5p = | 16.67 | M 5m = | 0.00  | M 5= | 16.67  |
| M 6p = | 50.00 | M 6m = | 0.00  | M 6= | 50.00  |
| M 7p = | 0.00  | M 7m = | 50.00 | M 7= | -50.00 |

Estes resultados confirmam os apresentados pelo autor.

4.4.3. Exemplo 3.

Resolver pela mesma técnica a viga continua da figura 4.10. Este exemplo foi tirado do livro dos autores HORNE e MORRIS [16].

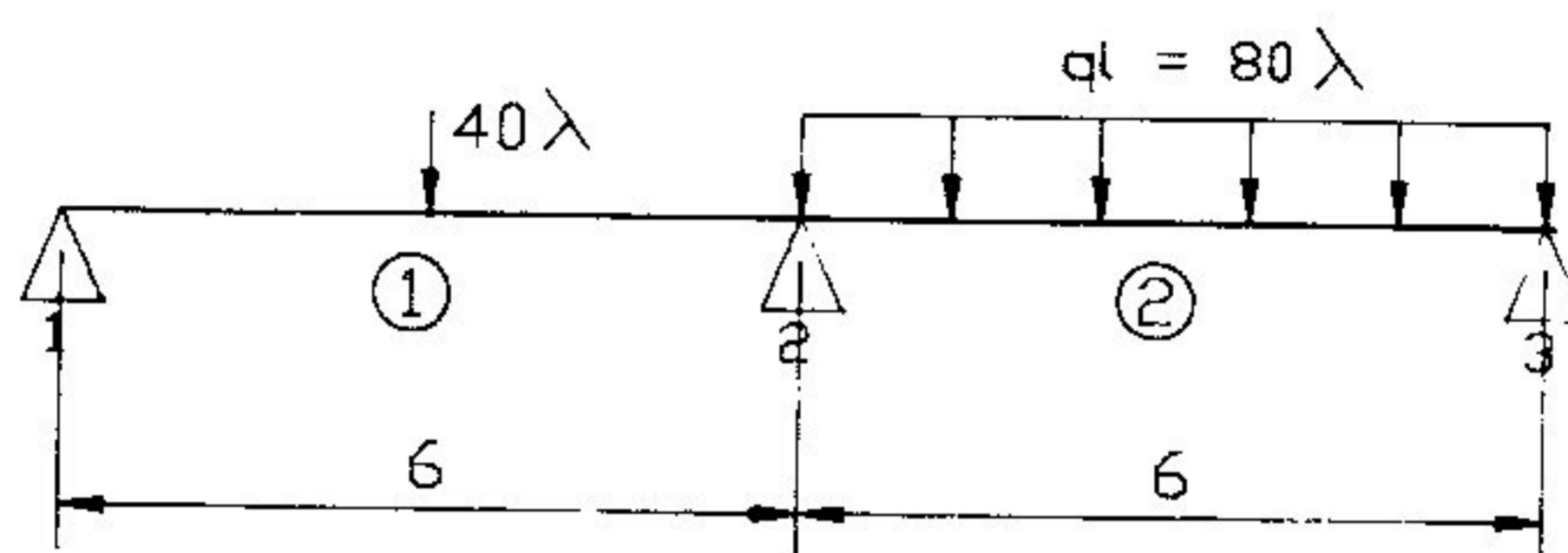


Figura 4.10 - Viga

De forma similar aos problemas anteriores, utilizando a opção (3) para automatização das equações de equilíbrio para vigas, tem-se:

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| QUANTIDADE DE APOIOS ..... | 3        |
| VAO 1 .....                | 6.00     |
| VAO 2 .....                | 6.00     |
| RESTRICAO DOS APOIOS       |          |
| EXTREMIDADE ESQUERDA ..... | ROTULADA |
| EXTREMIDADE DIREITA .....  | ROTULADA |



### CARGA NAS BARRAS

| BARRA | CARGA DISTRIBUIDA | CARGA CONCENTRADA |
|-------|-------------------|-------------------|
| 1     | 0.00              | 40.00             |
| 2     | 13.33             | 0.00              |

### PROPRIEDADE DAS BARRAS

| BARRA | PONTOS | MOMENTO PLASTICO |
|-------|--------|------------------|
| 1     | 1 a 3  | 70.00            |
| 2     | 4 a 6  | 70.00            |

INDICADOR DE ERRO (IER) = 0

VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S) = 1.75

### PRIMAL SOLUTION (PSOL) :

|        |       |        |       |      |        |
|--------|-------|--------|-------|------|--------|
| M 1p = | 0.00  | M 1m = | 0.00  | M 1= | 0.00   |
| M 2p = | 70.00 | M 2m = | 0.00  | M 2= | 70.00  |
| M 3p = | 0.00  | M 3m = | 70.00 | M 3= | -70.00 |
| M 4p = | 0.00  | M 4m = | 69.95 | M 4= | -69.95 |
| M 5p = | 70.00 | M 5m = | 0.00  | M 5= | 70.00  |
| M 6p = | 0.00  | M 6m = | 0.00  | M 6= | 0.00   |

O resultado exato para o problema analisado é  $\lambda=1.70$ , o que difere do encontrado pelo programa  $\lambda=1.75$ . Isto se dá pelo fato do programa considerar sempre a formação da rótula plástica no meio do vão. Entretanto o erro cometido é de aproximadamente 3%, o que pode ser considerado para o caso desprezível.

4.4.4. Exemplo 4.

Resolver pela mesma técnica apresentada o pórtico da figura 4.11. Este exemplo foi tirado do livro do NEAL [2].

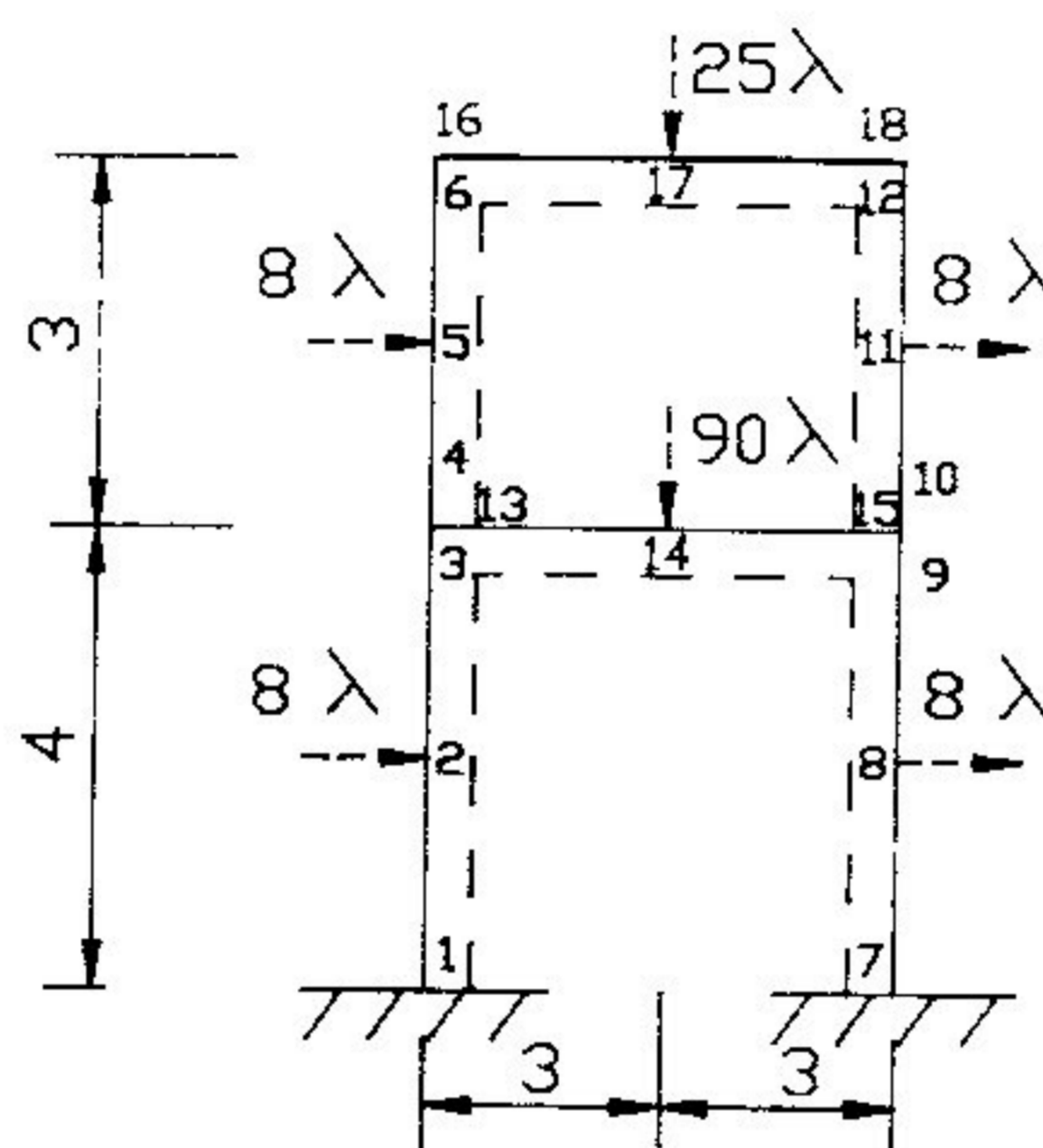


Figura 4.11- Pórtico

Modelando o problema matematicamente para P.L. tem-se:

Maximizar:

$$f = c_1 \lambda + c_2 M_{1p} + c_3 M_{1m} + c_4 M_{2p} + c_5 M_{2m} + \dots + c_{36} M_{18p} + c_{37} M_{18m} \quad (4.3)$$

Para obtermos o fator de carga de colapso fazemos:

$$f = \lambda \quad (4.4)$$

Resolvendo o problema utilizando a opção (2) do menu do programa principal tem-se a seguinte entrada de dados e resultados:

QUANTIDADE DE APOIOS ..... 2  
 VAO 1 ..... 6.00

QUANTIDADE DE ANDARES ..... 2  
 ANDAR 1 ..... 4.00  
 ANDAR 2 ..... 3.00

RESTRICAO DOS APOIOS

APOIO 1..... ENGASTADO

APOIO 2..... ENGASTADO

BARRAS COM EXTREMIDADE ROTULADA

TODAS AS EXTREMIDADES DAS BARRAS SAO RIGIDAS

CARGA NAS BARRAS

| BARRA | CARGA DISTRIBUIDA | CARGA CONCENTRADA |
|-------|-------------------|-------------------|
| 1     | 2.00              | 0.00              |
| 2     | 2.67              | 0.00              |
| 3     | 2.00              | 0.00              |
| 4     | 2.67              | 0.00              |
| 5     | 15.00             | 0.00              |
| 6     | 4.17              | 0.00              |

PROPRIEDADE DAS BARRAS

| BARRA | PONTOS  | MOMENTO PLASTICO |
|-------|---------|------------------|
| 1     | 1 a 3   | 40.00            |
| 2     | 4 a 6   | 20.00            |
| 3     | 7 a 9   | 40.00            |
| 4     | 10 a 12 | 20.00            |
| 5     | 13 a 15 | 60.00            |
| 6     | 16 a 18 | 20.00            |

INDICADOR DE ERRO (IER) = 0

VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S) = 1.37

PRIMAL SOLUTION (PSOL) :

|        |       |        |       |      |        |
|--------|-------|--------|-------|------|--------|
| M 1p = | 0.00  | M 1m = | 40.00 | M 1= | -40.00 |
| M 2p = | 0.00  | M 2m = | 8.87  | M 2= | -8.87  |
| M 3p = | 40.00 | M 3m = | 28.67 | M 3= | 11.33  |
| M 4p = | 20.00 | M 4m = | 4.14  | M 4= | 15.86  |
| M 5p = | 20.00 | M 5m = | 3.62  | M 5= | 16.38  |
| M 6p = | 8.70  | M 6m = | 0.00  | M 6= | 8.70   |
| M 7p = | 40.00 | M 7m = | 0.00  | M 7= | 40.00  |
| M 8p = | 0.00  | M 8m = | 5.47  | M 8= | -5.47  |
| M 9p = | 0.00  | M 9m = | 40.00 | M 9= | -40.00 |
| M10p = | 20.00 | M10m = | 0.00  | M10= | 20.00  |
| M11p = | 0.00  | M11m = | 4.11  | M11= | -4.11  |
| M12p = | 0.00  | M12m = | 20.00 | M12= | -20.00 |
| M13p = | 0.00  | M13m = | 4.53  | M13= | -4.53  |
| M14p = | 60.00 | M14m = | 0.00  | M14= | 60.00  |



|        |       |        |       |      |        |
|--------|-------|--------|-------|------|--------|
| M15p = | 0.00  | M15m = | 60.00 | M15= | -60.00 |
| M16p = | 8.70  | M16m = | 0.00  | M16= | 8.70   |
| M17p = | 20.00 | M17m = | 0.00  | M17= | 20.00  |
| M18p = | 0.00  | M18m = | 20.00 | M18= | -20.00 |

A figura 4.12 mostra as rótulas plásticas formadas para o mecanismo de colapso resultante.

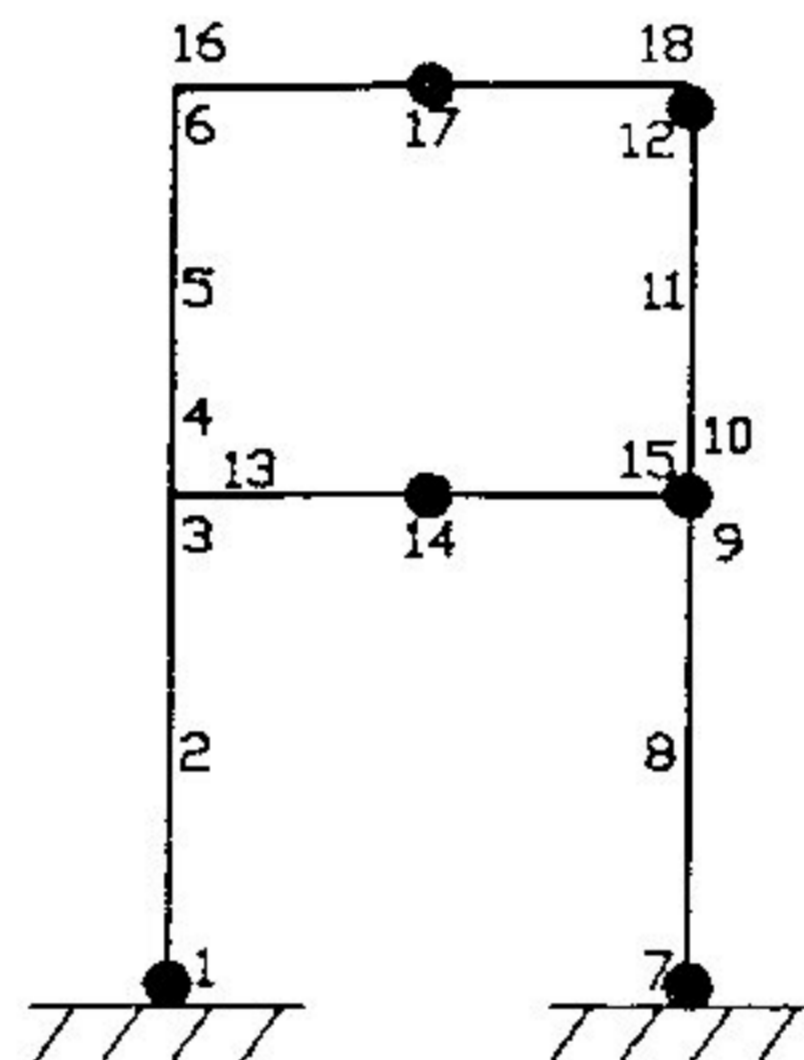


Figura 4.12 - Posição das Rótulas Plásticas

4.4.5 Exemplo 5.

Resolver pela mesma técnica apresentada o pórtico da figura 4.13. Este exemplo foi tirado do livro do HEYMAN [14].

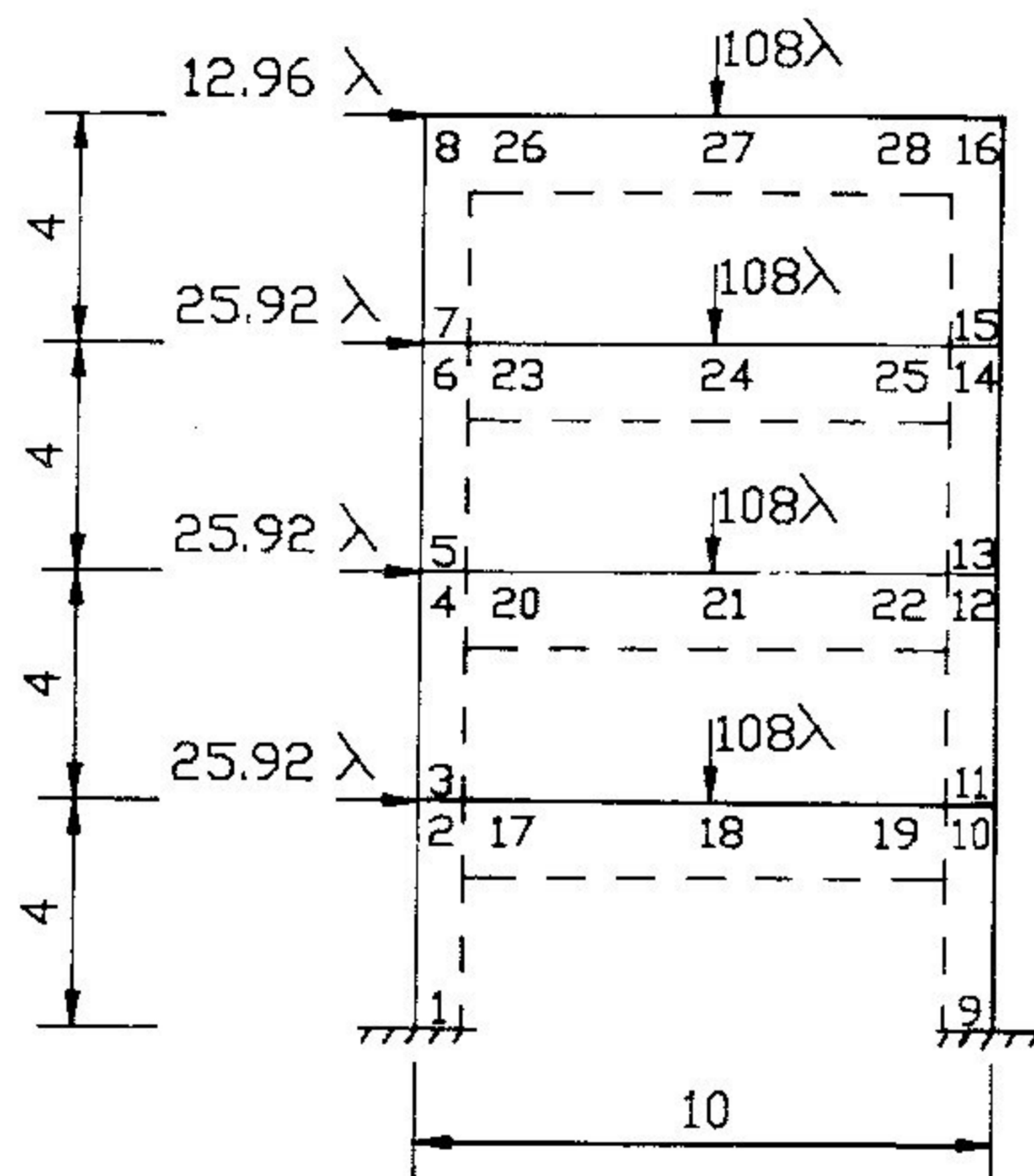


Figura 4.13 - Pórtico

Modelando o problema matematicamente para P.L. tem-se:

Maximizar:

$$f = c_1 \lambda + c_2 M_{1p} + c_3 M_{1m} + c_4 M_{2p} + c_5 M_{2m} + \dots + c_{56} M_{28p} + c_{57} M_{28m} \quad (4.5)$$

Para obter o fator de carga de colapso faz-se:

$$f = \lambda$$

(4.6)

Resolvendo o problema utilizando a opção (2) do menu do programa principal tem-se a seguinte entrada de dados e os respectivos resultados:

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| QUANTIDADE DE APOIOS .....  | 2     |
| VAO 1 .....                 | 10.00 |
| QUANTIDADE DE ANDARES ..... | 4     |
| ANDAR 1 .....               | 4.00  |
| ANDAR 2 .....               | 4.00  |
| ANDAR 3 .....               | 4.00  |
| ANDAR 4 .....               | 4.00  |

#### RESTRICAO DOS APOIOS

APOIO 1..... ENGASTADO

APOIO 2..... ENGASTADO

#### BARRAS COM EXTREMIDADE ROTULADA

TODAS AS EXTREMIDADES DAS BARRAS SAO RIGIDAS

#### CARREGAMENTO NODAL

| NO | FORCA X |
|----|---------|
| 3. | 25.92   |
| 5. | 25.92   |
| 7. | 25.92   |

9. 12.96

CARGA NAS BARRAS

| BARRA | CARGA DISTRIBUIDA | CARGA CONCENTRADA |
|-------|-------------------|-------------------|
| 9     | 0.00              | 108.00            |
| 10    | 0.00              | 108.00            |
| 11    | 0.00              | 108.00            |
| 12    | 0.00              | 108.00            |

PROPRIEDADE DAS BARRAS

| BARRA | PONTOS  | MOMENTO PLASTICO |
|-------|---------|------------------|
| 1     | 1 a 2   | 256.00           |
| 2     | 3 a 4   | 256.00           |
| 3     | 5 a 6   | 256.00           |
| 4     | 7 a 8   | 256.00           |
| 5     | 9 a 10  | 256.00           |
| 6     | 11 a 12 | 256.00           |
| 7     | 13 a 14 | 256.00           |
| 8     | 15 a 16 | 256.00           |
| 9     | 17 a 19 | 420.00           |
| 10    | 20 a 22 | 420.00           |
| 11    | 23 a 25 | 382.00           |
| 12    | 26 a 28 | 382.00           |

INDICADOR DE ERRO (IER) = 0

VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S) = 2.23



PRIMAL SOLUTION (PSOL) :

|        |        |        |        |      |         |
|--------|--------|--------|--------|------|---------|
| M 1p = | 0.00   | M 1m = | 256.00 | M 1= | -256.00 |
| M 2p = | 42.38  | M 2m = | 0.00   | M 2= | 42.38   |
| M 3p = | 0.00   | M 3m = | 11.69  | M 3= | -11.69  |
| M 4p = | 256.00 | M 4m = | 108.85 | M 4= | 147.15  |
| M 5p = | 93.08  | M 5m = | 0.00   | M 5= | 93.08   |
| M 6p = | 20.38  | M 6m = | 0.00   | M 6= | 20.38   |
| M 7p = | 256.00 | M 7m = | 175.69 | M 7= | 80.31   |
| M 8p = | 70.08  | M 8m = | 256.00 | M 8= | -185.92 |
| M 9p = | 256.00 | M 9m = | 0.00   | M 9= | 256.00  |
| M10p = | 0.00   | M10m = | 256.00 | M10= | -256.00 |
| M11p = | 164.00 | M11m = | 0.00   | M11= | 164.00  |
| M12p = | 0.00   | M12m = | 256.00 | M12= | -256.00 |
| M13p = | 164.00 | M13m = | 0.00   | M13= | 164.00  |
| M14p = | 0.00   | M14m = | 256.00 | M14= | -256.00 |
| M15p = | 126.00 | M15m = | 0.00   | M15= | 126.00  |
| M16p = | 0.00   | M16m = | 256.00 | M16= | -256.00 |
| M17p = | 54.08  | M17m = | 0.00   | M17= | 54.08   |
| M18p = | 420.00 | M18m = | 0.00   | M18= | 420.00  |
| M19p = | 0.00   | M19m = | 420.00 | M19= | -420.00 |
| M20p = | 54.08  | M20m = | 0.00   | M20= | 54.08   |
| M21p = | 420.00 | M21m = | 0.00   | M21= | 420.00  |
| M22p = | 0.00   | M22m = | 420.00 | M22= | -420.00 |
| M23p = | 0.00   | M23m = | 59.92  | M23= | -59.92  |
| M24p = | 382.00 | M24m = | 0.00   | M24= | 382.00  |
| M25p = | 0.00   | M25m = | 382.00 | M25= | -382.00 |
| M26p = | 0.00   | M26m = | 185.92 | M26= | -185.92 |
| M27p = | 382.00 | M27m = | 0.00   | M27= | 382.00  |

M28p = 0.00      M28m = 256.00      M28= -256.00

A figura 4.14 mostra as posições das rótulas plásticas para o mecanismo de colapso resultante.

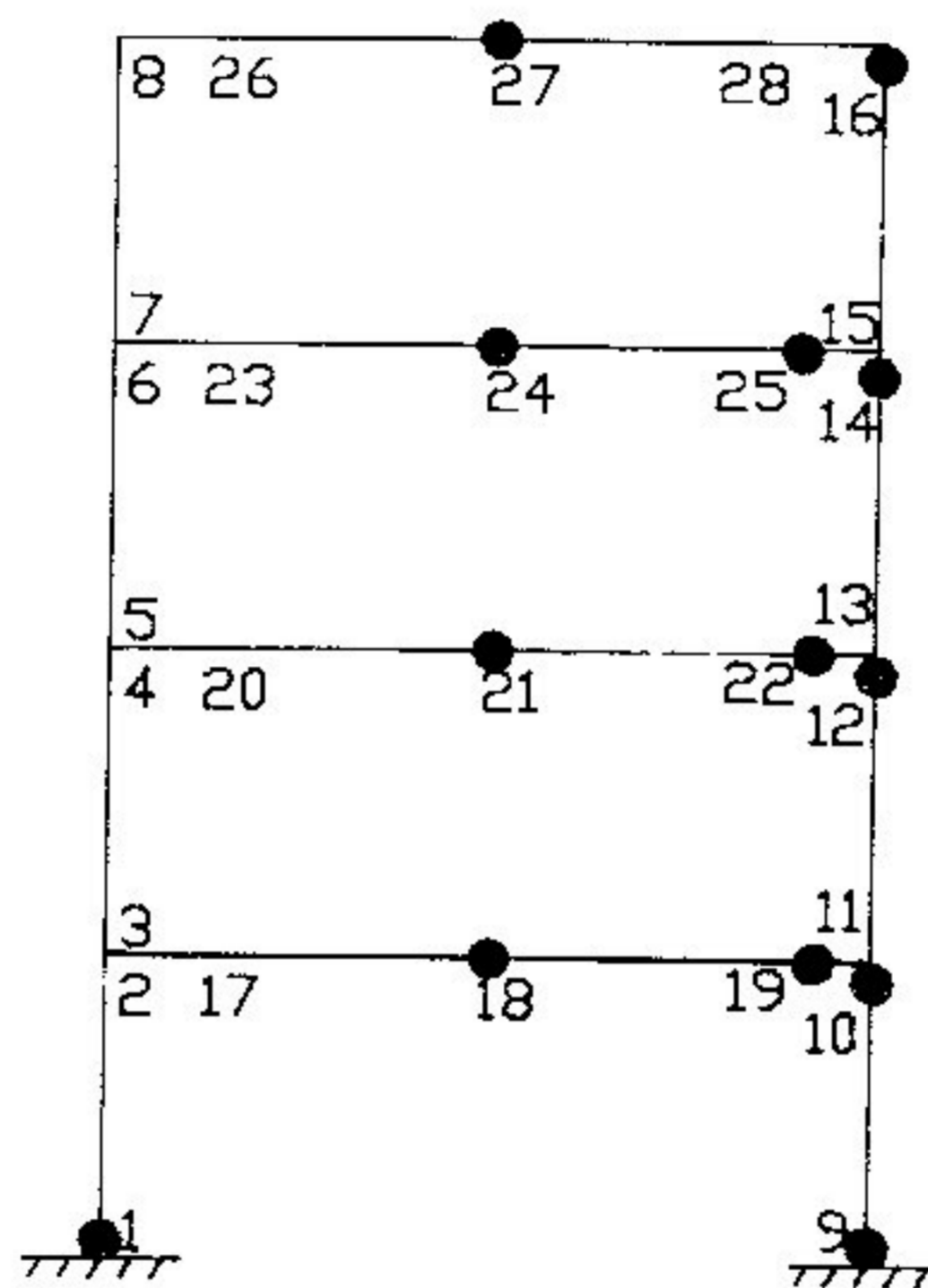


Figura 4.14 - Posição das Rótulas Plásticas

## 5. PESO MÍNIMO VIA PROGRAMAÇÃO LINEAR

---

### 5.1. Introdução

O objetivo deste capítulo é apresentar a técnica de programação linear para calcular o peso mínimo de estruturas.

Será feito um breve resumo sobre o assunto com o objetivo de rever os principais conceitos. Para o leitor interessado em fazer uma leitura complementar, este texto foi baseado nas seguintes bibliografias: NEAL [2], FOULKES [5], BAKER, HORNE, HEYMAN [6], FRANCO [11] [22], HORNE [15], HEYMAN [24] [25].

Será apresentado também um programa computacional desenvolvido em linguagem FORTRAN com o objetivo de automatizar o processo.

As mesmas hipóteses básicas para a análise plástica de estruturas serão adotadas nesse processo.

No problema descrito anteriormente, para calcular o fator de carga de colapso  $\lambda_c$  era assumido que a estrutura estava sujeita a um carregamento único. Este fator de carga multiplicado pelo carregamento levaria a estrutura a um colapso plástico. Eram adotados valores iniciais para os momentos plásticos e então determinava-se este fator.

Agora a situação é diferente. Será assumido que as dimensões e o carregamento da estrutura são prescritos. O

objetivo passa ser o de determinar os menores momentos plásticos nas barras.

Outras hipóteses tais como barras prismáticas uniformes e que as forças axiais e cortantes não afetam o momento plástico  $M_p$ , são assumidas como anteriormente.

Este processo que envolve o uso do material mais leve caracteriza a otimização de peso.

## 5.2. Descrição do problema

Seja  $w$  o peso por unidade de comprimento para uma barra e  $L$  seu comprimento. Uma simples expressão pode ser escrita para definirmos o peso total  $X$  de uma estrutura:

$$X = \sum wL \quad (5.1)$$

Segundo Neal [2], para uma série de perfis similares, a área da seção transversal e seu peso  $w$  são proporcionais a  $d^2$ , sendo  $d$  a altura da seção transversal, e, o módulo plástico  $Z_p$  e seu momento plástico  $M_p$  são proporcionais a  $d^3$ .

Desta forma a relação entre o peso por unidade de comprimento e seu momento plástico  $M_p$  é:

$$w \propto M_p^{2/3} \quad (5.2)$$



Para seções I especificamente, tem-se:

$$w \propto M_p^{0.6} \quad (5.3)$$

Para a classe de perfis de seções I pode ser aproximada uma relação linear da forma:

$$w = a + b M_p \quad (5.4)$$

onde a e b são constantes. O erro envolvido nesta aproximação é pequeno e pode conduzir ao cálculo correto do peso mínimo. Substituindo esta relação linear no cálculo do peso total X da estrutura obtém-se a seguinte expressão:

$$X = \sum w L = a \sum L + b \sum M_p L \quad (5.5)$$

onde o somatório cobre todas as barras da estrutura.

O termo  $a \sum L$  é uma constante para uma dada geometria estrutural. Assim sendo, o peso total da estrutura é minimizado quando minimizamos o segundo termo da equação  $\sum M_p L$ . Este termo é conhecido como Função Peso e é designado por x. Desta forma:

$$x = \sum M_p L \quad (5.6)$$

O problema do peso mínimo consiste então o de calcular a estrutura de tal forma que a função peso x seja a mínima.

### 5.3. Analogia Geométrica

O problema do cálculo do peso mínimo foi inicialmente estudado por Foulkes [5], usando a analogia geométrica.

Para o pórtico retangular descrito por Neal [2] cujas dimensões e fatores de cargas são mostrados na figura 5.1, a viga tem o momento plástico  $\beta_1$  e cada coluna tem o momento plástico  $\beta_2$ .

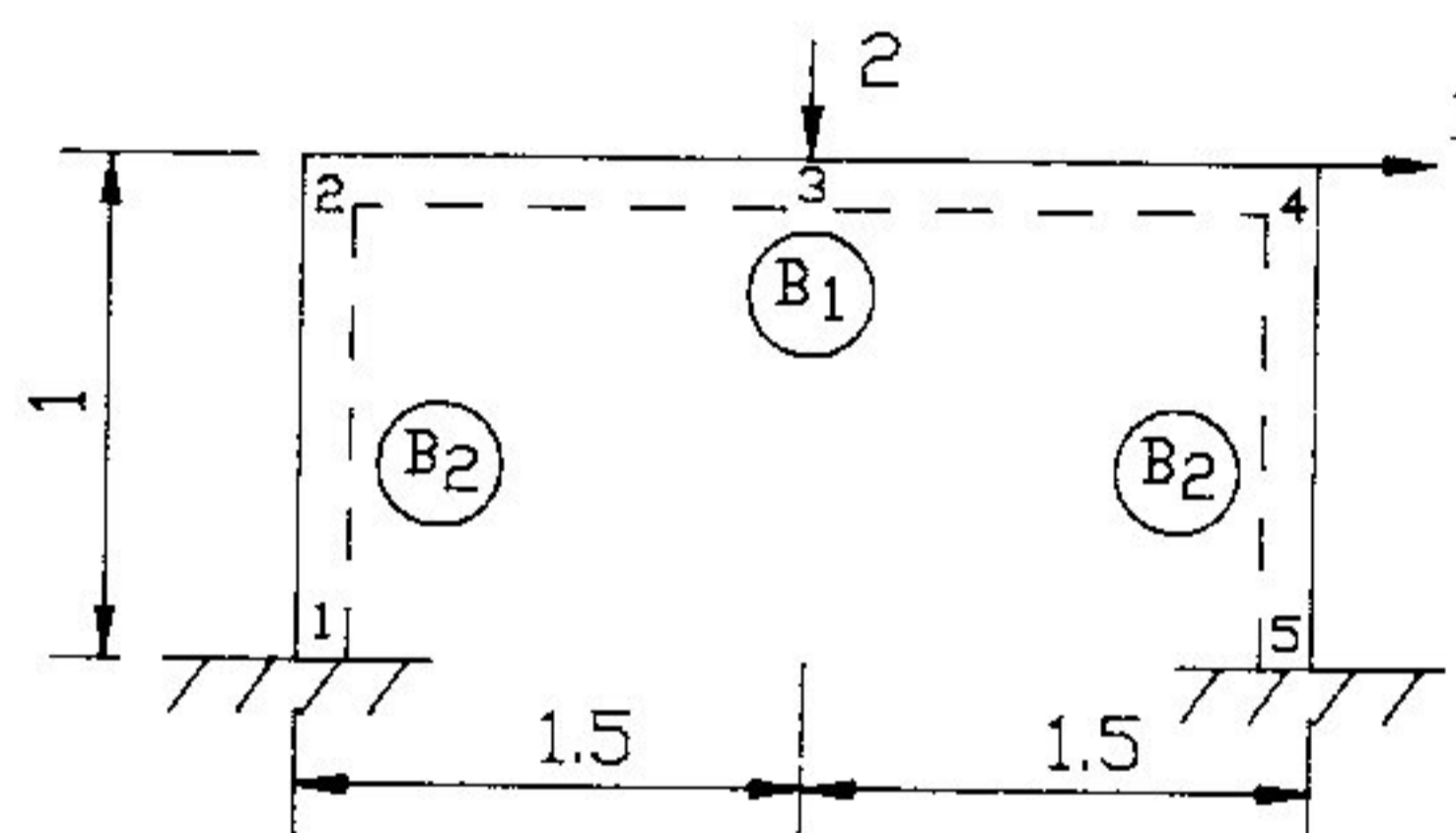
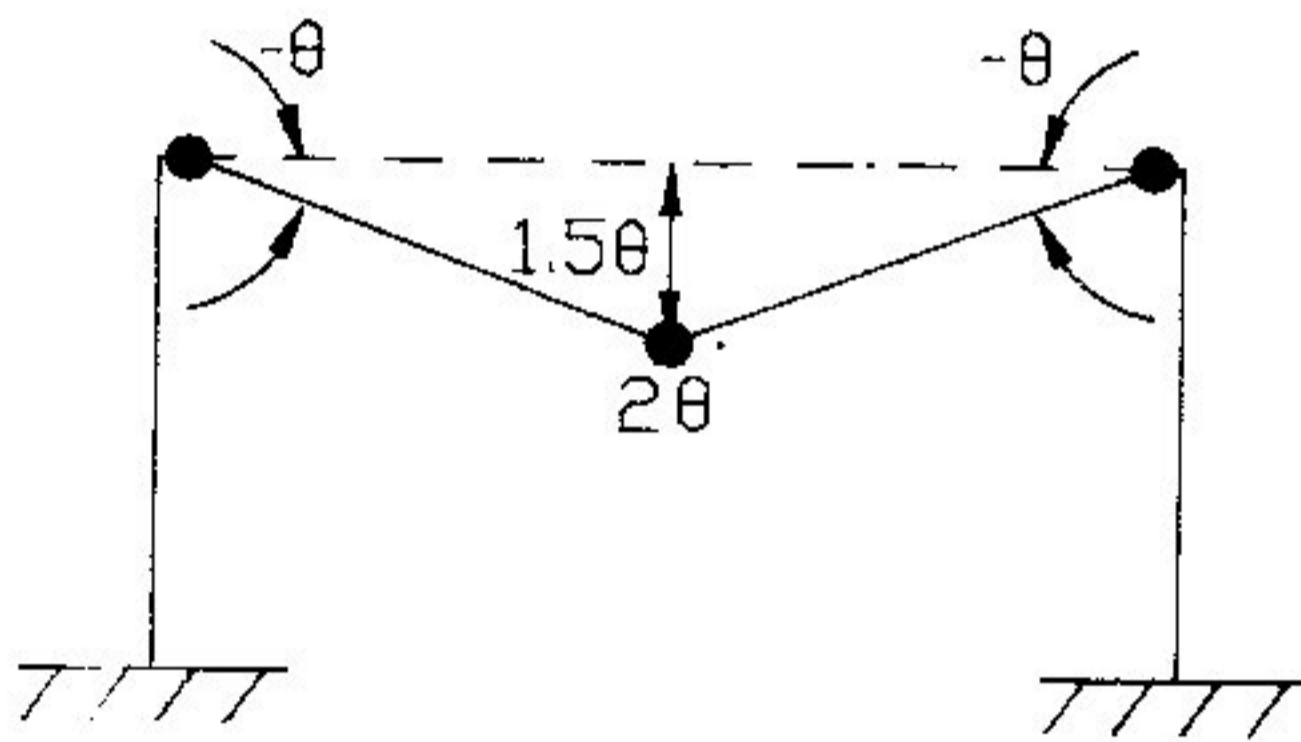


Figura 5.1 - Pórtico

A função peso definida na equação (5.6) fica:

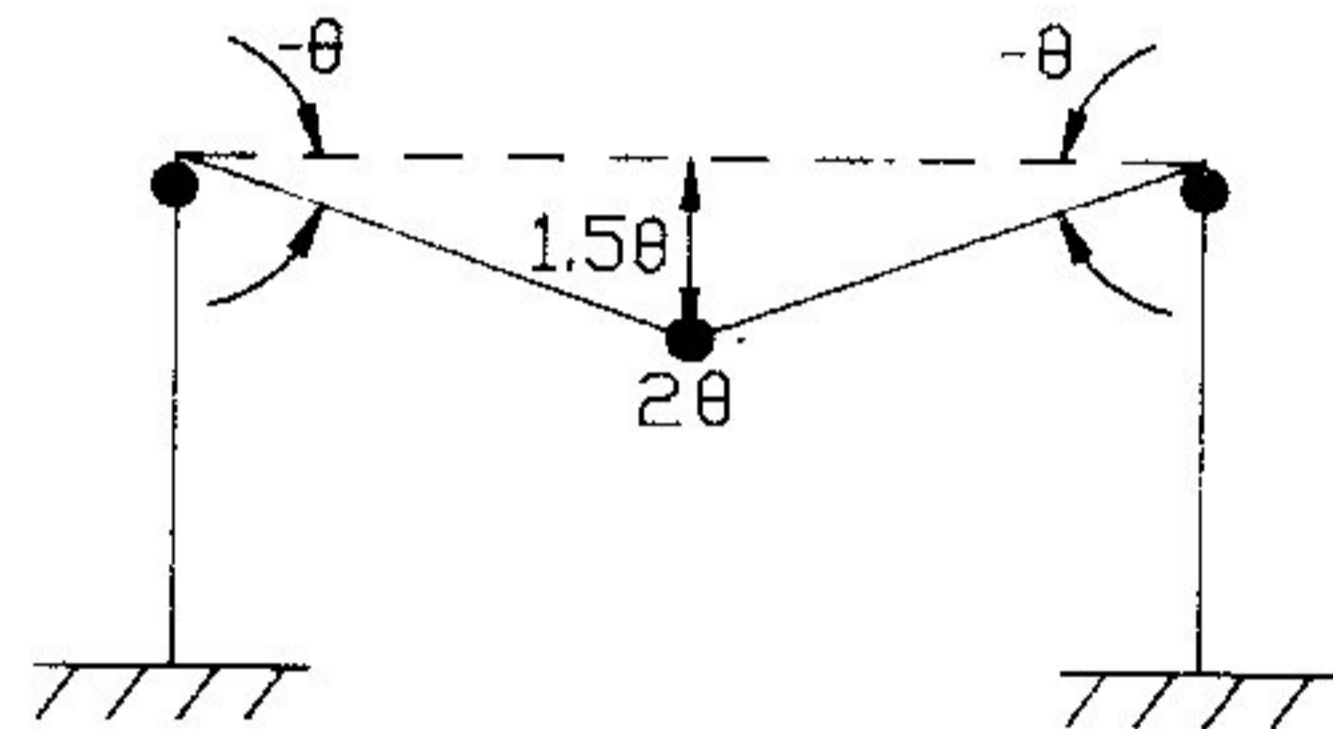
$$x = 3\beta_1 + 2\beta_2 \quad (5.7)$$

Para este tipo de pórtico e carregamento existem dois tipos de mecanismos independentes e que podem ser combinados para formar o terceiro mecanismo. Como não se sabe se  $\beta_1$  é menor ou maior do que  $\beta_2$ , cada mecanismo pode tomar duas formas, resultando em seis possíveis mecanismos de colapso que serão mostrados a seguir, juntos com suas equações de trabalho:



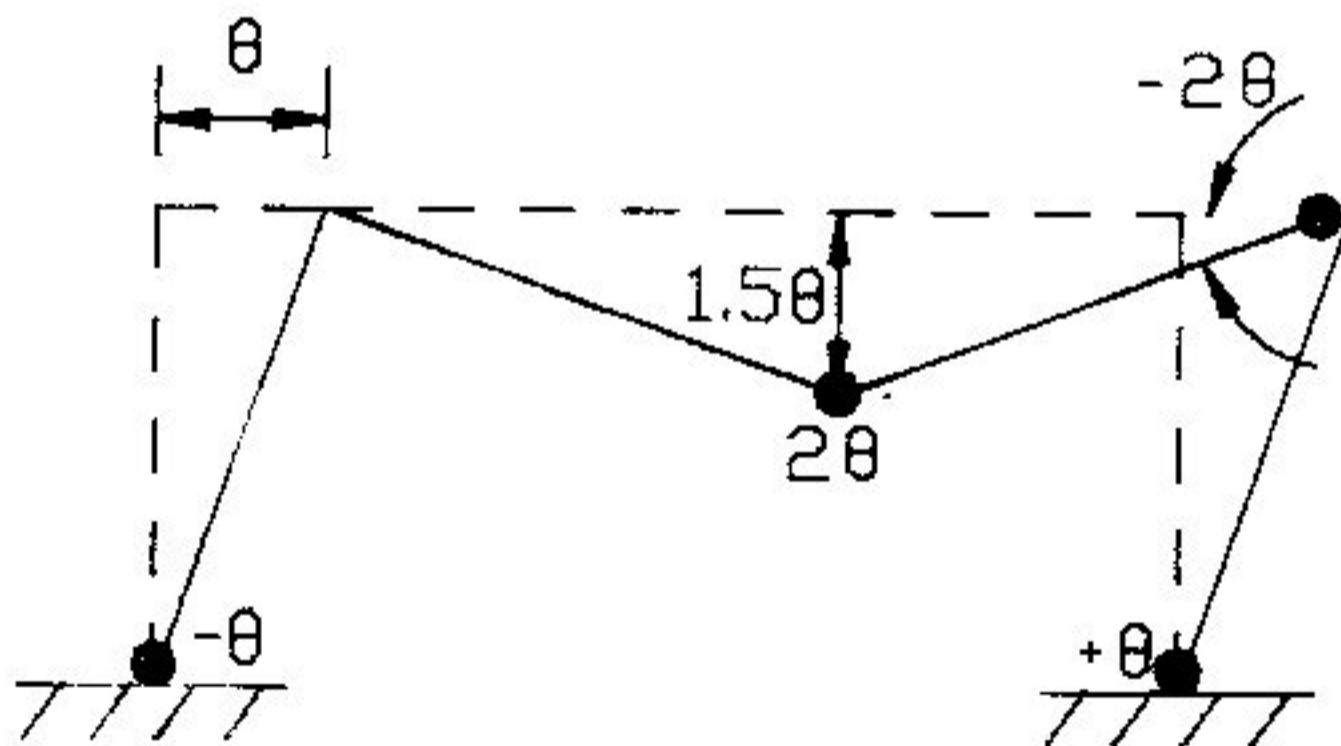
linha (a)

$$4\beta_1 = 3 \quad \beta_1 \leq \beta_2$$



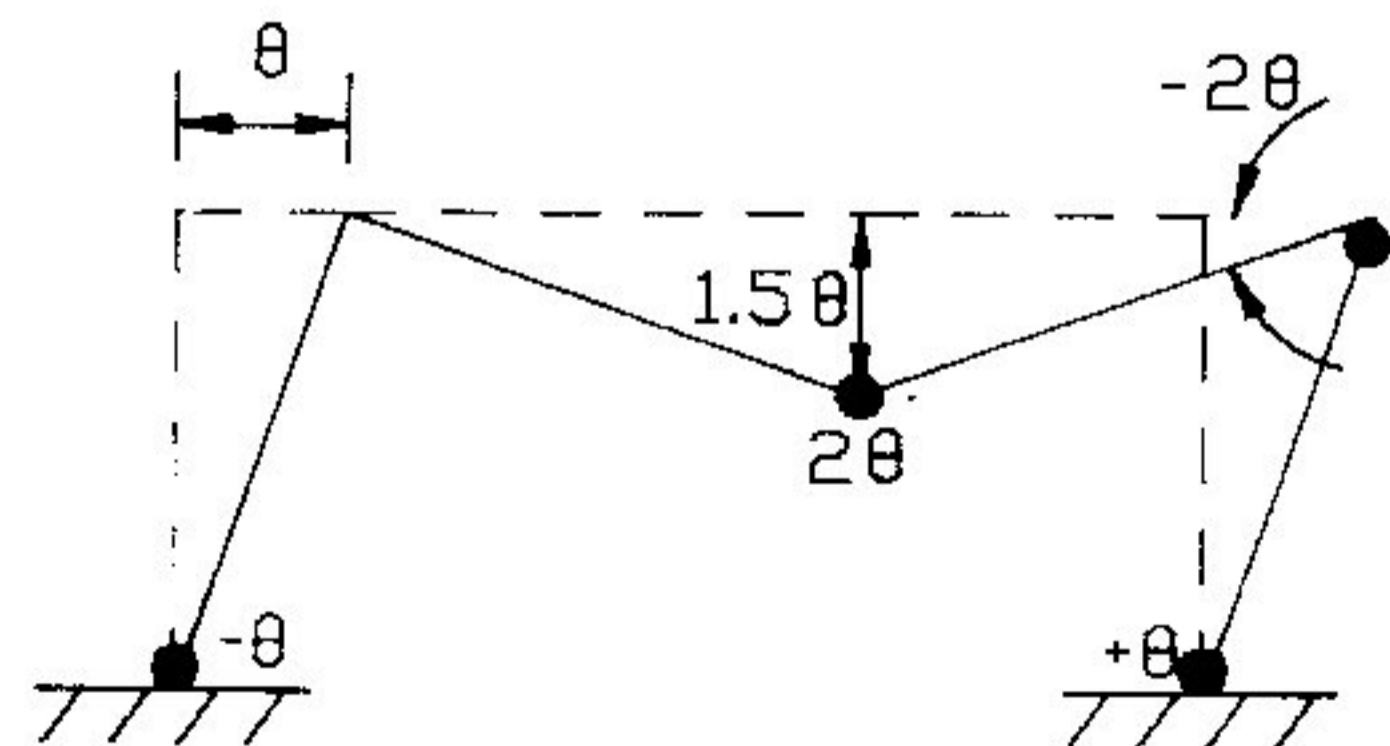
linha (b)

$$2\beta_1 + 2\beta_2 = 3 \quad \beta_1 \geq \beta_2$$



linha (c)

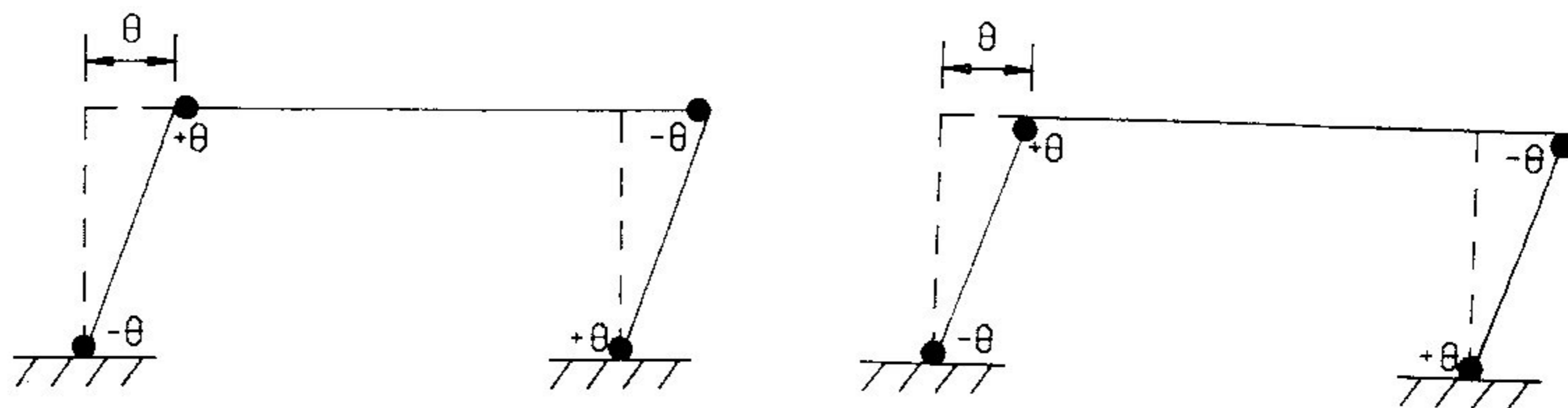
$$4\beta_1 + 2\beta_2 = 4 \quad \beta_1 \leq \beta_2$$



linha (d)

$$2\beta_1 + 4\beta_2 = 4 \quad \beta_1 \geq \beta_2$$





linha (e)

$$2\beta_1 + 2\beta_2 = 1 \quad \beta_1 \leq \beta_2$$

linha (f)

$$4\beta_2 = 1 \quad \beta_1 \geq \beta_2$$

Todos estes mecanismos podem ser representados graficamente em um diagrama de coordenadas retangulares onde  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são as variáveis. Para cada um dos mecanismos existem duas linhas representando as equações de trabalho para os casos  $\beta_1 \leq \beta_2$  e  $\beta_1 \geq \beta_2$ .

Para um caso particular, por exemplo, em que  $\beta_1 = 0.75\beta_2$  temos uma reta que parte da origem com uma inclinação de 0.75 e que intercepta três linhas de equações de trabalho. O ponto mais afastado da origem, o ponto D, possui o maior valor do momento plástico. Pelo teorema cinemático este ponto representa o valor requerido de  $\beta_1$  e  $\beta_2$  se  $\beta_1 = 0.75\beta_2$ . Considerando todas as possíveis razões entre  $\beta_1$  e  $\beta_2$  neste caso, todas as condições de colapso são representadas pelos segmentos ABCME, destacados no gráfico. Pontos além deste segmento, mais afastados da origem, indicam uma região na qual o colapso não ocorrerá para as cargas dadas. Esta região é definida como Região Admissível. Pontos abaixo deste segmento representam estruturas que não são capazes de suportar as cargas fatoradas aplicadas.



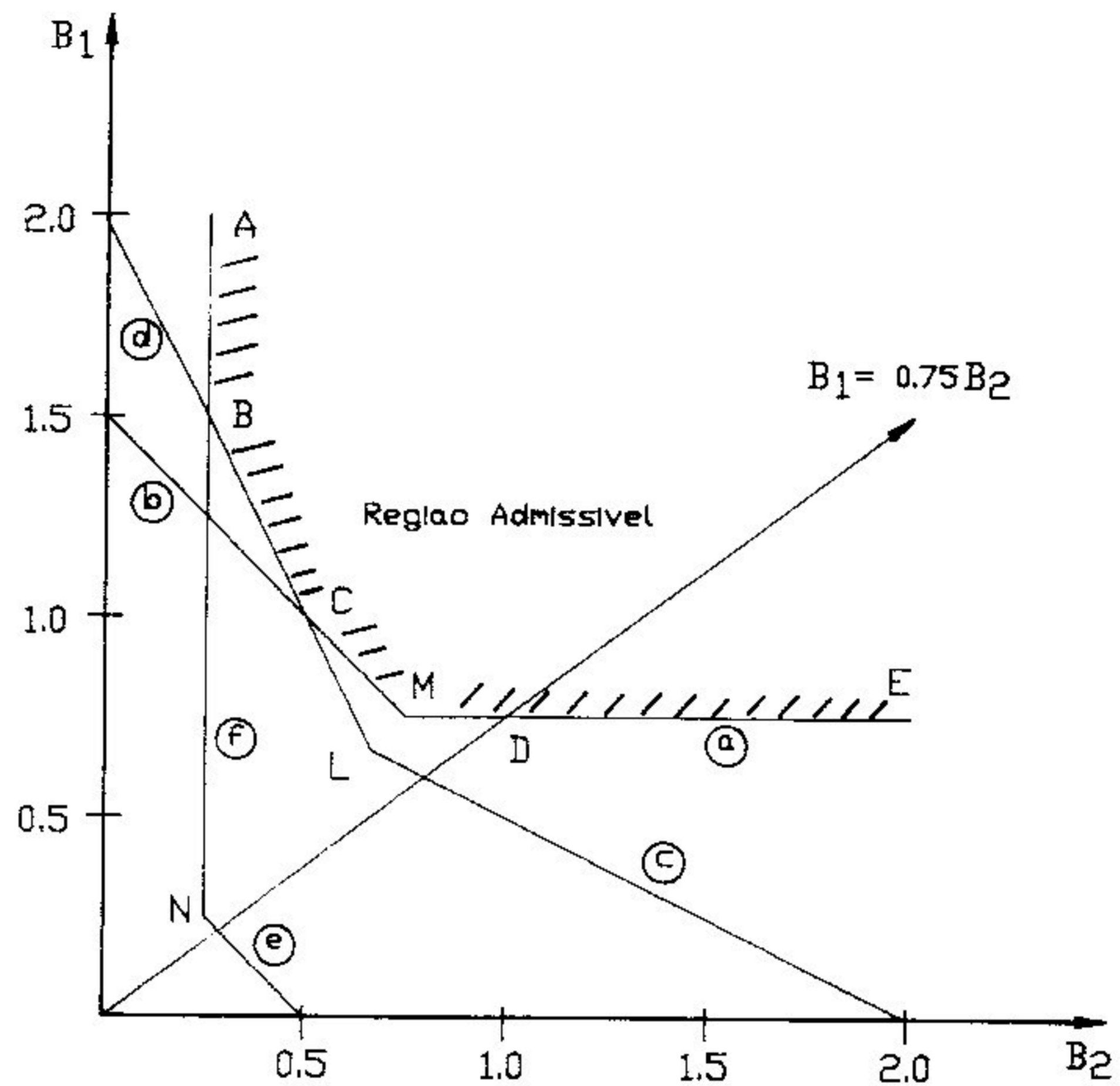


Figura 5.2 - Representação Gráfica da Analogia Geométrica

Portanto, o problema do peso mínimo reduz a localização do ponto no contorno da Região Admissível para o qual a função peso  $x = 3\beta_1 + 2\beta_2$  é mínima. Qualquer reta da forma:

$$3\beta_1 + 2\beta_2 = \text{cte} \quad (5.8)$$

representa o cálculo do peso constante, a distância perpendicular da origem até a reta sendo proporcional a

função peso. Conseqüentemente, o cálculo do peso mínimo é obtido determinando onde cada reta de inclinação  $-2/3$ , tangencia o contorno da região permissível. Esta reta é chamada de Reta Tangente de Peso. Para o caso particular os valores de  $\beta_1 = 0.75$  e  $\beta_2 = 0.75$  são valores dos momentos plásticos que representam o projeto de peso mínimo.

#### 5.4. Teorema de Foulkes

Uma definição geral de compatibilidade de peso pode ser escrita da seguinte maneira: "Se uma estrutura possui  $n$  momentos plásticos diferentes  $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$  a equação de trabalho para qualquer mecanismo será da forma:

$$\text{Trabalho realizado} = [c_1\beta_1 + c_2\beta_2 + \dots + c_n\beta_n] \theta \quad (5.9)$$

onde  $c_x \theta$  é a rotação total na rótula plástica em todas as barras na qual o momento plástico é  $\beta_x$ .

A função peso será:

$$x = [L_1\beta_1 + L_2\beta_2 + \dots + L_n\beta_n] \quad (5.10)$$

onde  $L_x$  é o comprimento total de todas as barras na qual o momento plástico é  $\beta_x$ . O mecanismo é de peso compatível se:

$$\frac{c_1}{L_1} = \frac{c_2}{L_2} = \frac{c_n}{L_n} \quad (5.11)$$

O enunciado do Teorema de Foulkes pode ser escrito

da seguinte forma:

" Se para uma dada estrutura pudermos formular o mecanismo de compatibilidade de peso e pudermos achar uma correspondente distribuição de momentos fletores segura e estaticamente admissível, o cálculo será o peso mínimo."

Para exemplificar o teorema de Foulkes destacam-se as duas características do exemplo visto. Primeiramente tem-se o mecanismo de compatibilidade de peso. Em segundo pode-se ver que o cálculo do peso mínimo no ponto M se posiciona no contorno da região permissível o que implica ter uma maneira segura e estaticamente admissível de distribuição de momentos fletores na estrutura.

#### 5.5. Modelagem do problema

A programação linear tem aqui também o objetivo de determinar a solução ótima do problema apresentado. O problema é modelado matematicamente através de expressões lineares que satisfaçam as restrições das equações de equilíbrio e as condições de resistência última das barras. Desta forma o problema estrutural é transformado em um problema de otimização.

O problema padrão de programação linear pode ser formulado da seguinte forma:



$$\text{Minimize: } f = c_1\beta_1 + c_2\beta_2 + \dots + c_n\beta_n + c_{n+1}m_{1p} + c_{n+2}m_{1m} + \dots \quad (5.12)$$

$$\text{Sujeito a } \sum a_{ij}x_j \leq b_i$$

$$x_1, \dots, x_n \geq 0$$

onde,

i .....> é o número de inequações

n .....> é o número de variáveis do problema

b .....> não negativo

Pela própria formulação do problema, uma das condições impostas é de que as variáveis sejam positivas. Isto nos leva ao uso de um artifício matemático, que transforma as variáveis  $x_j$  do problema em variáveis positivas, como já foi visto no capítulo 3.

O problema estrutural é transformado em um problema de programação linear inicialmente formulando-se a função objetivo como é mostrado na equação (5.12).

Como o problema é minimizar o peso da estrutura, a função objetivo (5.12) e o vetor C, de coeficientes da mesma, ficam:

$$f = c_1\beta_1 + c_2\beta_2 + \dots + c_n\beta_n \quad (5.13)$$

$$C = [ c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 ]$$



## 5.6. Equações de equilíbrio

Como já foi visto nos capítulos anteriores, as equações de equilíbrio serão obtidas a partir dos mecanismos independentes.

Com a geometria e o carregamento da estrutura dada monta-se cada equação em função das posições possíveis de rótulas plásticas nas barras.

Começa-se a montagem das equações de equilíbrio a partir do mecanismo de andar (ou lateral).

O outro mecanismo possível é o de viga. Este mecanismo ocorrerá nas barras carregadas transversalmente, sejam elas vigas ou colunas.

O terceiro tipo de mecanismo analisado é o de rotação nodal.

## 5.7. Programação Linear

A solução do problema de programação linear é obtida, aqui também, utilizando a sub-rotina ZX3LP [23].

Os mesmos parâmetros são passados do programa principal para a mesma, tais como:

N = número de variáveis do modelo

M1 = número de inequações

M2 = número de equações

IA = dimensão da matriz A

A = matriz dos coeficientes das expressões lineares

B = vetor com a resistência última a flexão de cada seção e trabalho realizado pelas forças externas.

C = vetor dos coeficientes da função objetivo

Esta subrotina otimiza o problema e retorna a solução através dos parâmetros:

IER = indicador de erro

S = valor da função objetiva. Pela formulação do problema, este é o valor da função peso.

PSOL = "Primal Solution". Esta solução maximizada fornece os momentos plásticos nas diversas seções para a solução encontrada da função objetivo.

DSOL = "Dual Solution". Esta é a solução minimizada da função objetivo.

#### 5.8. O programa computacional

Estabelecido todos os princípios da técnica de análise, foi gerado um algoritmo, que com relativa simplicidade foi traduzido na forma de programa computacional para a automatização dos processos de cálculo.

Para se dar maior versatilidade e generalidade ao programa definiu-se que a entrada de dados poderá ser feita de três maneiras.

A primeira opção com a criação automática de arquivo de dados para uma estrutura reticular qualquer. Neste caso é necessário se ter a priori as equações



referentes aos mecanismos independentes.

A segunda opção, é a geração automática dos dados, onde, o próprio programa se encarrega de desenvolver as equações de equilíbrio referentes aos mecanismos independentes de colapso da estrutura. Há entretanto uma limitação quanto ao tipo de estrutura gerada neste item. Isto será mostrado com mais detalhes no próximo item.

A terceira opção é a leitura dos dados em arquivo gerado por qualquer processo de edição de texto.

Com a entrada de dados concluída, a sub-rotina ZX3LP é usada para resolver o problema da programação linear.

De posse da solução do problema temos as opções de saída dos resultados no vídeo, impressora ou em arquivo.

#### 5.9. Geração do arquivo de dados para estrutura qualquer

Para esta opção foi desenvolvida uma sub-rotina em linguagem FORTRAN, para gerar o arquivo de dados que será lido pelo programa principal.

Esta sub-rotina é chamada GERAMINI. Através dela os parâmetros N, M1, M2, IA, os coeficientes da matriz A e os vetores B e C são fornecidos interativamente criando-se um arquivo na forma padrão de leitura do programa.

De acordo com a modelagem do problema e com o objetivo do mesmo fornecemos os coeficientes  $M_p$  de cada equação. Lembramos aqui do artifício da transformação das variáveis na qual a própria sub-rotina se encarrega de

fazer, ou seja,  $M_m = -M_p$ .

Esta sub-rotina é acessada através da opção (1) do menu principal, que significa CRIAR ARQUIVO DE DADOS. As demais variáveis solicitadas pela sub-rotina veremos nos exemplos.

#### 5.10. Automatização das equações de equilíbrio

O objetivo deste ítem é mostrar o desenvolvimento da técnica para automação das equações de equilíbrio para o cálculo do Peso Mínimo. O desenvolvimento desta consistiu na elaboração de algoritmo para automatizar o estabelecimento das equações de equilíbrio de estruturas aporticadas. Os procedimentos do algoritmo foram implementados em sub-rotina na linguagem FORTRAN. A sub-rotina de automatização gera um arquivo de dados que é lido posteriormente pelo programa principal que resolve o problema usando a técnica da programação linear.

##### 5.10.1. Pórtico plano multicelular

A obtenção automática das equações de equilíbrio para pórticos multicelulares representa um avanço na automação do cálculo do Peso Mínimo. Dentro do programa computacional desenvolvido esta automação é acessada pela opção (2)- AUTOMATIZAÇÃO ENTRADA DE DADOS PARA PÓRTICOS.

Algumas restrições, entretanto, devem ser observadas e conhecidas pelo usuário. Esta opção se limita à



análise de estruturas com módulos retangulares de andar e/ou vãos. A seguir tem-se o detalhamento da técnica mencionada.

#### 5.10.1.1. Algoritmo da sub-rotina

O algoritmo da técnica geradora das equações de equilíbrio, é composto basicamente dos seguintes procedimentos de entrada de dados:

- 1) Início
- 2) Dados da Estrutura:
  - 2.1 - Quantidade de apoios
    - Distância entre eles
  - 2.2 - Quantidade de andares
    - Distância entre eles
  - 2.3 - Tipo de material associado às barras
- 3) Carregamentos
  - 3.1 - Carga nos nós
  - 3.2 - Carga nas barras
- 4) Impressão dos dados iniciais
- 5) Montagem das equações de equilíbrio a partir dos mecanismos lateral (andar), de viga e de nó.
- 6) Geração do arquivo de dados.

#### 5.10.1.2. Numeração das barras e nós

O programa inicialmente será dimensionado para uma estrutura com no máximo cinco apoios e no máximo dez

andares. A numeração das barras, dos apoios e dos nós seguirão as mesmas regras vistas no capítulo 4.

#### 5.10.1.3. Geometria da estrutura

Neste primeiro passo da automatização são fornecidos a quantidade de apoios e a distância entre eles, cujas coordenadas poderão ser geradas (vão típico) ou fornecidas uma a uma.

Em seguida são fornecidas a quantidade de andares e a altura entre cada andar. Pode-se ter também uma geração automática das coordenadas dos nós ou a entrada interativa das mesmas uma a uma.

Com estes dados conhecidos o programa define a numeração das barras e dos nós conforme ilustrado na figura 4.1 do capítulo anterior.

#### 5.10.1.4. Restrições dos apoios

Todos os apoios são considerados engastados.

#### 5.10.1.5. Extremidades das barras

Todas as extremidades das barras são consideradas rígidas.

#### 5.10.1.6. Tipo de material associado às barras

Será fornecido o material de cada barra. O programa permite uma geração automática desta propriedade, quando várias barras tiverem o mesmo material fornecendo a Barra Inicial, a Barra Final e o incremento da numeração das barras entre estes dois valores.

Para sair desta opção basta entrar com um número negativo para a barra inicial.

#### 5.10.1.7. Carregamentos

##### 5.10.1.7.1. Cargas nodais

O primeiro conjunto de dados a ser fornecido é relativo aos carregamentos nodais. É fornecido interativamente o número do nó e a força na direção x (sistema global). Sabe-se que a validade deste trabalho são para forças normais e cortantes desprezíveis. Baseado nesta consideração não é necessário fornecer cargas verticais nos nós na direção y.

Para sair desta opção basta entrar com um número negativo para o nó.

##### 5.10.1.7.2. Carga nas barras

Na sequência do pré-processamento, entra-se com as cargas nas barras. O carregamento na barra é dividido em



carga uniformemente distribuída em toda sua extensão e/ou uma carga concentrada no meio do vão.

A sub-rotina foi dimensionada para uma quantidade máxima de sessenta barras carregadas.

O carregamento é considerado positivo quando as cargas atuarem da esquerda para a direita, no caso das colunas e de cima para baixo, no caso das vigas.

Para sair desta opção basta entrar com o número da barra negativo.

#### 5.10.1.8. Impressão dos dados iniciais

Terminada a entrada de dados, a sub-rotina nos permite a impressão dos mesmos. Tem-se as opções de imprimí-los na tela, na impressora ou gravá-los em arquivo.

#### 5.10.1.9. Equações de Equilíbrio

De posse da geometria e do carregamento monta-se um vetor com as posições possíveis de rótulas plásticas nas barras. Nas barras descarregadas são possíveis duas posições de rótulas e nas barras carregadas três, como já foi visto na figura 4.2 do capítulo anterior.

Começa-se a montagem das equações de equilíbrio a partir dos mecanismos de andar (ou lateral).

O outro mecanismo analisado pela sub-rotina é o de viga. Este mecanismo ocorrerá nas barras carregadas transversalmente, sejam elas vigas ou colunas.



Neste trabalho a rótula plástica para o mecanismo de viga será sempre analisada nas extremidades da barra e no meio do vão.

O terceiro tipo de mecanismo analisado é o de rotação nodal. Este mecanismo é usado para completar o número total de mecanismos. O mecanismo e as convenções de sinais são as mesmas vistas na figura 4.5 do capítulo anterior.

#### 5.10.2. Vigas

A obtenção automática das equações de equilíbrio para as vigas é outro avanço para o cálculo do Peso Mínimo. A sub-rotina de automação para vigas é acessada dentro do programa principal pela opção (3)- AUTOMATIZAÇÃO ENTRADA DE DADOS PARA VIGAS.

Há algumas restrições, entretanto, que devem ser observadas e conhecidas pelo usuário. A seguir tem-se o detalhamento da técnica mencionada.

##### 5.10.2.1. Algoritmo da sub-rotina

O algoritmo da técnica geradora das equações de equilíbrio, é composto basicamente dos seguintes procedimentos de entrada de dados:

- 1) Início
- 2) Dados da Estrutura:

- 2.1 - Quantidade de apoios
  - Distância entre eles
- 2.2 - Extremidades rotuladas
- 2.3 - Tipo de material associado às barras
- 3) Carregamentos
  - 3.1 - Carga nas barras
- 4) Impressão dos dados iniciais
- 5) Montagem das equações de equilíbrio a partir dos mecanismos de viga.
- 6) Geração do arquivo de dados.

#### 5.10.2.2. Numeração das barras e apoios

O programa inicialmente será dimensionado para uma estrutura com no máximo cinco apoios. A numeração das barras e dos apoios seguirão as mesmas regras vistas no capítulo 4.

#### 5.10.2.3. Geometria da estrutura

Neste primeiro passo da sub-rotina são fornecidos a quantidade de apoios e a distância entre eles, cujas coordenadas poderão ser geradas (vão típico) ou fornecidas uma a uma.

Com estes dados conhecidos o programa define a numeração das barras e dos nós conforme ilustrado na figura 4.6 do capítulo anterior.

#### 5.10.2.4. Restrição dos apoios extremos

Inicialmente os apoios extremos serão considerados engastados. A sub-rotina permite liberar para momento fletor as extremidades da esquerda e/ou da direita. Os apoios intermediários independem desta condição.

Para sair desta opção basta entrar com um número negativo.

#### 5.10.2.5. Tipo de material associado às barras

Será fornecido o material de cada barra. O programa permite uma geração automática desta propriedade, quando várias barras tiverem o mesmo material fornecendo a Barra Inicial, a Barra Final e o incremento da numeração das barras entre estes dois valores.

Para sair desta opção basta entrar com um número negativo para a barra inicial.

#### 5.10.2.6. Cargas nas barras

Na sequência do pré-processamento, entra-se com as cargas nas barras. O carregamento na barra é dividido em carga uniformemente distribuída em toda sua extensão e/ou uma carga concentrada no meio do vão.

O carregamento é considerado positivo quando as cargas atuarem de cima para baixo.

Para sair desta opção basta entrar com o número da



barra negativo.

#### 5.10.2.7. Impressão dos dados iniciais

Terminada a entrada de dados, a sub-rotina nos permite a impressão dos mesmos. Tem-se as opções de imprimí-los na tela, na impressora ou em arquivo.

#### 5.10.2.8. Equações de Equilíbrio

De posse da geometria e do carregamento monta-se um vetor com as posições possíveis de rótulas plásticas nas barras. Nas barras descarregadas são possíveis duas posições de rótulas e nas barras carregadas três, como já foi visto na figura 4.2 do capítulo anterior.

O mecanismo analisado pela sub-rotina é o de viga. Este mecanismo ocorrerá nas barras carregadas. Neste trabalho a rótula plástica para este mecanismo será sempre analisada nas extremidades da barra e no meio do vão, como já foi visto na figura 4.4.



## 5.11. Exemplos

Serão resolvidos a seguir dois exemplos de cálculo de peso mínimo de estruturas.

### 5.11.1 Exemplo 1.

Resolver pela técnica apresentada o pórtico analisado neste capítulo, mostrado na figura 5.3.

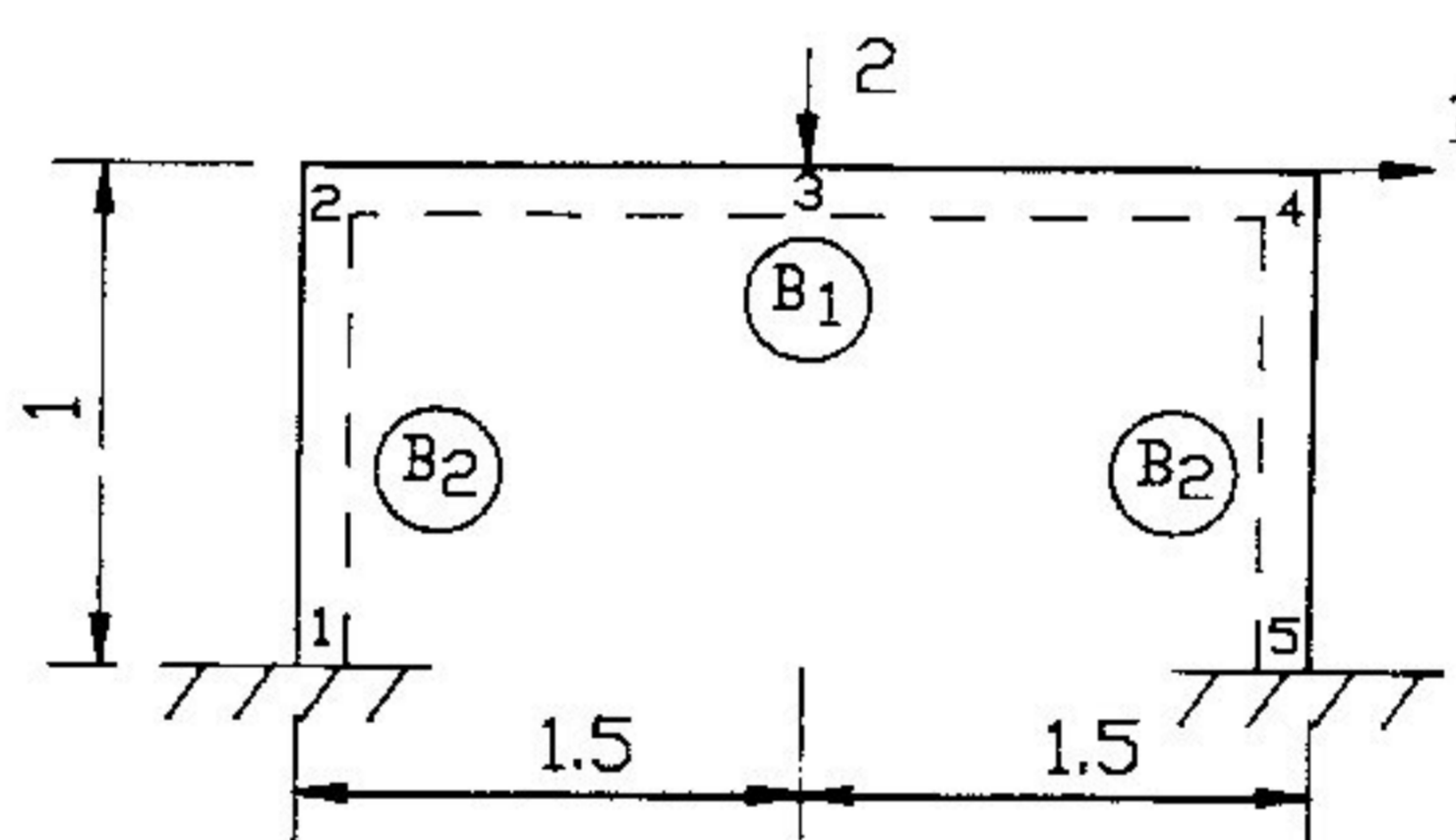


Figura 5.3 - Pórtico

Resolvendo o problema utilizando a opção (2) AUTOMATIZAÇÃO DA ENTRADA DE DADOS PARA PÓRTICOS, do menu principal, tem-se os seguintes resultados:

\*\*\* P E S O M I N I M O \*\*\*

INDICADOR DE ERRO (IER) = 0

VALOR DA FUNÇÃO OBJETIVO (S) = 3.75

PRIMAL SOLUTION (PSOL) :

$$B_1 = 0.75$$

$$B_2 = 0.75$$

O que comprova os resultados obtidos pela analogia geométrica.

### 5.11.2 Exemplo 2.

Resolver pela técnica apresentada a viga mostrada na figura 5.4. Este exemplo foi tirado do FOULKES [5].

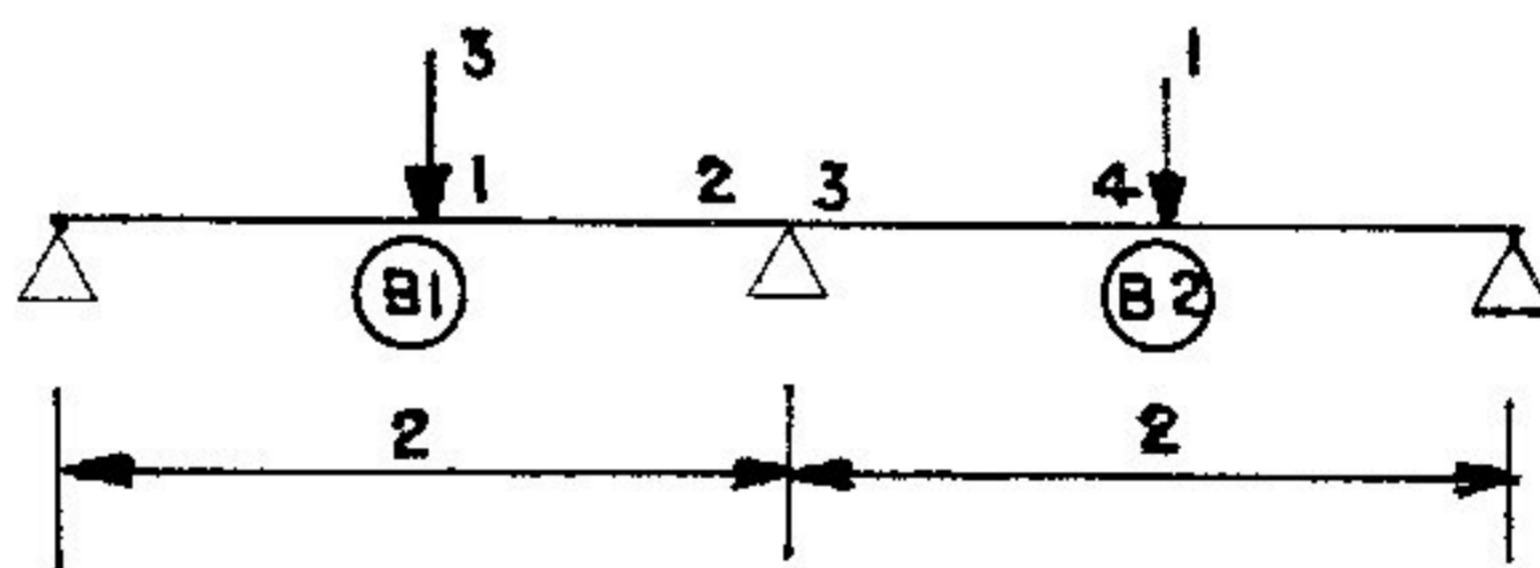


Figura 5.4 - Viga

O problema será resolvido utilizando a opção (1) CRIAR ARQUIVO DE DADOS, do menu principal.

Para a estrutura acima tem-se duas equações referentes aos mecanismos de colapso independentes:

$$2 M_{1p} - 2 M_{1m} - M_{2p} + M_{2m} = 3 \quad (5.14)$$

$$- M_{3p} + M_{3m} + 2 M_{4p} - 2 M_{4m} = 1 \quad (5.15)$$

De tal forma que:

$$-\beta_1 \leq M_i \leq \beta_1 \quad (i = 1, 2, 3)$$

$$-\beta_2 \leq M_i \leq \beta_2 \quad (i = 2, 3, 4)$$

A função peso a ser minimizada é:

$$x = 2\beta_1 + 2\beta_2 \quad (5.16)$$

Resolvido o problema tem-se os seguintes resultados:

\*\*\* P E S O M I N I M O \*\*\*

INDICADOR DE ERRO (IER) = 0

VALOR DA FUNÇÃO OBJETIVO (S) = 3.33

PRIMAL SOLUTION (PSOL) :

B 1 = 1.33

B 2 = 0.33

Estes resultados confirmam os apresentados no artigo referido.

## 6. CONCLUSÕES E TÓPICOS PARA FUTUROS TRABALHOS

---

Como consideração final pode-se destacar o sucesso do método apresentado. Além dos exemplos apresentados observou-se a eficiência da técnica da programação linear em outros problemas analisados.

Com a automatização do problema tornou-se possível a análise de estruturas maiores com rapidez e segurança.

Porém, nunca é demais ressaltar as restrições das hipóteses básicas.

Observou-se que vários temas poderão ser estudados dando continuidade a este trabalho. Pode-se, por exemplo, considerar os efeitos das forças axial e cortante estendendo assim o estudo a outros tipos de estruturas reticulares planas e espaciais. Aumentar a capacidade do programa já desenvolvido dando-lhe mais recursos principalmente quanto ao tipo de estrutura a ser analisada, mais versatilidade no carregamento nas barras e nós, a análise com o carregamento variável, enfim, continuar o trabalho iniciado.

Para finalizar, pode-se dizer que os objetivos propostos no início do trabalho foram atingidos.



## 7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- ( 1 ) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS "Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios"  
Rio de Janeiro -1986 (NBR 8800)
- ( 2 ) NEAL, B. G. "The Plastic Methods of Structural Analysis" Chapman and Hall Ltd - Third (S.I) edition - 1977.
- ( 3 ) NEAL, B. G. and SYMONDS, P. S. "The rapid calculation of the plastic collapse load for a framed structure" Proc. Inst. Civil Engrs. , 1,(part 3),58 (1952a).
- ( 4 ) NEAL, B. G. and SYMONDS, P. S. "The calculation of collapse loads for framed structures" J. Inst. Civil Engrs, 35, 21 (1950-51).
- ( 5 ) Foulkes, J. "The Minimum Weight Design of Structural Frames", Proc. R. Soc., A, 223, 482.
- ( 6 ) BAKER, HORNE & HEYMAN "The Steel skeleton" London, Cambridge University Press, Vol 2, 1956.
- ( 7 ) BEEDLE, L. S. "Plastic Design of Steel Frames" - New York, John Wiley & Sons, 1958.

- ( 8) BARROSO, S. E. G. & ELLENRIEDER, A. R. "Programa de Análise Linear", Rio de Janeiro, Almeida Neves Ed., 1971.
- ( 9) BRESLER, B & LIN, T. Y. "Design of Steel Structures" - New York, John Wiley & Sons, 1960.
- (10) DANIELS, S. R. "Inelastic Steel Structures" - The University of Tennessee Press, 1966.
- (11) FRANCO, J. R. Q. "Notas de aula - Disciplina Análise Plástica de Estruturas", Curso Mestrado em Eng. de Estruturas - UFMG.
- (12) GERE, J. M. & TIMOSHENKO, S. "Mechanics of Materials" Second SI Edition, Wadsworth International - 1985.
- (13) GERE, J. M. & WEAVER, W. "Matriz Analysis of Framed Structures" Litton Educational Publishing, Inc.- Second Edition - 1980.
- (14) HEYMAN, J. "Beams & Framed Structures", Butler & Tanner Ltd, Second edition, 1974.
- (15) HORNE, M. R. "Plastic Theory of Structures" Biddies Ltd Second edition - 1979.

- (16) HORNE, M. R. and MORRIS, L. J. "Plastic Design of Low-Rise Frames" Granada Publishing Ltd - 1981.
- (17) QUEIROZ, G. "Elementos das Estruturas de Aço" Imprensa Universitária, Segunda Edição, 1988.
- (18) AÇO MINAS GERAIS - AÇOMINAS "Lista de Perfis de Abas Paralelas"
- (19) LIVESLEY, R. K. "The automatic design of structural frames", Quarterly Journal of Mech. and Appl. Math. 9, 257 - (1956).
- (20) MUNRO, J. "The elastic and limit analysis of planar skeletal structures" Civil Eng. Publ. Wks Rev. 60, may (1965).
- (21) DORN, W. S. & GREENBERG, H. J. "Linear programming and plastic limit analysis of structures" Quarterly of Applied Mathematics, 15, 155 (1957)
- (22) FRANCO, J. R. Q. "Bounding Techniques in Shakedown and Ratchetting", PhD Thesis - University of Leicester/England Janeiro, 1987.
- (23) ZX3LP - I.M.S.L. - E.E.U.F.M.G. - C.C.E.

IBM 4341

(24) HEYMAN, J. "On the Absolut Minimum Weigth Design of Framed Structures", Q. Journal Mech. Applied Math, 12, 314 - (1959).

(25) HEYMAN, J. "Plastic Design of Beams and Plane Frames for Minimum Material Consumption", Q. Appl. Math., 8, 373.



## 8. BIBLIOGRAFIA

---

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS "Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios" - Rio de Janeiro - 1986 (NBR 8800)

AÇO MINAS GERAIS - AÇOMINAS "Lista de Perfis de Abas Paralelas"

BARROSO, S. E. G. & ELLENRIEDER, A. R. "Programação Linear", Rio de Janeiro, Almeida Neves Ed., 1971.

BAKER, HORNE & HEYMAN "The Steel skeleton" London, Cambridge University Press, Vol 2, 1956.

BEEDLE, L. S. "Plastic Design of Steel Frames" - New York, John Wiley & Sons, 1958.

BRESLER, B & LIN, T. Y. "Design of Steel Structures" - New York, John Wiley & Sons, 1960.

DANIELS, S. R. "Inelastic Steel Structures" - The University of Tennessee Press, 1966.

DORN, W. S. & GREENBERG, H. J. "Linear programming and plastic limit analysis of structures" Quarterly of Applied

Mathematics, 15, 155 (1957)

Foulkes, J. "The Minimum Weight Design of Structural Frames", Proc. R. Soc., A, 223, 482.

FRANCO, J. R. Q. "Bounding Techniques in Shakedown and Ratchetting", PhD Thesis - University of Leicester/England Janeiro, 1987.

FRANCO, J. R. Q. "Notas de aula - Disciplina Análise Plástica de Estruturas", Curso Mestrado em Eng. de Estruturas - UFMG.

GERE, J. M. & TIMOSHENKO, S. "Mechanics of Materials" Second SI Edition, Wadsworth International - 1985.

GERE, J. M. & WEAVER, W. "Matrix Analysis of Framed Structures" Litton Educational Publishing, Inc.- Second Edition - 1980.

HEHL, M. E. "Linguagem de Programação Estruturada - FORTRAN-77" - São Paulo, Mc Graw-Hill, 1986.

HEYMAN, J. "Beams & Framed Structures", Butler & Tanner Ltd, Second edition, 1974.

HEYMAN, J. "On the Absolut Minimum Weigth Design of Framed Structures", Q. Journal Mech. Applied Math, 12, 314 -

(1959).

HEYMAN, J. "Plastic Design of Beams and Plane Frames for Minimum Material Consumption", Q. Appl. Math., 8, 373.

HORNE, M. R. "Plastic Theory of Structures" Biddles Ltd  
Second edition - 1979.

HORNE, M. R. and MORRIS, L. J. "Plastic Design of Low-Rise  
Frames" Granada Publishing Ltd - 1981.

LIVESLEY, R. K. "The automatic design of structural frames",  
Quarterly Journal of Mech. and Appl. Math. 9, 257 - (1956).

MICROSOFT CORPORATION "MICROSOFT FORTRAN - Reference  
Manual" - 1985.

MUNRO, J. "The elastic and limit analysis of planar  
skeletal structures" Civil Eng. Publ. Wks Rev. 60, may  
(1965).

NEAL, B. G. "The Plastic Methods of Structural Analysis"  
Chapman and Hall Ltd - Third (S.I) edition - 1977.

NEAL, B. G. and SYMONDS, P. S. "The rapid calculation of the  
plastic collapse load for a framed structure" Proc. Inst.  
Civil Engrs. , 1,(part 3),58 (1952a).

NEAL, B. G. and SYMONDS, P. S. "The calculation of collapse loads for framed structures" J. Inst. Civil Engrs, 35, 21 (1950-51).

QUEIROZ, G. "Elementos das Estruturas de Aço" Imprensa Universitária, Segunda Edição, 1988.



9. ANEXO I

---

TELAS DO PROGRAMA

\* \* \* \* UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS \* \* \* \*

CURSO : Mestrado em Engenharia de Estruturas

ALUNO : Paulo Eustaquio Raso

ORIENTADOR: Jose Ricardo Queiroz Franco

\*\*\* ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR \*\*\*

- (1) - CRIAR ARQUIVO DE DADOS
- (2) - AUTOMATIZACAO DA ENTRADA DE DADOS :PORTICOS
- (3) - AUTOMATIZACAO DA ENTRADA DE DADOS :VIGAS
- (4) - LER ARQUIVO DE DADOS
- (5) - F I M

OPCAO .....> 1

\* \* \* \* UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS \* \* \* \*

CURSO : Mestrado em Engenharia de Estruturas

ALUNO : Paulo Eustaquio Raso

ORIENTADOR: Jose Ricardo Queiroz Franco

\*\*\* ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR \*\*\*

NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DADOS INICIAIS .....> VIGA.DAT  
FORNECER QUANTIDADE DE VARIAVEIS DO MODELO ( N) .....> 7  
FORNECER QUANTIDADE DE INEQUACOES DO MODELO (M1) .....> 6  
FORNECER QUANTIDADE DE EQUACOES DO MODELO (M2) .....> 1

\* \* \* \* UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS \* \* \* \*

CURSO : Mestrado em Engenharia de Estruturas

ALUNO : Paulo Eustaquio Raso

ORIENTADOR: Jose Ricardo Queiroz Franco

\*\*\* ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR \*\*\*

FORNECA COEFICIENTES DA EQUACAO 1 :

COEF. DE LAMBDA = 72

M 1 p = 1

M 2 p = -2

M 3 p = 1



\* \* \* \* UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS \* \* \* \*

CURSO : Mestrado em Engenharia de Estruturas

ALUNO : Paulo Eustaquio Raso

ORIENTADOR: Jose Ricardo Queiroz Franco

\*\*\* ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR \*\*\*

FORNECA OS VALORES MAXIMOS DOS MOMENTOS

M 1 = 40

M 2 = 40

M 3 = 40

10. ANEXO II

---

LISTAGEM DO PROGRAMA DA ANÁLISE PLÁSTICA

```

PROGRAM PROGAUTO
C
C   CURSO      :MESTRADO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
C   ALUNO      :PAULO EUSTAQUIO RASO
C   ORIENTADOR :JOSE RICARDO QUEIROZ FRANCO
C   DATA      :08/05/91
C
C   IMPLICIT REAL*8 (A-H,D-Z)
C   IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
C   REAL*8 A(100,90),B(100),C(90),RW(10708),IW(304),PSOL(90),DSOL(102)
C   CHARACTER NOMEAR*12,NOMSAI*12
C
C   OPEN(3,FILE ='LPT1')
C
3  CALL TELA
C
C   ITESTE=0
C   ITEST2=0
C
C   WRITE(*,4)
4  FORMAT('          (1) - CRIAR ARQUIVO DE DADOS ')
C   WRITE(*,5)
5  FORMAT('          (2) - AUTOMATIZACAO DA ENTRADA DE DADOS :PORTICOS')
C   WRITE(*,6)
6  FORMAT('          (3) - AUTOMATIZACAO DA ENTRADA DE DADOS :VIGAS ')
C   WRITE(*,7)
7  FORMAT('          (4) - LER ARQUIVO DE DADOS ')
C   WRITE(*,8)
8  FORMAT('          (5) - F I M ')
C   WRITE(*,9)
9  FORMAT(40X,' OPCAO ..... ')
C   READ(5,*)IE
C   IF ((IE.LT.1).OR.(IE.GT.5)) GO TO 3
C
C   IF (IE.EQ.5) GO TO 100
C
C   IF (IE.EQ.1) CALL GERADADO(NOMEAR,ITESTE)
C
C   IF (IE.EQ.2) CALL AUTOMATI(NOMEAR,ITESTE,NOMSAI,ITEST2)
C
C   IF (IE.EQ.3) CALL AUTOVIGA(NOMEAR,ITESTE,NOMSAI,ITEST2)
C
C   CALL LEARQ(N,M1,M2,IA,A,B,C,NL,NOMEAR,ITESTE)
C
C   CALL TELA
C   WRITE(*,35)
35  FORMAT(9X,' A G U A R D E   S O L U C A O   D O   P R O B L E M A ')
C
C   CALL ZX3LP(A,IA,B,C,N,M1,M2,S,PSOL,DSOL,RW,IW,IER)
C
50  CALL TELA
C
C   WRITE(*,55)
55  FORMAT('          (1) - SAIDA VIDEO ')
C   WRITE(*,56)

```

```

56  FORMAT( '          (2) - SAIDA EM DISCO ' )
    WRITE(*,57)
57  FORMAT( '          (3) - SAIDA NA IMPRESSORA ' )
    WRITE(*,58)
58  FORMAT( '          (4) - REINICIO' )
    WRITE(*,59)
59  FORMAT( '          (5) - FINALIZACAO' )
    WRITE(*,65)
65  FORMAT(40X, ' OPCAO ..... ' )
    READ(5,*)JS
    IF ((JS.LT.1).OR.(JS.GT.5)) GO TO 50
    IF (JS.EQ.5) GO TO 100
    IF (JS.EQ.4) GO TO 3
    IF (JS.EQ.1) THEN
        CALL SAITELA( IER, S, PSOL, DSOL, M1, M2, N, NL )
    ELSE IF (JS.EQ.3) THEN
        CALL SAIIMP( IER, S, PSOL, DSOL, M1, M2, N, NL )
    ELSE
        CALL SAIRQ( IER, S, PSOL, DSOL, M1, M2, N, NL, NOMSAI, ITI
*ST2)
    END IF
    GO TO 50
C
C  ROTINA DE FINALIZACAO
C
100  CLOSE (3)
    CALL QSMODE(2)
    END
C
C          ****  SUBROTINAS  ****
C
C  SUBROUTINE GERADADO(NOMEAR, ITESTE)
C
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
    IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
    REAL*8 A(100,90), B(100), C(90)
    CHARACTER NOMEAR*12
C
    CALL TELA
C
    ITESTE=1
C
    WRITE(*,5)
5  FORMAT( '          NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DADOS INICIAIS .....
*.....' )
    READ(5,6)NOMEAR
6  FORMAT(A12)
C
    OPEN(1,FILE = NOMEAR)
C
    WRITE(*,10)
10  FORMAT( '          FORNECER QUANTIDADE DE VARIAVEIS DO MODELO ( N) ...
*.....' )
    READ(5,*)N

```



```

C
    WRITE(*,20)
20  FORMAT('          FORNECER QUANTIDADE DE INEQUACOES DO MODELO (M1) .
    *.....) ' )
    READ(5,*)M1
C
    WRITE(*,30)
30  FORMAT('          FORNECER QUANTIDADE DE EQUACOES DO MODELO (M2) ...
    *.....) ' )
    READ(5,*)M2
C
    IA=M1+M2+2
C
    DO 100 I=1,M2
        CALL TELA
        WRITE(*,55)I
55  FORMAT('          FORNECA COEFICIENTES DA EQUACAO ',I2,' : ')
        WRITE(*,56)
56  FORMAT('          ')
        J=1
        WRITE(*,57)
57  FORMAT('          COEF. DE LAMBDA = ')
        READ(5,*)A(I,J)
        DO 90 J=1,(N-1)/2
            WRITE(*,60)J
60  FORMAT('          M ',I2,' p ',J,' = ')
            READ(5,*)A(I,J+1)
        90  CONTINUE
    100  CONTINUE
C
    DO 105 I=1,M2
        B(I)=0
    105  CONTINUE
C
    CALL TELA
C
    WRITE(*,106)
    106  FORMAT('          FORNECA OS VALORES MAXIMOS DOS MOMENTOS ')
    DO 120 I=1,(N-1)/2
        WRITE(*,110)I
    110  FORMAT('          M ',I2,' = ')
        READ(5,*)B(M2+I)
    120  CONTINUE
C
C
C
    GRAVACAO DOS DADOS EM ARQUIVO
C
    WRITE(1,130)N
    WRITE(1,130)M1
    WRITE(1,130)M2
    WRITE(1,130)IA
    130  FORMAT(I4)
C
C
C
    MATRIZ A
C
    DO 300 I=1,(N-1)

```

```

        K=I+1
        DO 250 J=1,N
            IF (K.EQ.J) THEN
                WRITE(1,245)1.
                FORMAT(F15.8)
245
            ELSE
                WRITE(1,246)0.
                FORMAT(F15.8)
246
            END IF
250        CONTINUE
300    CONTINUE
C
        DO 200 I=1,M2
            J=1
            WRITE(1,135)A(I,J)
135        FORMAT(F15.8)
            DO 150 J=2,(N-1)/2+1
                WRITE(1,140)A(I,J)
                WRITE(1,140)-A(I,J)
140            FORMAT(F15.8)
150        CONTINUE
200    CONTINUE
C
C        VETOR B
C
        DO 400 I=1,(N-1)/2
            WRITE(1,350)B(M2+I)
            WRITE(1,350)B(M2+I)
350        FORMAT(F6.2)
400    CONTINUE
C
        DO 310 I=1,M2
            WRITE(1,305)0.
305        FORMAT(F6.2)
310    CONTINUE
C
C        VETOR C
C
        WRITE(1,450)1.
450        FORMAT(F6.2)
        DO 500 I=1,(N-1)
            WRITE(1,460)0.
460        FORMAT(F6.2)
500    CONTINUE
C
        CLOSE(1)
        RETURN
        END
C
C
C
        SUBROUTINE AUTOMATI(NOMEAR,ITESTE,NOMSAI,ITEST2)
C
        IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
        IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)

```

```

INTEGER*4 MEB(90)
INTEGER*4 ICM(5)
INTEGER*4 IBCAR(60)
INTEGER*4 IBLIB(20,2),IAROT(5),ISUP(5)
REAL*8 VAO(5),ALT(10)
REAL*8 CNO(20,2),BCAR(60,2)
REAL*8 PM(90),COMP(90)
REAL*8 EQMEC(271)
CHARACTER NOMEAR*12,NOMSAI*12

C
  ITESTE=1
  ITEST2=0
  NERM=0

C
  CALL TELA
  WRITE(*,2)
2  FORMAT(6X,' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DADOS INICIAIS....> ')
  READ(*,4)NOMEAR
4  FORMAT(A12)

C
  OPEN(1,FILE=NOMEAR)

C
C      QUANTIDADE DE APOIOS E DISTANCIA ENTRE ELES
C
5  CALL TELA
  WRITE(*,7)
7  FORMAT(6X,' FORNECER QUANTIDADE DE APOIOS (max 5) ....> ')
  READ(5,*)NAPPIO
  IF ((NAPPIO.LT.2).OR.(NAPPIO.GT.5)) GO TO 5

C
10  WRITE(*,15)
15  FORMAT(6X,' DISTANCIA ENTRE APOIOS (1)-VAO TIPICO (2)-VAOS DIF.
  READ(5,*)JS
  IF ((JS.LT.1).OR.(JS.GT.2)) GO TO 10

C
  VTOTAL=0.
  VAO(0)=0.
  IF(JS.EQ.1) THEN
16      WRITE(*,16)
          FORMAT(6X,' DIST. ENTRE APOIO ....> ')
          READ(5,*)VAOTI
          DO 20 I=1,(NAPPIO-1)
              VAO(I)=VAOTI
              VTOTAL=VTOTAL+VAO(I)
20      CONTINUE
          ELSE
              DO 25 I=1,(NAPPIO-1)
21          WRITE(*,21)I
              FORMAT(6X,' FORNECA VAO ',I1,' ....> ')
              READ(5,*)VAO(I)
              VTOTAL=VTOTAL+VAO(I)
25          CONTINUE
  END IF

C
C      QUANTIDADE DE ANDARES E DISTANCIA ENTRE ELES

```



```

C
33 CALL TELA
   WRITE(*,35)
35  FORMAT(6X,' FORNECER QUANTIDADE DE ANDARES (max 10) .....> ')
   READ(5,*)NANDAR
   IF ((NANDAR.LT.1).OR.(NANDAR.GT.10)) GO TO 33
C
   HTOTAL=0.
C
40  WRITE(*,45)
45  FORMAT(6X,' DISTANCIA ENTRE ANDARES (1)-ALT. TIPICA (2)-ALT. DIF
   *')
   READ(5,*)JS
   IF ((JS.LT.1).OR.(JS.GT.2)) GO TO 40
C
   IF(JS.EQ.1) THEN
46     WRITE(*,46)
         FORMAT(6X,' DIST. ENTRE ANDARES .....> ')
         READ(5,*)ALTURA
         DO 50 I=1,NANDAR
         ALT(I)=ALTURA
         HTOTAL=HTOTAL+ALT(I)
50     CONTINUE
         ELSE
         DO 53 I=1,NANDAR
         WRITE(*,51)I
51     FORMAT(6X,' FORNECA ALTURA ',I2,' .....> ')
         READ(5,*)ALT(I)
         HTOTAL=HTOTAL+ALT(I)
53     CONTINUE
   END IF
C
C           CALCULO DA QUANTIDADE DE BARRRAS E NOS DO PORTICO
C
55  NBARRA=2*NANDAR*NAPOIO-NANDAR
C
   NNOS=(NANDAR+1)*NAPOIO
C
C           CALCULO DO COMPRIMENTO DAS BARRAS
C
   K=0
   DO 57 I=1,NAPOIO
     DO 56 J=1,NANDAR
       K=K+1
       COMP(K)=ALT(J)
56   CONTINUE
57   CONTINUE
   DO 59 I=1,NANDAR
     DO 58 J=1,(NAPOIO-1)
       K=K+1
       COMP(K)=VAO(J)
58   CONTINUE
59   CONTINUE
C
C   IDENTIFICACAO DOS APOIOS ROTULADOS: (1)-ENGASTE (0)-ROTULA

```



```

C
C   VALOR INICIAL (1)-ENGASTE
C
C   DO 62 I=1,NAPOIO
C   IAROT(I)=1
62  CONTINUE
C
C   CALL TELA
63  WRITE(*,64)
64  FORMAT(6X,' FORNECA APOIO ROTULADO (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) '
C   READ(5,*)I
C   IF (I.LE.0) GO TO 69
C   IF (I.GT.NAPOIO) THEN
C       WRITE(*,65)
65  FORMAT(6X,' VALOR FORA LIMITE!!!')
C       GO TO 63
C   ELSE
C       IAROT(I)=0
C       GO TO 63
C   END IF
C
69  CONTINUE
C
C   RELACAO DAS COLUNAS LIGADAS AOS APOIOS
C
C   ISUP(1)=1
C   DO 70 I=2,NAPOIO
C       ISUP(I)=ISUP(I-1)+NANDAR
70  CONTINUE
C
C           VIGAS COM EXTREMIDADES ROTULADAS
C
C   CALL TELA
C   NBL=0
73  WRITE(*,75)
75  FORMAT(6X,' FORNECA VIGA ROTULADA (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) '
C   READ(5,*)I
C   IF (I.LE.0) GO TO 89
C   IF ((I.GT.NBARRA).OR.(I.LE.(NAPOIO*NANDAR))) THEN
C       WRITE(*,78)
78  FORMAT(6X,' VALOR FORA LIMITE!!!')
C       GO TO 73
C   END IF
80  WRITE(*,82)
82  FORMAT(6X,' EXTREMIDADE ROTULADA: (1)-DIR (2)-ESQ (3)-AMBAS...
C   * ')
C   READ(5,*)J
C   IF ((J.LT.1).OR.(J.GT.3)) THEN
C       WRITE(*,85)
85  FORMAT(6X,' VALOR FORA LIMITE!!!')
C       GO TO 80
C   ELSE
C       NBL=NBL+1
C       IBLIB(NBL,1)=I
C       IBLIB(NBL,2)=J

```

```

                                GO TO 73
      END IF
C
C 89  CONTINUE
C
C                                CARREGAMENTO
C
C                                1. CARREGAMENTO NODAL
      CALL TELA
      NNC=1
      90  WRITE(*,95)
      95  FORMAT('                                *** CARREGAMENTO NODAL (max 20 nos) ***')
      100 WRITE(*,105)
      105 FORMAT(6X,' ')
      WRITE(*,110)
      110 FORMAT(6X,' NO CARREGADO (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) .....')
      READ(5,*)NNO
      IF (NNO.LE.0) GO TO 130
      IF (NNO.GT.NNOS) THEN
      WRITE(*,114)
      114  FORMAT(6X,' VALOR FORA LIMITE!!!')
      GO TO 100
      END IF
      WRITE(*,120)
      120  FORMAT(6X,' FORCA X .....')
      READ(5,*)CNNO
      CNO(NNC,1)=NNO
      CNO(NNC,2)=CNNO
      NNC=NNC+1
      GO TO 100
      130  CONTINUE
C
C                                2. CARGA NAS BARRAS
C
      NBC=1
      135  CALL TELA
      140  WRITE(*,145)
      145  FORMAT('                                *** CARGAS NAS BARRAS (max 60 barras) ***')
      150  WRITE(*,151)
      151  FORMAT(6X,' ')
      WRITE(*,155)
      155  FORMAT(6X,' BARRA CARREGADA (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) .....')
      READ(5,*)NBAR
      IF (NBAR.LE.0) GO TO 190
      IF (NBAR.GT.NBARRA) THEN
      WRITE(*,157)
      157  FORMAT(6X,' VALOR FORA LIMITE!!!')
      GO TO 150
      END IF
      WRITE(*,160)
      160  FORMAT(6X,' CARGA DISTRIBUIDA .....')
      READ(5,*)CDIS
      WRITE(*,170)
      170  FORMAT(6X,' CARGA CONCENTRADA .....')
      READ(5,*)CCON

```



```

        IBCAR(NBC)=NBAR
        BCAR(NBC,1)=CDIS
        BCAR(NBC,2)=CCON
        NBC=NBC+1
        GO TO 135
C
C           MOMENTOS PLASTICOS DAS BARRAS
C
190  CALL TELA
      WRITE(*,195)
195  FORMAT('          *** MOMENTOS PLASTICOS DAS BARRAS ***')
200  WRITE(*,201)
201  FORMAT(6X,' ')
      WRITE(*,210)
210  FORMAT(6X,' BARRA INICIAL (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) .....> ')
      READ(5,*)NBAR
      IF (NBAR.LE.0) GO TO 250
      IF (NBAR.GT.NBARRA) THEN
                WRITE(*,215)
215          FORMAT(6X,' VALOR FORA LIMITE!!!')
                GO TO 200
      END IF
219  WRITE(*,220)
220  FORMAT(6X,' BARRA FINAL .....> ')
      READ(5,*)NBARF
      IF (NBARF.GT.NBARRA) THEN
                WRITE(*,225)
225          FORMAT(6X,' VALOR FORA DO LIMITE!!!')
                GO TO 219
      END IF
      WRITE(*,230)
230  FORMAT(6X,' INCREMENTO .....> ')
      READ(5,*)INC
      WRITE(*,235)
235  FORMAT(6X,' MOMENTO PLATICO: Mp .....> ')
      READ(5,*)ZMP
      DO 240 I=NBAR,NBARF,INC
        PM(I)=ZMP
240  CONTINUE
      GO TO 190
C
250  CONTINUE
C
C           POSICOES POSSIVEIS PARA FORMACAO DE ROTULAS PLASTICAS NAS BARRAS
C
C           PARA BARRAS CARREGADAS    ==> 3 PONTOS: 2 DE EXTREMIDADE
C                                           1 NO MEIO DO VAO
C
C           PARA BARRAS DESCARREGADAS ==> 2 PONTOS (EXTREMIDADES)
C
      J=0
255  MEB(0)=0
      DO 400 I=1,NBARRA
280    J=J+1
        IF (J.GT.60) THEN

```

```

                                K=2
                                GO TO 300
        END IF
        IF (IBCAR(J).LT.1) THEN
                                K=2
                                GO TO 300
        END IF
        IF (IBCAR(J).EQ.1) THEN
                                K=3
                                GO TO 300
        END IF
        GO TO 280
300    J=0
        MEB(I)=(MEB(I-1)+K)
400    CONTINUE
C
C                                *** IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS ***
C
401    CALL TELA
402    FORMAT(6X, ' ')
        WRITE(*,403)
403    FORMAT(6X, ' (1) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS NA TELA')
        WRITE(*,402)
        WRITE(*,404)
404    FORMAT(6X, ' (2) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS NA IMPRESSORA')
        WRITE(*,402)
        WRITE(*,405)
405    FORMAT(6X, ' (3) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS EM ARQUIVO')
        WRITE(*,402)
        WRITE(*,406)
406    FORMAT(6X, ' (4) - CONTINUAR PROCESSAMENTO')
        WRITE(*,402)
        WRITE(*,402)
        WRITE(*,407)
407    FORMAT(6X, '                                OPCAO .....')
        READ(5,*)OPCAO
        IF ((OPCAO.GT.4).OR.(OPCAO.LT.1)) GO TO 401
        IF (OPCAO.EQ.4) GO TO 408
        IF (OPCAO.EQ.1) THEN
                CALL PORTTEL(MEB,IBCAR,IBLIB,IAROT,VAO,ALT,CNO,BCAR,PM,
*NANDAR,NAPOIO,NBARRA,NBL,NNC,NBC)
                ELSE IF (OPCAO.EQ.2) THEN
                CALL PORTIMP(MEB,IBCAR,IBLIB,IAROT,VAO,ALT,CNO,BCAR,PM,
*NANDAR,NAPOIO,NBARRA,NBL,NNC,NBC)
                ELSE
                CALL PORTARQ(MEB,IBCAR,IBLIB,IAROT,VAO,ALT,CNO,BCAR,PM,
*NANDAR,NAPOIO,NBARRA,NBL,NNC,NBC,NOMARQ,ITEST2)
        END IF
        GO TO 401
C
408    CONTINUE
        CALL TELA
C
C                                **** GRAVACAO DOS DADOS INICIAIS ****
C

```



```

N=MEB(NBARRA)*2 + 1
M1=0
M2=0
IA=0
C
WRITE(1,409)N
WRITE(1,409)M1
WRITE(1,409)M2
WRITE(1,409)IA
409 FORMAT(I4)
C
K=0
DO 1300 I=1,(N-1)
  K=I+1
  DO 1250 J=1,N
    IF (K.EQ.J) THEN
1245 WRITE(1,1245)I.
      FORMAT(F15.8)
      ELSE
1246 WRITE(1,1246)0.
      FORMAT(F15.8)
    END IF
1250 CONTINUE
1300 CONTINUE
C
      ***** M E C A N I S M O   D E   A N D A R *****
C
WRITE(*,410)
410 FORMAT(6X,' ***MECANISMO DE ANDAR')
DO 700 I=1,NANDAR
C
C          COLUNAS DO MECANISMO
C
ICM(J) ==> COLUNAS DO MECANISMO
C
ICM(1)=I
DO 450 J=2,NAPOIO
  ICM(J)=ICM(J-1)+NANDAR
450 CONTINUE
C
C          VIGAS DAS EXTREMIDADES
C
IVE = VIGA ESQUERDA
IVD = VIGA DIREITA
IPV = PRIMEIRA VIGA DO PORTICO
C
IPV=(NANDAR*NAPOIO)+1
IVE=IPV+((NAPOIO-1)*(I-1))
IVD=IVE+(NAPOIO-2)
C
C PESQUISA DO MENOR Mp NA LIGACAO VIGA C/ COLUNA NAS EXTREMIDADES
C   MLE=BARRA ONDE FORMARA ROTULA PLASTICA DO LADO ESQUERDO
C   MLD=BARRA ONDE FORMARA ROTULA PLASTICA DO LADO DIREITO
C   AMPEE=MOMENTO PLASTICO NA EXTREMIDADE ESQUERDA
C   AMPED=MOMENTO PLASTICO NA EXTREMIDADE DIREITA

```

```

C
AMPEE=PM(IVE)
DO 456 J=1,NBL
  IF (IBLIB(J,1).EQ.IVE) THEN
    IF ((IBLIB(J,2).EQ.2).OR.(IBLIB(J,2).EQ.3)) THEN
      AMPEE=0.
    END IF
  END IF
456 CONTINUE
  IF (PM(I).LE.AMPEE) THEN
    MLE=I
  ELSE
    MLE=IVE
  END IF
C
AMPED=PM(IVD)
DO 457 J=1,NBL
  IF (IBLIB(J,1).EQ.IVD) THEN
    IF ((IBLIB(J,2).EQ.1).OR.(IBLIB(J,2).EQ.3)) THEN
      AMPED=0.
    END IF
  END IF
457 CONTINUE
  IF (PM(ICM(NAPOIO)).LE.AMPED) THEN
    MLD=ICM(NAPOIO)
  ELSE
    MLD=IVD
  END IF
C
C          FORCA CORTANTE NO TOPO DO ANDAR EM ESTUDO
C
C          1. DEVIDO AO CARREGAMENTO NODAL
C
C          NO INICIAL = NI
C
FCORT=0.
NI=(NAPOIO*I)+1
DO 460 KK=1,(NNC-1)
  IF (CNO(KK,1).GE.NI) THEN
    FCORT=FCORT+CNO(KK,2)
  END IF
460 CONTINUE
C
C          2. DEVIDO AS COLUNAS CARREGADAS
C
DO 500 J=1,NAPOIO
  II=I
  K=ICM(J)
475 K=K+1
  II=II+1
  IF (II.GT.NANDAR) GO TO 500
  DO 480 KK=1,(NBC-1)
    IF (K.EQ.IBCAR(KK)) THEN
      FCORT=FCORT+(BCAR(KK,1)*ALT(II))
      FCORT=FCORT+BCAR(KK,2)
    END IF
  END DO
END DO

```



```

        END IF
480    CONTINUE
        GO TO 475
500    CONTINUE
C
C          TRABALHO REALIZADO PELA FORÇA CORTANTE
C
        TRAB=0
        TRAB=FCORT*ALT(I)
C
C          TRABALHO REALIZADO PELAS CARGAS ATUANTES NAS COLUNAS DO MECANISMO
C
        DO 550 J=1,NAPOIO
            DO 520 KK=1,(NBC-1)
                IF (ICM(J).EQ.IBCAR(KK)) THEN
                    TRAB=TRAB+(BCAR(KK,2)*ALT(I)/2)
                    TRAB=TRAB+(BCAR(KK,1)*ALT(I)**2/2)
                END IF
            END IF
520    CONTINUE
550    CONTINUE
C
C          GERACAO DO VETOR REF. A EQUACAO DO MECANISMO DE ANDAR
C
        DO 600 J=0,MEB(NBARRA)
            EQMEC(J)=0.
600    CONTINUE
            IF (NAPOIO.EQ.2) GO TO 653
            DO 650 J=2,(NAPOIO-1)
                EQMEC(MEB(ICM(J)))=1.
                EQMEC(MEB(ICM(J)-1)+1)=-1.
            END DO
650    CONTINUE
653    EQMEC(MEB(ICM(1)-1)+1)=-1.
            IF (ICM(1).EQ.MLE) THEN
                EQMEC(MEB(ICM(1)))=1.
            ELSE
                EQMEC(MEB(MLE-1)+1)=1.
            END IF
C
            EQMEC(MEB(ICM(NAPOIO)-1)+1)=1.
            IF (ICM(NAPOIO).EQ.MLD) THEN
                EQMEC(MEB(ICM(NAPOIO)))=-1.
            ELSE
                EQMEC(MEB(MLD))=-1.
            END IF
C
            EQMEC(0)=TRAB
C
C          GRAVACAO DA EQUACAO EM ARQUIVO
C
            NERM=NERM+1
            WRITE(*,655)
655    FORMAT(6X,' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO ANDAR')
            WRITE(1,657)EQMEC(0)
657    FORMAT(F15.8)

```

```

DO 690 J=1,MEB(NBARRA)
  WRITE(1,680)-EQMEC(J)
  WRITE(1,680)EQMEC(J)
680  FORMAT(F15.8)
690  CONTINUE
C
700  CONTINUE
C
C          ****  M E C A N I S M O  D E  V I G A  ****
C
710  IF (NBC.EQ.1) GO TO 900
  WRITE(*,720)
720  FORMAT(6X,' ***MECANISMO DE VIGA')
  IUVE=NBARRA-(NAPOIO-2)
  DO 800 I=1,(NBC-1)
    TRAB=0.
    DO 750 J=0,MEB(NBARRA)
      EQMEC(J)=0.
750  CONTINUE
      IPME=IBCAR(I)
      IPMD=IBCAR(I)
C
      IF (IBCAR(I).EQ.IUVE) THEN
        IF (PM(NANDAR).GT.PM(IUVE)) THEN
          IPME=IUVE
        ELSE
          IPME=NANDAR
        END IF
      END IF
C
      IF (IBCAR(I).EQ.IUVE) THEN
        DO 755 J=1,NBL
          IF (IBCAR(I).EQ.IBLIB(J,1)) THEN
            IF ((IBLIB(J,2).EQ.2).OR.(IBLIB(J,2).EQ.3)) THEN
              IPME=IUVE
            END IF
          END IF
675  CONTINUE
        END IF
C
      IF (IBCAR(I).EQ.NBARRA) THEN
        IF (PM(NANDAR*NAPOIO).GT.PM(NBARRA)) THEN
          IPMD=NBARRA
        ELSE
          IPMD=NANDAR*NAPOIO
        END IF
      END IF
C
      IF (IBCAR(I).EQ.NBARRA) THEN
        DO 756 J=1,NBL
          IF (IBCAR(I).EQ.IBLIB(J,1)) THEN
            IF ((IBLIB(J,2).EQ.1).OR.(IBLIB(J,2).EQ.3)) THEN
              IPMD=NBARRA
            END IF
          END IF
        END IF
      END IF

```



```

756          CONTINUE
          END IF
C
C          TRABALHO REALIZADO PELA CARGA CONCENTRADA
C
          TRAB=BCAR(I,2)*COMP(IBCAR(I))/2
C
C          TRABALHO REALIZADO PELA CARGA DISTRIBUIDA
C
          TRAB=TRAB+BCAR(I,1)*(COMP(IBCAR(I)))**2/4
C
C          INVERSAO DO TRABALHO SE FOR COLUNAS DO ULTIMO APOIO
C
          IUC1=NAPOIO*NANDAR
          IUC2=IUC1-NANDAR+1
          IF ((IBCAR(I).GE.IUC2).AND.(IBCAR(I).LE.IUC1)) THEN
                                                    TRAB=-TRAB
          END IF
C
C          GERACAO DA EQUACAO
C
          EQMEC(0)=TRAB
          EQMEC(MEB(IPMD))=-1.
          EQMEC(MEB(IBCAR(I))-1)=2.
          IF (IBCAR(I).LE.(NANDAR*NAPOIO)) THEN
                                                    EQMEC(MEB(IBCAR(I))-2)=-1.
          ELSE IF (IPME.EQ.NANDAR) THEN
                                                    EQMEC(MEB(IPME))=-1.
          ELSE
                                                    EQMEC(MEB(IBCAR(I))-2)=-1.
          END IF
C
C          GRAVACAO DOS DADOS EM ARQUIVO
C
          NERM=NERM+1
          WRITE(*,760)
760  FORMAT(6X,' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO DE VIGA')
          WRITE(1,770)EQMEC(0)
770  FORMAT(F15.8)
          DO 790 J=1,MEB(NBARRA)
              WRITE(1,780)-EQMEC(J)
              WRITE(1,780)EQMEC(J)
780  FORMAT(F15.8)
790  CONTINUE
C
800  CONTINUE
900  CONTINUE
C
C          **** M E C A N I S M O D E N O S ****
C
C          Hiperestatico calculado considerando toda a estrutura com nos
C          rigidos e apoios engastados
C
C          MECNO = quantidade de mecanismo de nos
C

```

```

HIPER=(NAPOIO-1)*NANDAR
MECNO=HIPER-NANDAR-(NBC-1)
IF (NANDAR.EQ.1) GO TO 1000
C
C   MECANISMO DE NO DA COLUNA DA EXTREMIDADE ESQUERDA
C
WRITE(*,905)
905  FORMAT(6X,' ***MECANISMO DE NO')
      IVIGA=IPV
      DO 940 I=1,(NANDAR-1)
        DO 910 J=0,MEB(NBARRA)
          EQMEC(J)=0.
910   CONTINUE
      EQMEC(MEB(IVIGA-1)+1)=-1.
      EQMEC(MEB(I))=1.
      EQMEC(MEB(I)+1)=-1.
C
C   Gravacao dos dados em arquivo
C
WRITE(*,915)
915  FORMAT(6X,' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO DE NO')
      NERM=NERM+1
      WRITE(1,920)EQMEC(0)
920  FORMAT(F15.8)
      DO 930 J=1,MEB(NBARRA)
        WRITE(1,925)-EQMEC(J)
        WRITE(1,925)EQMEC(J)
925   FORMAT(F15.8)
930   CONTINUE
      IVIGA=IVIGA+(NAPOIO-1)
940  CONTINUE
C
C   MECANISMO DE NO DA COLUNA DA EXTREMIDADE DIREITA
C
C   ICOLD=PRIMEIRA COLUNA
C
WRITE(*,945)
945  FORMAT(6X,' ***MECANISMO DE NO')
      IVIGA=IPV+(NAPOIO-2)
      ICOLD=IPV-NANDAR
      DO 990 I=1,(NANDAR-1)
        DO 950 J=1,MEB(NBARRA)
          EQMEC(J)=0.
950   CONTINUE
      EQMEC(MEB(IVIGA))=-1.
      EQMEC(MEB(ICOLD+I-1))=1.
      EQMEC(MEB(ICOLD+I-1)+1)=-1.
C
C   Gravacao dos dados em arquivo
C
WRITE(*,955)
955  FORMAT(6X,' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO DE NO')
      NERM=NERM+1
      WRITE(1,960)EQMEC(0)
960  FORMAT(F15.8)

```



```

          DO 980 J=1,MEB(NBARRA)
            WRITE(1,970)-EQMEC(J)
            WRITE(1,970)EQMEC(J)
970      FORMAT(F15.8)
980      CONTINUE
          IVIGA=IVIGA+(NAPOIO-1)
990      CONTINUE
1000     CONTINUE
C
C      MECANISMO DE NOo CENTRAL
C
          IF (NAPOIO.LT.3) GO TO 1200
          WRITE(*,1005)
1005     FORMAT(6X,' ***MECANISMO DE NOo ')
          ICOL=NANDAR+1
          IVIGA=IPV-1
          DO 1190 I=1,(NAPOIO-2)
            IVIGA=IVIGA+I
            DO 1180 M=1,NANDAR
              DO 1110 K=0,MEB(NBARRA)
                EQMEC(K)=0.
1110      CONTINUE
              IF (M.NE.NANDAR) THEN
                EQMEC(MEB(ICOL)+1)=1.
              END IF
              EQMEC(MEB(ICOL))=-1.
              EQMEC(MEB(IVIGA))=-1.
              EQMEC(MEB(IVIGA)+1)=1.
C
C      Gravacao dos dados em arquivo
C
          WRITE(*,1115)
1115     FORMAT(6X,' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO DE NOo ')
          NERM=NERM+1
          WRITE(1,1120)EQMEC(0)
1120     FORMAT(F15.8)
          DO 1140 J=1,MEB(NBARRA)
            WRITE(1,1130)EQMEC(J)
            WRITE(1,1130)-EQMEC(J)
1130     FORMAT(F15.8)
1140     CONTINUE
C
          ICOL=ICOL+1
          IVIGA=IVIGA+(NAPOIO-1)
1180     CONTINUE
1190     CONTINUE
1200     CONTINUE
C
C      MECANISMO DE NO (EXTREMIDADE ESQUERDA)
C
          WRITE(*,1205)
1205     FORMAT(6X,' ***MECANISMO DE NOo ')
          DO 1210 K=0,MEB(NBARRA)
            EQMEC(K)=0.
1210     CONTINUE

```

```

C
      IVIG=NBARRA-NAPOIO+2
      EQMEC(MEB(NANDAR))=1.
      EQMEC(MEB(IVIG-1)+1)=-1.
C
C      Gravacao dos dados em arquivo
C
      WRITE(*,1215)
1215  FORMAT(6X,' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO DE NO')
      NERM=NERM+1
      WRITE(1,1220)EQMEC(0)
1220  FORMAT(F15.8)
      DO 1240 J=1,MEB(NBARRA)
          WRITE(1,1230)EQMEC(J)
          WRITE(1,1230)-EQMEC(J)
1230  FORMAT(F15.8)
1240  CONTINUE
C
C      MECANISMO DE NO (EXTREMIDADE DIREITA)
C
      WRITE(*,1247)
1247  FORMAT(6X,' ***MECANISMO DE NO')
          DO 1248 K=0,MEB(NBARRA)
              EQMEC(K)=0.
1248  CONTINUE
C
      ICOLU=NAPOIO*NANDAR
      EQMEC(MEB(ICOLU))=1.
      EQMEC(MEB(NBARRA))=-1.
C
C      Gravacao dos dados em arquivo
C
      WRITE(*,1255)
1255  FORMAT(6X,' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO DE NO')
      NERM=NERM+1
      WRITE(1,1258)EQMEC(0)
1258  FORMAT(F15.8)
      DO 1260 J=1,MEB(NBARRA)
          WRITE(1,1259)EQMEC(J)
          WRITE(1,1259)-EQMEC(J)
1259  FORMAT(F15.8)
1260  CONTINUE
C
C      **** V E T O R B ****
C
      WRITE(*,1310)
1310  FORMAT(6X,' ***VETOR B')
C
      KK=1
      DO 1500 I=1,NBARRA
          DO 1430 K=1,NAPOIO
              IF (I.EQ.ISUP(K)) THEN
                  IF (IAROT(K).EQ.0) THEN
                      WRITE(1,1405)0.
                      WRITE(1,1405)0.

```



```

1405                                     FORMAT(F6.2)
                                         DO 1410 J=(MEB(I-1)+2),MEB(I)
                                         WRITE(1,1407)PM(I)
                                         WRITE(1,1407)PM(I)
1407                                     FORMAT(F6.2)
1410                                     CONTINUE
                                         KK=0
                                         ELSE
                                         DO 1420 J=(MEB(I-1)+1),MEB(I)
                                         WRITE(1,1407)PM(I)
                                         WRITE(1,1407)PM(I)
1417                                     FORMAT(F6.2)
1420                                     CONTINUE
                                         KK=0
                                         END IF
                                         END IF
1430                                     CONTINUE
C
DO 1445 K=1,NBL
  IF (I.EQ.IBLIB(K,1)) THEN
    IF ((IBLIB(K,2).EQ.2).OR.(IBLIB(K,2).EQ.3)) THEN
      WRITE(1,1435)0.
      WRITE(1,1435)0.
1435                                     FORMAT(F6.2)
      KK=0
      ELSE
      WRITE(1,1436)PM(I)
      WRITE(1,1436)PM(I)
1436                                     FORMAT(F6.2)
      KK=0
    END IF
    IF ((MEB(I)-(MEB(I-1)+1)).EQ.2) THEN
      WRITE(1,1437)PM(I)
      WRITE(1,1437)PM(I)
1437                                     FORMAT(F6.2)
    END IF
    IF ((IBLIB(K,2).EQ.1).OR.(IBLIB(K,2).EQ.3)) THEN
      WRITE(1,1438)0.
      WRITE(1,1438)0.
1438                                     FORMAT(F6.2)
      ELSE
      WRITE(1,1439)PM(I)
      WRITE(1,1439)PM(I)
1439                                     FORMAT(F6.2)
    END IF
  END IF
1445                                     CONTINUE
C
  IF (KK.EQ.1) THEN
    DO 1460 J=(MEB(I-1)+1),MEB(I)
    WRITE(1,1450)PM(I)
    WRITE(1,1450)PM(I)
1450                                     FORMAT(F6.2)
1460                                     CONTINUE
  END IF

```

```

        KK=1
1500  CONTINUE
C
        DO 1350 I=1,NERM
            WRITE(1,1345)0.
1345  FORMAT(F6.2)
1350  CONTINUE
C
C          **** V E T O R  C ****
C
        WRITE(*,1550)
1550  FORMAT(6X,' ***VETOR C')
        WRITE(1,1600)1.
1600  FORMAT(F6.2)
        DO 1700 I=1,(N-1)
            WRITE(1,1650)0.
1650  FORMAT(F6.2)
1700  CONTINUE
C
C
        M1=(MEB(NBARRA)*2)
        M2=NERM
        IA=M1+M2+2
        NMAX=(4+(NERM*N)+(MEB(NBARRA)*2*N)+(NERM+MEB(NBARRA)*2)+N)
C
        DO 1705 I=NMAX,2,-1
            BACKSPACE 1
1705  CONTINUE
C
        WRITE(1,1710)M1
        WRITE(1,1710)M2
        WRITE(1,1710)IA
1710  FORMAT(I4)
C
C          FINALIZACAO
C
        WRITE(*,1715)
1715  FORMAT(6X,' ***FECHANDO O ARQUIVO')
        CLOSE(1)
        RETURN
        END
C
C
C
        SUBROUTINE PORTTEL(MEB,IBCAR,IBLIB,IAROT,VAO,ALT,CNO,BCAR,PM,NAN
        *R,NAPOIO,NBARRA,NBL,NNC,NBC)
C
        IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
        IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
        INTEGER*4 NANDAR,NAPOIO,NBARRA,NBL,NNC,NBC
        INTEGER*4 MEB(90),MEBI(90)
        INTEGER*4 IBCAR(60)
        INTEGER*4 IBLIB(20,2),IAROT(5)
        REAL*8 VAO(5),ALT(10)
        REAL*8 CNO(20,2),BCAR(60,2)

```



```

REAL*8 PM(90)
CHARACTER DIREITA*12,ESQUERDA*12
C
CALL TELA
C
C IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS NA TELA
C
WRITE(*,50)
50 FORMAT(18X,'**** P O R T I C O   P L A N O   ****')
C
WRITE(*,60)NAP0IO
60 FORMAT(/,10X,'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ',I4)
WRITE(*,63)
63 FORMAT(6X,' ')
DO 70 I=1,NAP0IO-1
    WRITE(*,65)I,VAD(I)
65    FORMAT(10X,'VAD ',I2,' ..... ',F7.2)
70 CONTINUE
C
WRITE(*,71)
71 FORMAT(' ')
WRITE(*,72)
72 FORMAT('          DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
PAUSE
CALL TELA
C
WRITE(*,80)NANDAR
80 FORMAT(10X,'QUANTIDADE DE ANDARES ..... ',I4)
WRITE(*,90)
90 FORMAT(6X,' ')
DO 120 I=1,NANDAR
    WRITE(*,110)I,ALT(I)
110    FORMAT(10X,'ANDAR ',I2,' ..... ',F7.2)
120 CONTINUE
C
WRITE(*,121)
121 FORMAT(' ')
WRITE(*,122)
122 FORMAT('          DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
PAUSE
CALL TELA
C
WRITE(*,125)
125 FORMAT(10X,'RESTRICAO DOS APOIOS')
WRITE(*,130)
130 FORMAT(6X,' ')
DO 140 I=1,NAP0IO
    IF (IAROT(I).EQ.1) THEN
        WRITE(*,135)I
135        FORMAT(10X,'APOIO ',I1,' ..... ENGASTADO')
        ELSE
        WRITE(*,136)I
136        FORMAT(10X,'APOIO ',I1,' ..... ROTULADO')
    END IF
140 CONTINUE

```



```

C
WRITE(*,141)
141 FORMAT(' ')
WRITE(*,142)
142 FORMAT('                                DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
PAUSE
CALL TELA
WRITE(*,143)
143 FORMAT(10X,'BARRAS COM EXTREMIDADE ROTULADA')
WRITE(*,145)
145 FORMAT(6X,' ')
IF (NBL.EQ.0) THEN
WRITE(*,150)
150 FORMAT(10X,'TODAS AS EXTREMIDADES DAS BARRAS SAO RI
*IDAS')
GO TO 190
END IF
WRITE(*,155)
155 FORMAT(10X,'BARRA', ' EXTREMIDADE DIREITA', ' EXTREMIDADE
*ESQUERDA')
WRITE(*,156)
156 FORMAT(6X,' ')
DO 180 I=1,NBL
IF ((IBLIB(I,2).EQ.1).OR.(IBLIB(I,2).EQ.3)) THEN
DIREITA='LIBERADO'
ELSE
DIREITA='ENGASTADO'
END IF
IF ((IBLIB(I,2).EQ.2).OR.(IBLIB(I,2).EQ.3)) THEN
ESQUERDA='LIBERADO'
ELSE
ESQUERDA='ENGASTADO'
END IF
WRITE(*,170)IBLIB(I,1),DIREITA,ESQUERDA
170 FORMAT(12X,I2,14X,A10,14X,A10)
180 CONTINUE
C
190 CONTINUE
C
WRITE(*,191)
191 FORMAT(' ')
WRITE(*,192)
192 FORMAT('                                DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
PAUSE
CALL TELA
C
IF (NNC.EQ.1) GO TO 210
WRITE(*,195)
195 FORMAT(10X,'CARREGAMENTO NODAL')
WRITE(*,198)
198 FORMAT(6X,' ')
WRITE(*,200)
200 FORMAT(15X,'NO',10X,'FORCA X')
DO 208 I=1,(NNC-1)
WRITE(*,205)CNO(I,1),CNO(I,2)

```

```

205     FORMAT(15X,F3.0,10X,F6.2)
208     CONTINUE
C
    WRITE(*,211)
211     FORMAT(' ')
    WRITE(*,212)
212     FORMAT(' ')
    PAUSE
    CALL TELA
210     CONTINUE
C
    IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
    WRITE(*,215)
215     FORMAT(10X,'CARGA NAS BARRAS')
    WRITE(*,220)
220     FORMAT(6X,' ')
    WRITE(*,223)
223     FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA
*)
    DO 230 I=1,(NBC-1)
        WRITE(*,225) IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225     FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230     CONTINUE
C
    WRITE(*,301)
301     FORMAT(' ')
    WRITE(*,302)
302     FORMAT(' ')
    PAUSE
    CALL TELA
C
300     CONTINUE
C
    WRITE(*,315)
315     FORMAT(10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
    WRITE(*,320)
320     FORMAT(6X,' ')
    MEB(0)=0
    WRITE(*,323)
323     FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'MOMENTO PLASTICO')
    DO 330 I=1,NBARRA
        MEBI(I)=MEB(I-1)+1
        WRITE(*,325) I,MEBI(I),MEB(I),PM(I)
325     FORMAT(16X,I2,9X,I3,' a ',I3,13X,F7.2)
330     CONTINUE
C
    WRITE(*,400)
400     FORMAT(' ')
    WRITE(*,410)
410     FORMAT(' ')
    PAUSE
C
    RETURN
    END
C

```



```

C
C
SUBROUTINE PORTIMP(MEB, IBCAR, IBLIB, IAROT, VAO, ALT, CNO, BCAR, PM, N=
*N, NAPOIO, NBARRA, NBL, NNC, NBC)
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
INTEGER*4 NANDAR, NAPOIO, NBARRA, NBL, NNC, NBC
INTEGER*4 MEB(90), MEBI(90)
INTEGER*4 IBCAR(60)
INTEGER*4 IBLIB(20,2), IAROT(5)
REAL*8 VAO(5), ALT(10)
REAL*8 CNO(20,2), BCAR(60,2)
REAL*8 PM(90)
CHARACTER DIREITA*12, ESQUERDA*12
CHARACTER CURSO*40, ALUNO*20, ORIENT*30
C
ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
CALL TELA
WRITE(*,10)
10  FORMAT(7X, ' A G U A R D E   I M P R E S S A O   D A D O S   I N I C
*I A I S')
C
WRITE(3,15)
15  FORMAT(10X, '* * * *   UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS   * *
* * * *')
WRITE(3,25)
WRITE(3,17) CURSO
17  FORMAT(10X, 'CURSO           : ', A40)
WRITE(3,18) ALUNO
18  FORMAT(10X, 'ALUNO           : ', A20)
WRITE(3,19) ORIENT
19  FORMAT(10X, 'ORIENTADOR: ', A30)
WRITE(3,25)
WRITE(3,20)
20  FORMAT(13X, '*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
WRITE(3,25)
WRITE(3,25)
25  FORMAT(6X, ' ')
C
C
C
IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS
C
WRITE(3,50)
50  FORMAT(18X, '*** PORTICO PLANO ***')
C
WRITE(3,60) NAPOIO
60  FORMAT(/, 10X, 'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ', I4)
WRITE(3,63)
63  FORMAT(6X, ' ')
DO 70 I=1, NAPOIO-1
WRITE(3,65) I, VAO(I)
65  FORMAT(10X, 'VAO ', I2, ' ..... ', F7.2)

```





```

190 CONTINUE
C
    IF (NNC.EQ.1) GO TO 210
    WRITE(3,195)
195 FORMAT(/,10X,'CARREGAMENTO NODAL')
    WRITE(3,198)
198 FORMAT(6X,' ')
    WRITE(3,200)
200 FORMAT(15X,'NO',10X,'FORCA X')
    DO 208 I=1,(NNC-1)
        WRITE(3,205)CNO(I,1),CNO(I,2)
205     FORMAT(15X,F3.0,10X,F6.2)
208 CONTINUE
C
210 CONTINUE
C
    IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
    WRITE(3,215)
215 FORMAT(/,10X,'CARGA NAS BARRAS')
    WRITE(3,220)
220 FORMAT(6X,' ')
    WRITE(3,223)
223 FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA
*)
    DO 230 I=1,(NBC-1)
        WRITE(3,225)IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225     FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230 CONTINUE
C
300 CONTINUE
C
    WRITE(3,315)
315 FORMAT(/,10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
    WRITE(3,320)
320 FORMAT(6X,' ')
    MEB(0)=0
    WRITE(3,323)
323 FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'MOMENTO PLASTICO')
    DO 330 I=1,NBARRA
        MEB(I)=MEB(I-1)+1
        WRITE(3,325)I,MEBI(I),MEB(I),PM(I)
325     FORMAT(16X,I2,9X,I3,' a ',I3,12X,F7.2)
330 CONTINUE
C
    RETURN
    END
C
C
C
    SUBROUTINE PORTARQ(MEB,IBCAR,IBLIB,IAROT,VAO,ALT,CNO,BCAR,PM,NAND
*R,NAPOIO,NBARRA,NBL,NNC,NBC,NOMSAI,ITEST2)
C
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
    IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
    INTEGER*4 NANDAR,NAPOIO,NBARRA,NBL,NNC,NBC

```



```

INTEGER*4 MEB(90),MEBI(90)
INTEGER*4 IBCAR(60)
INTEGER*4 IBLIB(20,2),IAROT(5)
REAL*8 VAO(5),ALT(10)
REAL*8 CNO(20,2),BCAR(60,2)
REAL*8 PM(90)
CHARACTER DIREITA*12,ESQUERDA*12
CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
CHARACTER NOMSAI*12

C
ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'

C
ITEST2=1

C
CALL TELA

C
WRITE(*,5)
5  FORMAT(6X,' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DOS DADOS .....> ' )
   READ(5,6)NOMSAI
6  FORMAT(A12)

   OPEN(2,FILE =NOMSAI)

C
   WRITE(2,15)
15  FORMAT('          * * * *          UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
          * * * *')
   WRITE(2,25)
   WRITE(2,17) CURSO
17  FORMAT(6X,'CURSO          : ',A40)
   WRITE(2,18) ALUNO
18  FORMAT(6X,'ALUNO          : ',A20)
   WRITE(2,19) ORIENT
19  FORMAT(6X,'ORIENTADOR: ',A30)
   WRITE(2,25)
   WRITE(2,20)
20  FORMAT(10X,'*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
   WRITE(2,25)
   WRITE(2,25)
25  FORMAT(6X,'          ')

C
C  IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS EM ARQUIVO
C
   WRITE(2,50)
50  FORMAT(18X,'*** PORTICO PLANO ***')

C
   WRITE(2,60)NAPOID
60  FORMAT(/,10X,'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ',I4)
   WRITE(2,63)
63  FORMAT(6X,' ')
   DO 70 I=1,NAPOIO-1
      WRITE(2,65)I,VAO(I)
65  FORMAT(10X,'VAO ',I2,' ..... ',F7.2)
70  CONTINUE

```



```

C
WRITE(2,80)NANDAR
80  FORMAT(/,10X,'QUANTIDADE DE ANDARES ..... ',I4)
WRITE(2,90)
90  FORMAT(6X,' ')
DO 120 I=1,NANDAR
    WRITE(2,110)I,ALT(I)
110  FORMAT(10X,'ANDAR ',I2,' ..... ',F7.2)
120  CONTINUE
C
WRITE(2,125)
125  FORMAT(/,10X,'RESTRICAO DOS APOIOS')
WRITE(2,130)
130  FORMAT(6X,' ')
DO 140 I=1,NAPOIO
    IF (IAROT(I).EQ.1) THEN
        WRITE(2,135)I
135  FORMAT(10X,'APOIO ',I1,' ..... ENGASTADO')
        ELSE
        WRITE(2,136)I
136  FORMAT(10X,'APOIO ',I1,' ..... ROTULADO')
    END IF
140  CONTINUE
C
WRITE(2,142)
142  FORMAT(/,10X,'BARRAS COM EXTREMIDADE ROTULADA')
WRITE(2,145)
145  FORMAT(6X,' ')
IF (NBL.EQ.0) THEN
    WRITE(2,150)
150  FORMAT(10X,'TODAS AS EXTREMIDADES DAS BARRAS SAO RI
*IDAS')
    GO TO 190
END IF
WRITE(2,155)
155  FORMAT(10X,'BARRA',',', 'EXTREMIDADE DIREITA',',', 'EXTREMIDADE
*ESQUERDA')
WRITE(2,156)
156  FORMAT(6X,' ')
DO 180 I=1,NBL
    IF ((IBLIB(I,2).EQ.1).OR.(IBLIB(I,2).EQ.3)) THEN
        DIREITA='LIBERADO'
        ELSE
        DIREITA='ENGASTADO'
    END IF
    IF ((IBLIB(I,2).EQ.2).OR.(IBLIB(I,2).EQ.3)) THEN
        ESQUERDA='LIBERADO'
        ELSE
        ESQUERDA='ENGASTADO'
    END IF
    WRITE(2,170)IBLIB(I,1),DIREITA,ESQUERDA
170  FORMAT(12X,I2,14X,A10,14X,A10)
180  CONTINUE
C
190  CONTINUE

```

```

C
  IF (NNC.EQ.1) GO TO 210
  WRITE(2,195)
195  FORMAT(/,10X,'CARREGAMENTO NODAL')
  WRITE(2,198)
198  FORMAT(6X,' ')
  WRITE(2,200)
200  FORMAT(15X,'NO',10X,'FORCA X')
  DO 208 I=1,(NNC-1)
    WRITE(2,205)CNO(I,1),CNO(I,2)
205    FORMAT(15X,F3.0,10X,F6.2)
208  CONTINUE
C
210  CONTINUE
C
  IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
  WRITE(2,215)
215  FORMAT(/,10X,'CARGA NAS BARRAS')
  WRITE(2,220)
220  FORMAT(6X,' ')
  WRITE(2,223)
223  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA
*)
  DO 230 I=1,(NBC-1)
    WRITE(2,225)IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225    FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230  CONTINUE
C
300  CONTINUE
C
  WRITE(2,315)
315  FORMAT(/,10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
  WRITE(2,320)
320  FORMAT(6X,' ')
  MEB(0)=0
  WRITE(2,323)
323  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'MOMENTO PLASTICO')
  DO 330 I=1,NBARRA
    MEBI(I)=MEB(I-1)+1
    WRITE(2,325)I,MEBI(I),MEB(I),PM(I)
325    FORMAT(16X,I2,9X,I3,' a ',I3,12X,F7.2)
330  CONTINUE
  WRITE(2,400)
  WRITE(2,400)
400  FORMAT(6X,' ')
C
  RETURN
  END
C
C
C
  SUBROUTINE AUTOVIGA(NOMEAR,ITESTE,NOMSAI,ITEST2)
C
  IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
  IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)

```



```

INTEGER*4 MEB(15)
INTEGER*4 IBCAR(5)
INTEGER*4 IAROT(2)
REAL*8 VAO(5)
REAL*8 BCAR(5,2)
REAL*8 PM(5),COMP(5)
REAL*8 EQMEC(271)
CHARACTER NOMEAR*12,NOMSAI*12

C
  ITESTE=1
  ITEST2=0
  NERM=0

C
  CALL TELA
  WRITE(*,2)
  2  FORMAT(6X,' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DADOS INICIAIS....> ')
  READ(*,4)NOMEAR
  4  FORMAT(A12)

C
  OPEN(1,FILE=NOMEAR)

C
C
C      QUANTIDADE DE APOIOS E DISTANCIA ENTRE ELES
C
  5  CALL TELA
  WRITE(*,7)
  7  FORMAT(6X,' FORNECER QUANTIDADE DE APOIOS (max 5) ....> ')
  READ(5,*)NAPOID
  IF ((NAPOID.LT.2).OR.(NAPOID.GT.5)) GO TO 5

C
  10 WRITE(*,15)
  15 FORMAT(6X,' DISTANCIA ENTRE APOIOS (1)-VAO TIPICO (2)-VAOS DIF.'
  READ(5,*)JS
  IF ((JS.LT.1).OR.(JS.GT.2)) GO TO 10

C
  VTOTAL=0.
  VAO(0)=0.
  IF(JS.EQ.1) THEN
    WRITE(*,16)
    16  FORMAT(6X,' DIST. ENTRE APOIO ....> ')
    READ(5,*)VAOTI
    DO 20 I=1,(NAPOID-1)
      VAO(I)=VAOTI
      VTOTAL=VTOTAL+VAO(I)
    20  CONTINUE
    ELSE
      DO 25 I=1,(NAPOID-1)
        WRITE(*,21)I
        21  FORMAT(6X,' FORNECA VAO ',I1,' ....> ')
        READ(5,*)VAO(I)
        VTOTAL=VTOTAL+VAO(I)
        25  CONTINUE
  END IF

C
C
C      CALCULO DA QUANTIDADE DE BARRRAS E NOS DO PORTICO

```



```

55 NBARRA=NAPOIO-1
C
C NNOS=NAPOIO
C
C          CALCULO DO COMPRIMENTO DAS BARRAS
C
DO 58 J=1,NBARRA
  COMP(J)=VAO(J)
58 CONTINUE
C
C IDENTIFICACAO DAS EXTREMIDADES ROTULADAS: (1)-ENGASTE (0)-ROTULA
C
C VALOR INICIAL (1)-ENGASTE
C
  IAROT(1)=1
  IAROT(2)=1
C
70 CALL TELA
  WRITE(*,75)
75 FORMAT(6X,' FORNECA EXTREMIDADE ROTULADA (NUMERO NEGATIVO P/ TERM
  *NAR) ')
  WRITE(*,90)
  WRITE(*,80)
80 FORMAT(6X,' (1) - EXTREMIDADE ESQUERDA ')
  WRITE(*,90)
  WRITE(*,85)
85 FORMAT(6X,' (2) - EXTREMIDADE DIREITA ')
  WRITE(*,90)
  WRITE(*,88)
88 FORMAT(40X,' OPCAO ..... ')
  READ(5,*)I
  IF (I.LE.0) GO TO 69
  IF (I.GT.2) THEN
    WRITE(*,89)
    FORMAT(6X,' VALOR FORA LIMITE!!!')
    GO TO 70
  ELSE
    IAROT(I)=0
    GO TO 70
  END IF
90 FORMAT(6X,' ')
C
69 CONTINUE
C
C          CARREGAMENTO NAS BARRAS
C
NBC=1
135 CALL TELA
140 WRITE(*,145)
145 FORMAT('          *** CARGAS NAS BARRAS ***')
150 WRITE(*,151)
151 FORMAT(6X,' ')
  WRITE(*,155)
155 FORMAT(6X,' BARRA CARREGADA (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) ..... ')
  READ(5,*)NBAR

```

```

IF (NBAR.LE.0) GO TO 190
IF (NBAR.GT.NBARRA) THEN
    WRITE(*,157)
157    FORMAT(6X,' VALOR FORA LIMITE!!!')
    GO TO 150
END IF
WRITE(*,160)
160    FORMAT(6X,' CARGA DISTRIBUIDA .....> ')
    READ(5,*)CDIS
    WRITE(*,170)
170    FORMAT(6X,' CARGA CONCENTRADA .....> ')
    READ(5,*)CCON
    IBCAR(NBC)=NBAR
    BCAR(NBC,1)=CDIS
    BCAR(NBC,2)=CCON
    NBC=NBC+1
    GO TO 135
C
C          MOMENTOS PLASTICOS DAS BARRAS
C
190    CALL TELA
    WRITE(*,195)
195    FORMAT('          *** MOMENTOS PLASTICOS DAS BARRAS ***')
200    WRITE(*,201)
201    FORMAT(6X,' ')
C
    WRITE(*,235)
235    FORMAT(6X,' MOMENTO PLATICO: Mp .....> ')
    READ(5,*)ZMP
    DO 240 I=1,NBARRA
    PM(I)=ZMP
240    CONTINUE
C
C          POSICOES POSSIVEIS PARA FORMACAO DE ROTULAS PLASTICAS NAS BARRAS
C
C          PARA BARRAS CARREGADAS    ==> 3 PONTOS: 2 DE EXTREMIDADE
C                                          1 NO MEIO DO VAO
C
C          PARA BARRAS DESCARREGADAS ==> 2 PONTOS (EXTREMIDADES)
C
J=0
255    MEB(0)=0
    DO 400 I=1,NBARRA
280      J=J+1
        IF (J.GT.60) THEN
            K=2
            GO TO 300
        END IF
        IF (IBCAR(J).LT.1) THEN
            K=2
            GO TO 300
        END IF
        IF (IBCAR(J).EQ.1) THEN
            K=3

```



```

                                GO TO 300
                                END IF
                                GO TO 280
300    J=0
        MEB(I)=(MEB(I-1)+K)
400    CONTINUE
C
C                                *** IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS ***
C
401    CALL TELA
402    FORMAT(6X, ' ')
        WRITE(*,403)
403    FORMAT(6X, ' (1) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS NA TELA ')
        WRITE(*,402)
        WRITE(*,404)
404    FORMAT(6X, ' (2) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS NA IMPRESSORA ')
        WRITE(*,402)
        WRITE(*,405)
405    FORMAT(6X, ' (3) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS EM ARQUIVO ')
        WRITE(*,402)
        WRITE(*,406)
406    FORMAT(6X, ' (4) - CONTINUAR PROCESSAMENTO ')
        WRITE(*,402)
        WRITE(*,402)
        WRITE(*,407)
407    FORMAT(6X, '                                OPCAO ..... ')
        READ(5,*)OPCAO
        IF ((OPCAO.GT.4).OR.(OPCAO.LT.1)) GO TO 401
        IF (OPCAO.EQ.4) GO TO 408
        IF (OPCAO.EQ.1) THEN
            CALL VIGATEL(MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA
*NBC)
                ELSE IF (OPCAO.EQ.2) THEN
                    CALL VIGAIMP(MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA
*NBC)
                        ELSE
                            CALL VIGAARQ(MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA
*NBC,NOMARQ,ITEST2)
        END IF
        GO TO 401
C
408    CONTINUE
        CALL TELA
C
C                                **** GRAVACAO DOS DADOS INICIAIS ****
C
        N=MEB(NBARRA)*2 + 1
        M1=0
        M2=0
        IA=0
C
        WRITE(1,409)N
        WRITE(1,409)M1
        WRITE(1,409)M2

```



```

WRITE(1,409)IA
409  FORMAT(I4)
C
K=0
DO 1300 I=1,(N-1)
  K=I+1
  DO 1250 J=1,N
    IF (K.EQ.J) THEN
      WRITE(1,1245)1.
1245  FORMAT(F15.8)
      ELSE
      WRITE(1,1246)0.
1246  FORMAT(F15.8)
    END IF
1250  CONTINUE
1300  CONTINUE
C
C          ****  M E C A N I S M O  D E  V I G A  ****
C
WRITE(*,700)
700  FORMAT(6X,' ***MECANISMO DE VIGA')
DO 800 I=1,(NBC-1)
  TRAB=0.
  DO 750 J=0,MEB(NBARRA)
    EQMEC(J)=0.
750  CONTINUE
    IPMD=IBCAR(I)
C
C          TRABALHO REALIZADO PELA CARGA CONCENTRADA
C
TRAB=BCAR(I,2)*COMP(IBCAR(I))/2
C
C          TRABALHO REALIZADO PELA CARGA DISTRIBUIDA
C
TRAB=TRAB+BCAR(I,1)*(COMP(IBCAR(I)))**2/4
C
C          GERACAO DA EQUACAO
C
EQMEC(0)=TRAB
EQMEC(MEB(IPMD))=-1.
EQMEC(MEB(IBCAR(I))-1)=2.
EQMEC(MEB(IBCAR(I))-2)=-1.
C
C          GRAVACAO DOS DADOS EM ARQUIVO
C
WRITE(*,755)
755  FORMAT(6X,' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO DE VIGA')
  NERM=NERM+1
  WRITE(1,757)EQMEC(0)
757  FORMAT(F15.8)
  DO 790 J=1,MEB(NBARRA)
    WRITE(1,780)-EQMEC(J)
    WRITE(1,780)EQMEC(J)
780  FORMAT(F15.8)
790  CONTINUE

```

```

C
800  CONTINUE
900  CONTINUE
C
C      **** V E T O R   B ****
C
WRITE(*,1340)
1340  FORMAT(6X,' ***VETOR B')
C
IF (IAROT(1).EQ.0) THEN
WRITE(1,1405)0.
WRITE(1,1405)0.
1405  FORMAT(F6.2)
ELSE
WRITE(1,1407)PM(1)
WRITE(1,1407)PM(1)
1407  FORMAT(F6.2)
END IF
C
DO 1460 J=2,(MEB(NBARRA)-1)
WRITE(1,1450)PM(1)
WRITE(1,1450)PM(1)
1450  FORMAT(F6.2)
1460  CONTINUE
C
IF (IAROT(2).EQ.0) THEN
WRITE(1,1470)0.
WRITE(1,1470)0.
1470  FORMAT(F6.2)
ELSE
WRITE(1,1475)PM(1)
WRITE(1,1475)PM(1)
1475  FORMAT(F6.2)
END IF
C
DO 1350 I=1,NERM
WRITE(1,1345)0.
1345  FORMAT(F6.2)
1350  CONTINUE
C
C      **** V E T O R   C ****
C
WRITE(*,1550)
1550  FORMAT(6X,' ***VETOR C')
WRITE(1,1600)1.
1600  FORMAT(F6.2)
DO 1705 I=1,(N-1)
WRITE(1,1650)0.
1650  FORMAT(F6.2)
1705  CONTINUE
C
C
M1=(MEB(NBARRA)*2)
M2=NERM
IA=M1+M2+2

```





```

CALL TELA
WRITE(*,125)
125  FORMAT(10X,'RESTRICAO DOS APOIOS')
WRITE(*,130)
130  FORMAT(6X,' ')
      IF (IAROT(1).EQ.1) THEN
            WRITE(*,135)
135      FORMAT(10X,'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ENGASTADA')
            ELSE
            WRITE(*,140)
140      FORMAT(10X,'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ROTULADA')
      END IF
      IF (IAROT(2).EQ.1) THEN
            WRITE(*,145)
145      FORMAT(10X,'EXTREMIDADE DIREITA ..... ENGASTADA')
            ELSE
            WRITE(*,150)
150      FORMAT(10X,'EXTREMIDADE DIREITA ..... ROTULADA')
      END IF
C
      WRITE(*,151)
151  FORMAT(' ')
      WRITE(*,152)
152  FORMAT('          DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
      PAUSE
      CALL TELA
C
      IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
      WRITE(*,215)
215  FORMAT(10X,'CARGA NAS BARRAS')
      WRITE(*,220)
220  FORMAT(6X,' ')
      WRITE(*,223)
223  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA
*)
      DO 230 I=1,(NBC-1)
            WRITE(*,225)IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225      FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230  CONTINUE
C
300  CONTINUE
C
      WRITE(*,301)
301  FORMAT(' ')
      WRITE(*,302)
302  FORMAT('          DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
      PAUSE
      CALL TELA
      WRITE(*,315)
315  FORMAT(10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
      WRITE(*,320)
320  FORMAT(6X,' ')
      MEB(0)=0
      WRITE(*,323)
323  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'MOMENTO PLASTICO')

```

```

DO 330 I=1,NBARRA
  MEBI(I)=MEB(I-1)+1
  WRITE(*,325)I,MEBI(I),MEB(I),PM(I)
325   FORMAT(16X,I2,9X,I3,' a ',I3,12X,F7.2)
330  CONTINUE
C
  WRITE(*,400)
400  FORMAT(6X,' ')
  WRITE(*,410)
410  FORMAT('          DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
  PAUSE
C
  RETURN
  END
C
C
C
SUBROUTINE VIGAIMP(MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA,NBC)
C
  IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
  IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
  INTEGER*4 NAPOIO,NBARRA,NBC
  INTEGER*4 MEB(15),MEBI(15)
  INTEGER*4 IBCAR(5)
  INTEGER*4 IAROT(2)
  REAL*8 VAO(5)
  REAL*8 BCAR(5,2)
  REAL*8 PM(5)
  CHARACTER DIREITA*12,ESQUERDA*12
  CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
C
  ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
  ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
  CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
  CALL TELA
  WRITE(*,10)
10  FORMAT(7X,' A G U A R D E I M P R E S S A O D A D O S I N I C
  * I A I S')
C
  WRITE(3,15)
15  FORMAT(10X,'* * * * * UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS * *
  * * * *')
  WRITE(3,25)
  WRITE(3,17) CURSO
17  FORMAT(10X,'CURSO      = ',A40)
  WRITE(3,18) ALUNO
18  FORMAT(10X,'ALUNO      = ',A20)
  WRITE(3,19) ORIENT
19  FORMAT(10X,'ORIENTADOR = ',A30)
  WRITE(3,25)
  WRITE(3,20)
20  FORMAT(13X,'*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
  WRITE(3,25)
  WRITE(3,25)

```



```

25  FORMAT(6X, '      ')
C
C  IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS
C
WRITE(3,50)
50  FORMAT(23X, '**** V I G A ****')
C
WRITE(3,60)NAPDIO
60  FORMAT(/,10X, 'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ',I4)
WRITE(3,63)
63  FORMAT(6X, '      ')
DO 70 I=1,NAPDIO-1
WRITE(3,65)I,VAO(I)
65  FORMAT(10X, 'VAO ',I2, ' ..... ',F7.2)
70  CONTINUE
C
WRITE(3,125)
125 FORMAT(/,10X, 'RESTRICAO DOS APOIOS')
WRITE(3,130)
130 FORMAT(6X, '      ')
IF (IAROT(1).EQ.1) THEN
WRITE(3,135)
135 FORMAT(10X, 'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ENGASTADA')
ELSE
WRITE(3,140)
140 FORMAT(10X, 'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ROTULADA')
END IF
IF (IAROT(2).EQ.1) THEN
WRITE(3,145)
145 FORMAT(10X, 'EXTREMIDADE DIREITA ..... ENGASTADA')
ELSE
WRITE(3,150)
150 FORMAT(10X, 'EXTREMIDADE DIREITA ..... ROTULADA')
END IF
C
IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
WRITE(3,215)
215 FORMAT(/,10X, 'CARGA NAS BARRAS')
WRITE(3,220)
220 FORMAT(6X, '      ')
WRITE(3,223)
223 FORMAT(15X, 'BARRA',10X, 'CARGA DISTRIBUIDA',10X, 'CARGA CONCENTRADA
*)
DO 230 I=1,(NBC-1)
WRITE(3,225)IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225 FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230 CONTINUE
C
300 CONTINUE
C
WRITE(3,315)
315 FORMAT(/,10X, 'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
WRITE(3,320)
320 FORMAT(6X, '      ')
MEB(0)=0

```



```

WRITE(3,323)
323 FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'MOMENTO PLASTICO')
DO 330 I=1,NBARRA
    MEBI(I)=MEB(I-1)+1
    WRITE(3,325)I,MEBI(I),MEB(I),PM(I)
325 FORMAT(16X,I2,9X,I3,' a ',I3,12X,F7.2)
330 CONTINUE
C
    RETURN
    END
C
C
C
    SUBROUTINE VIGAARQ(MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA,NBC,
*OMSAI,ITEST2)
C
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
    IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
    INTEGER*4 NAPOIO,NBARRA,NBC
    INTEGER*4 MEB(15),MEBI(15)
    INTEGER*4 IBCAR(5)
    INTEGER*4 IAROT(2)
    REAL*8 VAO(5)
    REAL*8 BCAR(5,2)
    REAL*8 PM(5)
    CHARACTER DIREITA*12,ESQUERDA*12
    CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
    CHARACTER NOMSAI*12
C
    ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
    ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
    CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
    ITEST2=1
C
    CALL TELA
C
    WRITE(*,5)
5 FORMAT(6X,' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DOS DADOS .....> ')
    READ(5,6)NOMSAI
6 FORMAT(A12)
C
    OPEN(2,FILE =NOMSAI)
C
    WRITE(2,15)
15 FORMAT('          * * * * *      UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS *
* * * * *')
    WRITE(2,25)
    WRITE(2,17) CURSO
17 FORMAT(6X,'CURSO      = ',A40)
    WRITE(2,18) ALUNO
18 FORMAT(6X,'ALUNO      = ',A20)
    WRITE(2,19) ORIENT
19 FORMAT(6X,'ORIENTADOR = ',A30)
    WRITE(2,25)

```

```

WRITE(2,20)
20  FORMAT(10X,'*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
WRITE(2,25)
WRITE(2,25)
25  FORMAT(6X,' ')
C
C  IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS EM ARQUIVO
C
WRITE(2,50)
50  FORMAT(23X,'**** V I G A ****')
C
WRITE(2,60)NAPOID
60  FORMAT(/,10X,'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ',I4)
WRITE(2,63)
63  FORMAT(6X,' ')
DO 70 I=1,NAPOID-1
    WRITE(2,65)I,VAO(I)
65  FORMAT(10X,'VAO ',I2,' ..... ',F7.2)
70  CONTINUE
C
WRITE(2,125)
125 FORMAT(/,10X,'RESTRICAO DOS APOIOS')
WRITE(2,130)
130 FORMAT(6X,' ')
    IF (IAROT(1).EQ.1) THEN
        WRITE(2,135)
135  FORMAT(10X,'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ENGASTADA')
        ELSE
            WRITE(2,140)
140  FORMAT(10X,'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ROTULADA')
    END IF
    IF (IAROT(2).EQ.1) THEN
        WRITE(2,145)
145  FORMAT(10X,'EXTREMIDADE DIREITA ..... ENGASTADA')
        ELSE
            WRITE(2,150)
150  FORMAT(10X,'EXTREMIDADE DIREITA ..... ROTULADA')
    END IF
C
    IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
    WRITE(2,215)
215  FORMAT(/,10X,'CARGA NAS BARRAS')
    WRITE(2,220)
220  FORMAT(6X,' ')
    WRITE(2,223)
223  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA
*)
    DO 230 I=1,(NBC-1)
        WRITE(2,225)IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225  FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230  CONTINUE
C
300  CONTINUE
C
WRITE(2,315)

```



```

315  FORMAT(/,10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
      WRITE(2,320)
320  FORMAT(6X,' ')
      MEB(0)=0
      WRITE(2,323)
323  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'MOMENTO PLASTICO')
      DO 330 I=1,NBARRA
          MEB(I)=MEB(I-1)+1
          WRITE(2,325)I,MEBI(I),MEB(I),PM(I)
325  FORMAT(16X,I2,9X,I3,' a ',I3,12X,F7.2)
330  CONTINUE
      WRITE(2,400)
      WRITE(2,400)
400  FORMAT(6X,' ')
C
      RETURN
      END
C
C
C
      SUBROUTINE LEARG(N,M1,M2,IA,A,B,C,NL,NOMEAR,ITESTE)
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
      REAL*8 A(100,90),B(100),C(90)
      CHARACTER NOMEAR*12
C
      CALL TELA
C
      IF (ITESTE.EQ.1) GO TO 7
C
      WRITE(*,5)
5  FORMAT(6X,' NOME DO ARQUIVO DE DADOS PARA LEITURA .....> ')
      READ(5,6)NOMEAR
6  FORMAT(A12)
C
7  OPEN(1,FILE =NOMEAR,FORM='FORMATTED',ACCESS='SEQUENTIAL')
C
      WRITE(*,10)
10 FORMAT(6X,' *** LENDO ( N ) ')
      READ(1,45)N
C
      WRITE(*,20)
20 FORMAT(6X,' *** LENDO (M1) ')
      READ(1,45)M1
C
      WRITE(*,30)
30 FORMAT(6X,' *** LENDO (M2) ')
      READ(1,45)M2
C
      WRITE(*,40)
40 FORMAT(6X,' *** LENDO (IA) ')
      READ(1,45)IA
45  FORMAT(I4)
C

```



```

NL = M1 + M2 + 2
C
CALL LEMARQ(A,B,C,NL,N,M1,M2)
C
CLOSE(1)
RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE LEMARQ(A,B,C,NL,N,M1,M2)
C
INTEGER*4 NL,N,M1,M2
REAL*8 A(NL,N),B(NL),C(N)
C
CALL TELA
WRITE(*,50)
50 FORMAT(6X,' *** LENDO MATRIZ [A] ' )
DO 70, I=1,M1+M2
DO 60, J=1,N
READ(1,55)A(I,J)
55 FORMAT(F15.8)
60 CONTINUE
70 CONTINUE
C
WRITE(*,80)
80 FORMAT(6X,' *** LENDO VECTOR [B] ' )
DO 100, I=1,M1+M2
READ(1,85)B(I)
85 FORMAT(F6.2)
100 CONTINUE
C
WRITE(*,110)
110 FORMAT(6X,' *** LENDO VECTOR [C] ' )
DO 130, I=1,N
READ(1,*)C(I)
115 FORMAT(F6.2)
130 CONTINUE
C
RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE SAITELA( IER,S,PSOL,DSOL,M1,M2,N,NL)
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
REAL*8 PSOL(N),DSOL(NL)
C
CALL TELA
C
WRITE(*,140)IER
140 FORMAT(6X,' INDICADOR DE ERRO (IER) = ',I5)
C

```

```

WRITE(*,150)S
150 FORMAT(6X,' VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S)   = ',F7.2)
C
WRITE(*,155)
155 FORMAT(6X,' PRIMAL SOLUTION (PSOL) = ' )
DO 165 I=2,(N-1),2
WRITE(*,160)I/2,PSOL(I),I/2,PSOL(I+1),I/2,(PSOL(I)-PSOL(I+1))
160 FORMAT(7X,'M',I2,'p = ',F7.2,4X,'M',I2,'m = ',F7.2,4X,'M',I2,'=
* ',F7.2)
165 CONTINUE
C
WRITE(*,400)
400 FORMAT(6X,' ')
WRITE(*,410)
410 FORMAT('                               DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
PAUSE
C
RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE SAIIMP(IER,S,PSOL,DSOL,M1,M2,N,NL)
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
REAL*8 PSOL(N),DSOL(NL)
CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
C
ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
CALL TELA
WRITE(*,10)
10 FORMAT(13X,' A G U A R D E   I M P R E S S A O   R E S U L T A D O ' )
C
WRITE(3,15)
15 FORMAT(10X,'* * * * *   UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
* * * * *')
WRITE(3,25)
WRITE(3,17) CURSO
17 FORMAT(10X,'CURSO           : ',A40)
WRITE(3,18) ALUNO
18 FORMAT(10X,'ALUNO           : ',A20)
WRITE(3,19) ORIENT
19 FORMAT(10X,'ORIENTADOR: ',A30)
WRITE(3,25)
WRITE(3,20)
20 FORMAT(13X,'*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
WRITE(3,25)
WRITE(3,25)
25 FORMAT(6X,' ')
C
WRITE(3,540)IER

```



```

540 FORMAT(//, '          INDICADOR DE ERRO (IER)          = ', I5)
C
WRITE(3,550)S
550 FORMAT('          VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S)          = ', F7.2)
C
WRITE(3,555)
555 FORMAT('          PRIMAL SOLUTION (PSOL) : ' )
DO 565 I=2, (N-1), 2
WRITE(3,560)I/2, PSOL(I), I/2, PSOL(I+1), I/2, (PSOL(I)-PSOL(I+1))
560 FORMAT(6X, 'M', I2, 'p = ', F7.2, 4X, 'M', I2, 'm = ', F7.2, 4X, 'M', I2, '=
* ', F7.2)
565 CONTINUE
C
RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE SAIARQ(IER, S, PSOL, DSOL, M1, M2, N, NL, NOMSAI, ITEST2)
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
REAL*8 PSOL(N), DSOL(NL)
CHARACTER NOMSAI*12
CHARACTER CURSO*40, ALUNO*20, ORIENT*30
C
ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
CALL TELA
C
IF (ITEST2.EQ.0) THEN
WRITE(*,5)
5  FORMAT(6X, ' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DOS RESULTADOS ... )
* )
READ(5,6)NOMSAI
6  FORMAT(A12)
OPEN(2,FILE =NOMSAI)
ELSE
GO TO 500
END IF
C
WRITE(*,10)
WRITE(*,10)
10  FORMAT(6X, ' ')
C
WRITE(2,15)
15  FORMAT('          * * * *          UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
* * * *')
WRITE(2,25)
WRITE(2,17) CURSO
17  FORMAT(6X, 'CURSO          : ', A40)
WRITE(2,18) ALUNO
18  FORMAT(6X, 'ALUNO          : ', A20)

```



```

WRITE(2,19) ORIENT
19  FORMAT(6X,'ORIENTADOR: ',A30)
WRITE(2,25)
WRITE(2,20)
20  FORMAT(10X,'*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
WRITE(2,25)
WRITE(2,25)
25  FORMAT(6X,' ')
C
500 WRITE(2,540) IER
540 FORMAT(6X,' INDICADOR DE ERRO (IER) = ',I5)
C
WRITE(2,550) S
550 FORMAT(6X,' VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S) = ',F7.2)
C
WRITE(2,555)
555 FORMAT(6X,' PRIMAL SOLUTION (PSOL) = ' )
DO 565 I=2,(N-1),2
WRITE(2,560) I/2,PSOL(I),I/2,PSOL(I+1),I/2,(PSOL(I)-PSOL(I+1))
560 FORMAT(7X,'M',I2,'p = ',F7.2,4X,'M',I2,'m = ',F7.2,4X,'M',I2,'=
* ',F7.2)
565 CONTINUE
C
CLOSE (2)
RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE TELA
C
INTEGER*2 MODE
CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
C
ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
MODE=2
CALL @SMODE(MODE)
C
WRITE(*,15)
15  FORMAT(' * * * * * UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
* * * * *')
CALL @CMOV(1,22)
WRITE(*,17) CURSO
17  FORMAT(6X,'CURSO : ',A40)
CALL @CMOV(1,20)
WRITE(*,18) ALUNO
18  FORMAT(6X,'ALUNO : ',A20)
CALL @CMOV(1,18)
WRITE(*,19) ORIENT
19  FORMAT(6X,'ORIENTADOR: ',A30)
CALL @CMOV(1,16)
WRITE(*,20)

```

```
20  FORMAT(10X, '*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
    WRITE(*,25)
    WRITE(*,25)
25  FORMAT(6X, '      ')
    RETURN
    END
```

11. ANEXO III

---

LISTAGEM DO PROGRAMA REFERENTE AO CÁLCULO DO PESO MÍNIMO



```

PROGRAM PROGMINI
C
C   CURSO           #MESTRADO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
C   ALUNO           #PAULO EUSTAQUIO RASO
C   ORIENTADOR     #JOSE RICARDO QUEIROZ FRANCO
C   DATA          #08/05/91
C
C   IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C   IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
C   REAL*8 A(100,90),B(100),C(90),RW(10708),IW(304),PSOL(90),DSOL(102)
C   CHARACTER NOMEAR*12,NOMSAI*12
C
C   OPEN(3,FILE ='LPT1')
C
C   3 CALL TELA
C
C   ITESTE=0
C   ITEST2=0
C
C   WRITE(*,4)
C   4 FORMAT(' (1) - CRIAR ARQUIVO DE DADOS ')
C   WRITE(*,5)
C   5 FORMAT(' (2) - AUTOMATIZACAO DA ENTRADA DE DADOS #PORTICOS ')
C   WRITE(*,6)
C   6 FORMAT(' (3) - AUTOMATIZACAO DA ENTRADA DE DADOS #VIGAS ')
C   WRITE(*,7)
C   7 FORMAT(' (4) - LER ARQUIVO DE DADOS ')
C   WRITE(*,8)
C   8 FORMAT(' (5) - F I M ')
C   WRITE(*,9)
C   9 FORMAT(40X,' OPCAO .....> ')
C   READ(5,*)IE
C   IF ((IE.LT.1).OR.(IE.GT.5)) GO TO 3
C
C   IF (IE.EQ.5) GO TO 100
C
C   IF (IE.EQ.1) CALL GERAMINI(NOMEAR,ITESTE,MAT)
C
C   IF (IE.EQ.2) CALL AUTOMINI(NOMEAR,ITESTE,NOMSAI,ITEST2,MAT)
C
C   IF (IE.EQ.3) CALL VIGAMINI(NOMEAR,ITESTE,NOMSAI,ITEST2,MAT)
C
C   CALL LEARQ(N,M1,M2,IA,A,B,C,NL,NOMEAR,ITESTE)
C
C   CALL TELA
C   WRITE(*,35)
C   35 FORMAT(9X,' A G U A R D E   S O L U C A O   D O   P R O B L E M A ')
C
C   CALL ZX3LP(A,IA,B,C,N,M1,M2,S,PSOL,DSOL,RW,IW,IER)
C
C   50 CALL TELA
C
C   WRITE(*,55)
C   55 FORMAT(' (1) - SAIDA VIDEIO ')
C   WRITE(*,56)

```

```

56  FORMAT( ' (2) - SAIDA EM DISCO ' )
    WRITE(*,57)
57  FORMAT( ' (3) - SAIDA NA IMPRESSORA ' )
    WRITE(*,58)
58  FORMAT( ' (4) - REINICIO' )
    WRITE(*,59)
59  FORMAT( ' (5) - FINALIZACAO' )
    WRITE(*,65)
65  FORMAT(40X, ' OPCAO ..... ' )
    READ(5,*)JS
    IF ((JS.LT.1).OR.(JS.GT.5)) GO TO 50
    IF (JS.EQ.5) GO TO 100
    IF (JS.EQ.4) GO TO 3
    IF (JS.EQ.1) THEN
        CALL SAITELA( IER, S, PSOL, DSOL, M1, M2, N, NL, MAT )
    ELSE IF (JS.EQ.3) THEN
        CALL SAIIMP( IER, S, PSOL, DSOL, M1, M2, N, NL, MAT )
    ELSE
        CALL SAIARQ( IER, S, PSOL, DSOL, M1, M2, N, NL, MAT, NOMSA
*, ITEST2)
    END IF
    GO TO 50
C
C  ROTINA DE FINALIZACAO
C
100  CLOSE (3)
    CALL QSMODE(2)
    END
C
C          ****  SUBROTINAS  ****
C
C  SUBROUTINE GERAMINI( NOMEAR, ITESTE, MAT )
C
C  IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C  IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
C  REAL*8 A(100,90), B(100), C(90), IBETA(15,100)
C  CHARACTER NOMEAR*12
C
C  CALL TELA
C
C  ITESTE=1
C
C  WRITE(*,5)
5  FORMAT( ' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DADOS INICIAIS ..... ' )
    READ(5,6) NOMEAR
6  FORMAT(A12)
C
C  OPEN(1, FILE = NOMEAR)
C
C  WRITE(*,7)
C  WRITE(*,7)
7  FORMAT( '      ' )
C
C  WRITE(*,10)

```



```

10 FORMAT(' FORNECA QUANTIDADE DE VARIAVEIS DO MODELO ( N) ...> ')
   READ(5,*)N
C
   WRITE(*,20)
20 FORMAT(' FORNECA QUANTIDADE DE INEQUACOES (M1) .....> ')
   READ(5,*)M1
C
   WRITE(*,30)
30 FORMAT(' FORNECA QUANTIDADE DE EQUACOES (M2) .....> ')
   READ(5,*)M2
C
   WRITE(*,40)
40 FORMAT(' FORNECA QUANTIDADE DE MATERIAIS DIFERENTES .....> ')
   READ(5,*)MAT
C
   IA=M1+M2+2
C
   DO 54 I=1,MAT
     CALL TELA
47     WRITE(*,48)I
48     FORMAT(' FORNECA OS PONTOS ASSOCIADOS A BETA ',I2)
     WRITE(*,50)
50     FORMAT(' DIGITE PONTO NEGATIVO PARA TERMINAR !!!')
     READ(5,*)IPONTO
     IF (IPONTO.LE.0) GO TO 54
     NPOS=2*IPONTO+MAT
     IBETA(I,NPOS)=NPOS
     IBETA(I,(NPOS-1))=NPOS-1
     WRITE(*,53)
53     FORMAT(' ')
     GO TO 47
54   CONTINUE
C
   DO 100 I=1,M2
     CALL TELA
     WRITE(*,55)I
55     FORMAT(' FORNECA COEFICIENTES DA EQUACAO ',I2,' : ')
     WRITE(*,56)
56     FORMAT(' ')
     DO 58 J=1,MAT
       WRITE(*,57)J
57       FORMAT(' BETA ',I2,' = ')
       READ(5,*)A(I,J)
58     CONTINUE
C
     DO 90 J=1,(N-MAT)/2
       WRITE(*,60)J
60       FORMAT(' M ',I2,' p ',J,' = ')
       READ(5,*)A(I,MAT+J)
90     CONTINUE
100   CONTINUE
C
C   GRAVACAO DOS DADOS EM ARQUIVO
C
   WRITE(1,130)N

```



```

WRITE(1,130)M1
WRITE(1,130)M2
WRITE(1,130)IA
130  FORMAT(I4)
C
C  MATRIZ A
C
C
DO 300 J=1,MAT
  DO 250 I=1,N
    IF (IBETA(J,I).GT.0) THEN
      DO 240 II=1,N
        IF (J.EQ.II) THEN
          WRITE(1,210)-1.
          210  FORMAT(F15.8)
          ELSE IF (I.EQ.II) THEN
            WRITE(1,215)1.
            215  FORMAT(F15.8)
            ELSE
              WRITE(1,220)0.
              220  FORMAT(F15.8)
            END IF
          240  CONTINUE
        END IF
      250  CONTINUE
    300  CONTINUE
C
DO 200 I=1,M2
  DO 138 J=1,MAT
    WRITE(1,135)-A(I,J)
    135  FORMAT(F15.8)
    138  CONTINUE
C
DO 150 J=1,(N-MAT)/2
  WRITE(1,140)A(I,J+MAT)
  WRITE(1,140)-A(I,J+MAT)
  140  FORMAT(F15.8)
  150  CONTINUE
200  CONTINUE
C
C          ***  V E T O R  B  ***
C
C  CALL TELA
C
WRITE (*,305)
305  FORMAT('          ***  V E T O R  B  ***')
WRITE(*,306)
WRITE(*,306)
306  FORMAT('          ')
C
DO 310 I=1,M2
  WRITE(*,308)I
  308  FORMAT(' B(',I2,') ')
  READ(5,*)B(I)
  310  CONTINUE

```

```

C
    DO 400 I=1,M1
        WRITE(1,350)0.
350    FORMAT(F10.3)
400    CONTINUE
C
    DO 330 I=1,M2
        WRITE(1,320)-B(I)
320    FORMAT(F10.3)
330    CONTINUE
C
C                                     *** VETOR C ***
C
    CALL TELA
C
    WRITE(*,405)
405    FORMAT('                                     *** COEFICIENTES DA FUNCAO OBJETIVO *** ')
    WRITE(*,406)
    WRITE(*,406)
406    FORMAT(' ')
C
    DO 420 I=1,MAT
        WRITE(*,410)I
410    FORMAT(' FORNECA BETA ',I2,' ..... ')
        READ(5,*)C(I)
420    CONTINUE
C
    DO 430 I=(MAT+1),N
        C(I)=0.
430    CONTINUE
C
    DO 500 I=1,N
        WRITE(1,460)-C(I)
460    FORMAT(F6.2)
500    CONTINUE
C
    CLOSE(1)
    RETURN
    END
C
C
C
C
SUBROUTINE AUTOMINI(NOMEAR,ITESTE,NOMSAI,ITEST2,MAT)
C
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
    IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
    INTEGER*4 MEB(90),IMAT(90)
    INTEGER*4 ICM(5),ISUP(5)
    INTEGER*4 IBCAR(60)
    INTEGER*4 IC1(5,10),IV1(4,10),IVET(4),IPONTO(4)
    REAL*8 VAO(5),ALT(10)
    REAL*8 B(360),C(360)
    REAL*8 CND(20,2),BCAR(60,2)
    REAL*8 PM(90),COMP(90)
    REAL*8 EQMEC(360)

```

```

CHARACTER NOMEAR*12,NOMSAI*12
C
  ITESTE=1
  ITEST2=0
  NERM=0
C
  CALL TELA
  WRITE(*,2)
  2  FORMAT(' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DADOS INICIAIS.....> ')
  READ(*,4)NOMEAR
  4  FORMAT(A12)
C
  OPEN(1,FILE=NOMEAR)
C
  C
  C          QUANTIDADE DE APOIOS E DISTANCIA ENTRE ELES
C
  5  CALL TELA
  WRITE(*,7)
  7  FORMAT(' FORNECER QUANTIDADE DE APOIOS (max 5) .....> ')
  READ(5,*)NAPPIO
  IF ((NAPPIO.LT.2).OR.(NAPPIO.GT.5)) GO TO 5
C
  10 WRITE(*,15)
  15 FORMAT(' DISTANCIA ENTRE APOIOS (1)-VAO TIPICO      (2)-VAOS DIF. ')
  READ(5,*)JS
  IF ((JS.LT.1).OR.(JS.GT.2)) GO TO 10
C
  VTOTAL=0.
  IF(JS.EQ.1) THEN
    WRITE(*,16)
    16  FORMAT(' DIST. ENTRE APOIO .....> ')
    READ(5,*)VAOTI
    DO 20 I=1,(NAPPIO-1)
      VAO(I)=VAOTI
      VTOTAL=VTOTAL+VAO(I)
    20  CONTINUE
    ELSE
      DO 25 I=1,(NAPPIO-1)
        WRITE(*,21)I
        21  FORMAT(' FORNECA VAO ',I1,' .....> ')
        READ(5,*)VAO(I)
        VTOTAL=VTOTAL+VAO(I)
      25  CONTINUE
  END IF
C
  C
  C          QUANTIDADE DE ANDARES E DISTANCIA ENTRE ELES
C
  33 CALL TELA
  WRITE(*,35)
  35  FORMAT(' FORNECER QUANTIDADE DE ANDARES (max 10) .....> ')
  READ(5,*)NANDAR
  IF ((NANDAR.LT.1).OR.(NANDAR.GT.10)) GO TO 33
C
  HTOTAL=0.
C

```



```

40 WRITE(*,45)
45 FORMAT(' DISTANCIA ENTRE ANDARES (1)-ALT. TIPICA (2)-ALT. DIF.
READ(5,*)JS
IF ((JS.LT.1).OR.(JS.GT.2)) GO TO 40
C
IF(JS.EQ.1) THEN
WRITE(*,46)
46 FORMAT(' DIST. ENTRE ANDARES .....> ')
READ(5,*)ALTURA
DO 50 I=1,NANDAR
ALT(I)=ALTURA
HTOTAL=HTOTAL+ALT(I)
50 CONTINUE
ELSE
DO 53 I=1,NANDAR
WRITE(*,51)I
51 FORMAT(' FORNECA ALTURA ',I2,' .....> ')
READ(5,*)ALT(I)
HTOTAL=HTOTAL+ALT(I)
53 CONTINUE
END IF
C
C          CALCULO DA QUANTIDADE DE BARRAS E NOS DO PORTICO
C
55 NBARRA=2*NANDAR*NAPOID-NANDAR
C
NNOS=(NANDAR+1)*NAPOID
C
C          CALCULO DO COMPRIMENTO DAS BARRAS
C
K=0
DO 57 I=1,NAPOID
DO 56 J=1,NANDAR
K=K+1
COMP(K)=ALT(J)
56 CONTINUE
57 CONTINUE
DO 59 I=1,NANDAR
DO 58 J=1,(NAPOID-1)
K=K+1
COMP(K)=VAO(J)
58 CONTINUE
59 CONTINUE
C
C          RELACAO DAS COLUNAS LIGADAS AOS APOIOS
C
ISUP(1)=1
DO 70 I=2,NAPOID
ISUP(I)=ISUP(I-1)+NANDAR
70 CONTINUE
C
C          CARREGAMENTO
C
C          1. CARREGAMENTO NODAL
CALL TELA

```

```

      NNC=1
    90  WRITE(*,95)
    95  FORMAT('          *** CARREGAMENTO NODAL (max 20 nos) ***')
   100  WRITE(*,105)
   105  FORMAT('          ')
      WRITE(*,110)
   110  FORMAT(' NO CARREGADO (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) .....')
      READ(5,*)NNO
      IF (NNO.LE.0) GO TO 130
      IF (NNO.GT.NNOS) THEN
   114          WRITE(*,114)
              FORMAT(' VALOR FORA LIMITE!!!')
              GO TO 100
      END IF
      WRITE(*,120)
   120  FORMAT(' FORCA X .....')
      READ(5,*)CNNO
      CNO(NNC,1)=NNO
      CNO(NNC,2)=CNNO
      NNC=NNC+1
      GO TO 100
   130  CONTINUE
C
C          2. CARGA NAS BARRAS
C
      NBC=1
   135  CALL TELA
   140  WRITE(*,145)
   145  FORMAT('          *** CARGAS NAS BARRAS (max 60 barras) ***')
   150  WRITE(*,151)
   151  FORMAT('          ')
      WRITE(*,155)
   155  FORMAT(' BARRA CARREGADA (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) .....')
      READ(5,*)NBAR
      IF (NBAR.LE.0) GO TO 190
      IF (NBAR.GT.NBARRA) THEN
   157          WRITE(*,157)
              FORMAT(' VALOR FORA LIMITE!!!')
              GO TO 150
      END IF
      WRITE(*,160)
   160  FORMAT(' CARGA DISTRIBUIDA .....')
      READ(5,*)CDIS
      WRITE(*,170)
   170  FORMAT(' CARGA CONCENTRADA .....')
      READ(5,*)CCON
      IBCAR(NBC)=NBAR
      BCAR(NBC,1)=CDIS
      BCAR(NBC,2)=CCON
      NBC=NBC+1
      GO TO 135
C
C          MATERIAIS ASSOCIADOS AS BARRAS
C
   190  CALL TELA

```



```

WRITE(*,195)
195 FORMAT('          *** MATERIAIS ASSOCIADOS AS BARRAS ***')
200 WRITE(*,201)
201 FORMAT('          ')
WRITE(*,210)
210 FORMAT(' BARRA INICIAL (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) .....> ')
READ(5,*)NBAR
IF (NBAR.LE.0) GO TO 250
IF (NBAR.GT.NBARRA) THEN
WRITE(*,215)
215 FORMAT(' VALOR FORA LIMITE!!!')
GO TO 200
END IF
219 WRITE(*,220)
220 FORMAT(' BARRA FINAL .....> ')
READ(5,*)NBARF
IF (NBARF.GT.NBARRA) THEN
WRITE(*,225)
225 FORMAT(' VALOR FORA DO LIMITE!!!')
GO TO 219
END IF
WRITE(*,230)
230 FORMAT(' INCREMENTO .....> ')
READ(5,*)INC
WRITE(*,235)
235 FORMAT(' NUMERO DO TIPO DO MATERIAL .....> ')
READ(5,*)MAT
DO 240 I=NBAR,NBARF,INC
IMAT(I)=MAT
240 CONTINUE
GO TO 200
C
250 CONTINUE
C
C CALCULO DA QUANTIDADE DE MATERIAIS DIFERENTES
C
MAIOR=IMAT(1)
DO 252 I=2,NBARRA
IF (IMAT(I).GT.MAIOR) THEN
MAIOR=IMAT(I)
END IF
252 CONTINUE
MAT=MAIOR
C
C FAZER TODOS OS MOMENTOS PLASTICOS IGUAIS PARA MONTAGEM DAS
C EQUACOES DE EQUILIBRIO.
C
DO 253 I=1,NBARRA
PM(I)=1.
253 CONTINUE
C
CALL TELA
C
C POSICOES POSSIVEIS PARA FORMACAO DE ROTULAS PLASTICAS NAS BARRAS
C

```



```

C      PARA BARRAS CARREGADAS      ==> 3 PONTOS: 2 DE EXTREMIDADE
C                                          1 NO MEIO DO VAO
C
C      PARA BARRAS DESCARREGADAS ==> 2 PONTOS (EXTREMIDADES)
C
      J=0
255  MEB(0)=0
      DO 400 I=1,NBARRA
280    J=J+1
      IF (J.GT.60) THEN
              K=2
              GO TO 300
      END IF
      IF (IBCAR(J).LT.1) THEN
              K=2
              GO TO 300
      END IF
      IF (IBCAR(J).EQ.I) THEN
              K=3
              GO TO 300
      END IF
      GO TO 280
300    J=0
      MEB(I)=(MEB(I-1)+K)
400  CONTINUE
C
C          *** IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS ***
C
401  CALL TELA
402  FORMAT(' ')
      WRITE(*,403)
403  FORMAT(' (1) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS NA TELA')
      WRITE(*,402)
      WRITE(*,404)
404  FORMAT(' (2) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS NA IMPRESSORA')
      WRITE(*,402)
      WRITE(*,405)
405  FORMAT(' (3) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS EM ARQUIVO')
      WRITE(*,402)
      WRITE(*,406)
406  FORMAT(' (4) - CONTINUAR PROCESSAMENTO')
      WRITE(*,402)
      WRITE(*,402)
      WRITE(*,407)
407  FORMAT('                                OPCAO .....> ')
      READ(5,*)OPCAO
      IF ((OPCAO.GT.4).OR.(OPCAO.LT.1)) GO TO 401
      IF (OPCAO.EQ.4) GO TO 408
      IF (OPCAO.EQ.1) THEN
              CALL PMINTEL(MEB,IBCAR,VAO,ALT,CNO,BCAR,PM,NANDAR,NAPOI
*0,NBARRA,NNC,NBC,IMAT)
              ELSE IF (OPCAO.EQ.2) THEN
              CALL PMINIMP(MEB,IBCAR,VAO,ALT,CNO,BCAR,PM,NANDAR,NAPOI
*0,NBARRA,NNC,NBC,IMAT)
              ELSE

```

```

                CALL PMINARQ(MEB, IBCAR, VAO, ALT, CNO, BCAR, PM, NANDAR, NAPO
*0, NBARRA, NNC, NBC, NOMARQ, ITEST2, IMAT)
        END IF
        GO TO 401
C
408    CONTINUE
        CALL TELA
C
C                **** GRAVACAO DOS DADOS INICIAIS ****
C
        N=MEB(NBARRA)*2 + MAT
        M1=0
        M2=0
        IA=0
C
        WRITE(1,409)N
        WRITE(1,409)M1
        WRITE(1,409)M2
        WRITE(1,409)IA
409    FORMAT(I4)
C
C                PONTOS ASSOCIADOS AS BARRAS E MATERIAIS
C
        ICONT=0
        DO 1245 I=1, NBARRA
            DO 1244 J=(MEB(I-1)+1), MEB(I)
                ICONT=ICONT+1
                DO 1218 K=1, MAT
                    IF (K.EQ.IMAT(I)) THEN
1210                                WRITE(1,1210)-1.
                                    FORMAT(F15.8)
                                    ELSE
1215                                WRITE(1,1215)0.
                                    FORMAT(F15.8)
                                END IF
1218                CONTINUE
                    DO 1227 K=(MAT+1), N
                        IF (K.EQ.(J*2+MAT-1)) THEN
1220                                WRITE(1,1220)1.
                                    FORMAT(F15.8)
                                    ELSE
1225                                WRITE(1,1225)0.
                                    FORMAT(F15.8)
                                END IF
1227                CONTINUE
                        ICONT=ICONT+1
                        DO 1230 K=1, MAT
                            IF (K.EQ.IMAT(I)) THEN
1228                                WRITE(1,1228)-1.
                                    FORMAT(F15.8)
                                    ELSE
1229                                WRITE(1,1229)0.
                                    FORMAT(F15.8)
                            END IF
1230                CONTINUE

```



```

DO 1235 K=(MAT+1),N
  IF (K.EQ.(J*2+MAT)) THEN
1232     WRITE(1,1232)1.
        FORMAT(F15.8)
        ELSE
1233     WRITE(1,1233)0.
        FORMAT(F15.8)
        END IF
1235     CONTINUE
1244     CONTINUE
1245     CONTINUE
C
C
C
DO 1248 I=1,NANDAR
C
C           COLUNAS DO MECANISMO
C
C     ICM(J) ==> COLUNAS DO MECANISMO
C
C     ICM(1)=I
DO 450 J=2,NAPOIO
  ICM(J)=ICM(J-1)+NANDAR
450 CONTINUE
C
C     MATRIZ COM AS COLUNAS DO ANDAR i
C
DO 451 J=1,NAPOIO
  IC1(J,I)=ICM(J)
451 CONTINUE
C
C           VIGAS DAS EXTREMIDADES
C
C     IVE = VIGA ESQUERDA
C     IVD = VIGA DIREITA
C     IPV = PRIMEIRA VIGA DO PORTICO
C
C     IPV=(NANDAR*NAPAOIO)+1
C     IVE=IPV+((NAPAOIO-1)*(I-1))
C     IVD=IVE+(NAPAOIO-2)
C
C     MATRIZ COM AS VIGAS DO ANDAR i
C
C     IV1(1,I)=IVE
DO 456 J=2,(NAPAOIO-1)
  IV1(J,I)=IV1(J-1,I)+1
456 CONTINUE
1248 CONTINUE
C
C           *** BARRAS QUE CONCORREM AO MESMO NO? ***
C
DO 1300 I=1,NAPAOIO
  DO 1290 J=1,NANDAR
C     COLUNAS INFERIOR E SUPERIOR
      IVET(1)=0

```



```

        IPONTO(1)=0
        IVET(2)=0
        IPONTO(2)=0
C      VIGAS DIREITA E ESQUERDA
        IVET(3)=0
        IPONTO(3)=0
        IVET(4)=0
        IPONTO(4)=0
C
        IVET(1)=IC1(I,J)
        IPONTO(1)=MEB(IVET(1))
        IF (J.LT.NANDAR) THEN
                IVET(2)=IVET(1)+1
                IPONTO(2)=IPONTO(1)+1
        END IF
        IF (I.EQ.NAPOIO) THEN
                IVET(4)=0
        ELSE
                IVET(4)= IV1(I,J)
                IPONTO(4)=MEB(IVET(4)-1)+1
        END IF
        IF (I.EQ.1) THEN
                IVET(3)=0
        ELSE
                IVET(3)=IV1(I-1,J)
                IPONTO(3)=MEB(IVET(3))
        END IF
        DO 1280 II=1,4
                IF (IVET(II).GT.0) THEN
                        DO 1275 L=1,4
                                IF (IMAT(IVET(II)).EQ.IMAT(IVET(L))) GO TO 1275
                                IF (IPONTO(L).GT.0) THEN
                                        ICONT=ICONT+1
                                        DO 1260 K=1,MAT
                                                IF (K.EQ.IMAT(IVET(II))) THEN
1250                                     WRITE(1,1250)-1.
                                                FORMAT(F15.8)
                                                ELSE
1255                                     WRITE(1,1255)0.
                                                FORMAT(F15.8)
                                                END IF
1260                                CONTINUE
                                        DO 1265 K=(MAT+1),N
                                                IF (K.EQ.(IPONTO(L)*2+MAT-1)) THEN
1261                                     WRITE(1,1261)1.
                                                FORMAT(F15.8)
                                                ELSE
1262                                     WRITE(1,1262)0.
                                                FORMAT(F15.8)
                                                END IF
1265                                CONTINUE
                                        ICONT=ICONT+1
                                        DO 1270 K=1,MAT
                                                IF (K.EQ.IMAT(IVET(II))) THEN
                                                        WRITE(1,1267)-1.

```

```

1267                                     FORMAT(F15.8)
                                         ELSE
1268                                     WRITE(1,1268)0.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         END IF
1270 CONTINUE
      DO 1274 K=(MAT+1),N
        IF (K.EQ.(IPONTO(L)*2+MAT)) THEN
1271                                     WRITE(1,1271)1.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         ELSE
1272                                     WRITE(1,1272)0.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         END IF
1274 CONTINUE
      END IF
1275 CONTINUE
      END IF
1280 CONTINUE
1290 CONTINUE
1300 CONTINUE
C
C      ***** M E C A N I S M O   D E   A N D A R *****
C
      WRITE(*,410)
410  FORMAT(' ***MECANISMO DE ANDAR')
      DO 700 I=1,NANDAR
C
C      PESQUISA DO MENOR Mp NA LIGACAO VIGA C/ COLUNA NAS EXTREMIDADES
C      MLE=BARRA ONDE FORMARA ROTULA PLASTICA DO LADO ESQUERDO
C      MLD=BARRA ONDE FORMARA ROTULA PLASTICA DO LADO DIREITO
C
      IF (PM(I).LE.PM(IVE)) THEN
          MLE=I
      ELSE
          MLE=IVE
      END IF
      IF(PM(ICM(NAPOIO)).LE.PM(IVD)) THEN
          MLD=ICM(NAPOIO)
      ELSE
          MLD=IVD
      END IF
C
C      FORCA CORTANTE NO TOPO DO ANDAR EM ESTUDO
C
C      1. DEVIDO AO CARREGAMENTO NODAL
C
C      NO INICIAL = NI
C
      FCORT=0.
      NI=(NAPOIO*I)+1
      DO 460 KK=1,(NNC-1)
        IF (CNO(KK,1).GE.NI) THEN
            FCORT=FCORT+CNO(KK,2)
        END IF

```



```

460 CONTINUE
C
C           2. DEVIDO AS COLUNAS CARREGADAS
C
DO 500 J=1,NAPOIO
  II=I
  K=ICM(J)
475  K=K+1
  II=II+1
  IF (II.GT.NANDAR) GO TO 500
  DO 480 KK=1,(NBC-1)
    IF (K.EQ.IBCAR(KK)) THEN
      FCORT=FCORT+(BCAR(KK,1)*ALT(II))
      FCORT=FCORT+BCAR(KK,2)
    END IF
480  CONTINUE
  GO TO 475
500 CONTINUE
C
C           TRABALHO REALIZADO PELA FORCA CORTANTE
C
TRAB=0
TRAB=FCORT*ALT(I)
C
C           TRABALHO REALIZADO PELAS CARGAS ATUANTES NAS COLUNAS DO MECANISMO
C
DO 550 J=1,NAPOIO
  DO 520 KK=1,(NBC-1)
    IF (ICM(J).EQ.IBCAR(KK)) THEN
      TRAB=TRAB+(BCAR(KK,2)*ALT(I)/2)
      TRAB=TRAB+(BCAR(KK,1)*ALT(I)**2/2)
    END IF
520  CONTINUE
550 CONTINUE
C
C           GERACAO DO VETOR REF. A EQUACAO DO MECANISMO DE ANDAR
C
DO 600 J=0,MEB(NBARRA)
  EQMEC(J)=0.
600 CONTINUE
  IF (NAPOIO.EQ.2) GO TO 653
  DO 650 J=2,(NAPOIO-1)
    EQMEC(MEB(ICM(J)))=1.
    EQMEC(MEB(ICM(J)-1)+1)=-1.
650 CONTINUE
C
653 EQMEC(MEB(ICM(1)-1)+1)=-1.
  IF (ICM(1).EQ.MLE) THEN
    EQMEC(MEB(ICM(1)))=1.
  ELSE
    EQMEC(MEB(MLE-1)+1)=1.
  END IF
C
EQMEC(MEB(ICM(NAPOIO)-1)+1)=1.
IF (ICM(NAPOIO).EQ.MLD) THEN

```



```

                                EQMEC(MEB(ICM(NAPOIO)))=-1.
ELSE
                                EQMEC(MEB(MLD))=-1.
END IF
C
C                                GRAVACAO DA EQUACAO EM ARQUIVO
C
NERM=NERM+1
B(NERM)=TRAB
WRITE(*,655)
655  FORMAT(' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO ANDAR ')
DO 657 J=1,MAT
    WRITE(1,656)0.
656  FORMAT(F15.8)
657  CONTINUE
C
DO 690 J=1,MEB(NBARRA)
    WRITE(1,680)-EQMEC(J)
    WRITE(1,680)EQMEC(J)
680  FORMAT(F15.8)
690  CONTINUE
C
700  CONTINUE
C
C                                **** MECANISMO DE VIGA ****
C
710  IF (NBC.EQ.1) GO TO 900
WRITE(*,720)
720  FORMAT(' ***MECANISMO DE VIGA ')
IUVE=NBARRA-(NAPOIO-2)
DO 800 I=1,(NBC-1)
    TRAB=0.
DO 750 J=0,MEB(NBARRA)
    EQMEC(J)=0.
750  CONTINUE
    IPME=IBCAR(I)
    IPMD=IBCAR(I)
    IF (IBCAR(I).EQ.IUVE) THEN
        IF (PM(NANDAR).GT.PM(IUVE)) THEN
            IPME=IUVE
        ELSE
            IPME=NANDAR
        END IF
    END IF
END IF
    IF (IBCAR(I).EQ.NBARRA) THEN
        IF (PM(NANDAR*NAPOIO).GT.PM(NBARRA)) THEN
            IPMD=NBARRA
        ELSE
            IPMD=NANDAR*NAPOIO
        END IF
    END IF
END IF
C
C                                TRABALHO REALIZADO PELA CARGA CONCENTRADA
C
TRAB=BCAR(I,2)*COMP(IBCAR(I))/2

```





```

C
C   MECANISMO DE NO DA COLUNA DA EXTREMIDADE ESQUERDA
C
      WRITE(*,905)
905  FORMAT(' ***MECANISMO DE NO')
      IVIGA=IPV
      DO 940 I=1,(NANDAR-1)
          DO 910 J=0,MEB(NBARRA)
              EQMEC(J)=0.
910  CONTINUE
      EQMEC(MEB(IVIGA-1)+1)=-1.
      EQMEC(MEB(I))=1.
      EQMEC(MEB(I)+1)=-1.
      TRAB=0.

C
C   Gravacao dos dados em arquivo
C
      WRITE(*,912)
912  FORMAT(' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO DE NO')
      NERM=NERM+1
      B(NERM)=TRAB
      DO 920 J=1,MAT
          WRITE(1,915)0.
915  FORMAT(F15.8)
920  CONTINUE
          DO 930 J=1,MEB(NBARRA)
              WRITE(1,925)EQMEC(J)
              WRITE(1,925)-EQMEC(J)
925  FORMAT(F15.8)
930  CONTINUE
      IVIGA=IVIGA+(NAPOIO-1)
940  CONTINUE

C
C   MECANISMO DE NO DA COLUNA DA EXTREMIDADE DIREITA
C
C   ICOLD=PRIMEIRA COLUNA
C
      WRITE(*,945)
945  FORMAT(' ***MECANISMO DE NO')
      IVIGA=IPV+(NAPOIO-2)
      ICOLD=IPV-NANDAR
      DO 990 I=1,(NANDAR-1)
          DO 950 J=1,MEB(NBARRA)
              EQMEC(J)=0.
950  CONTINUE
      TRAB=0.
      EQMEC(MEB(IVIGA))=1.
      EQMEC(MEB(ICOLD+I-1))=-1.
      EQMEC(MEB(ICOLD+I-1)+1)=1.

C
C   Gravacao dos dados em arquivo
C
      WRITE(*,953)
953  FORMAT(' ***GRAVACAO EQUACAO REF. MECANISMO DE NO')
      NERM=NERM+1

```



```

      B(NERM)=TRAB
      DO 960 J=1,MAT
        WRITE(1,955)0.
955      FORMAT(F15.8)
960      CONTINUE
        DO 980 J=1,MEB(NBARRA)
          WRITE(1,970)EQMEC(J)
          WRITE(1,970)-EQMEC(J)
970      FORMAT(F15.8)
980      CONTINUE
        IVIGA=IVIGA+(NAPOIO-1)
990      CONTINUE
1000     CONTINUE
C
C      MECANISMO DE NO' CENTRAL
C
      IF (NAPOIO.LT.3) GO TO 1200
      WRITE(*,1005)
1005     FORMAT(' ***MECANISMO DE NO' )
      ICOL=NANDAR+1
      IVIGA=IPV-1
      DO 1190 I=1,(NAPOIO-2)
        IVIGA=IVIGA+I
        DO 1180 M=1,NANDAR
          DO 1110 K=0,MEB(NBARRA)
            EQMEC(K)=0.
1110      CONTINUE
          IF (M.NE.NANDAR) THEN
            EQMEC(MEB(ICOL)+1)=1.
          END IF
          EQMEC(MEB(ICOL))=-1.
          EQMEC(MEB(IVIGA))=-1.
          EQMEC(MEB(IVIGA)+1)=1.
          TRAB=0.
C
C      Gravacao dos dados em arquivo
C
      WRITE(*,1012)
1012     FORMAT(' ***GRAVACAO EQUACAO REF. MECANISMO DE NO' )
      NERM=NERM+1
      B(NERM)=TRAB
      DO 1120 J=1,MAT
        WRITE(1,1115)0.
1115     FORMAT(F15.8)
1120     CONTINUE
        DO 1140 J=1,MEB(NBARRA)
          WRITE(1,1130)-EQMEC(J)
          WRITE(1,1130)EQMEC(J)
1130     FORMAT(F15.8)
1140     CONTINUE
C
      ICOL=ICOL+1
      IVIGA=IVIGA+(NAPOIO-1)
1180     CONTINUE
1190     CONTINUE

```

```

1200 CONTINUE
C
C          **** V E T O R   B ****
C
      WRITE(*,1350)
1350  FORMAT(' ***VETOR B ')
C
      DO 1500 I=1,ICONT
        WRITE(1,1460)0.
1460  FORMAT(F10.3)
1500  CONTINUE
C
      DO 1450 I=1,NERM
        WRITE(1,1410)-B(I)
1410  FORMAT(F10.3)
1450  CONTINUE
C
C          **** V E T O R   C ****
C
      WRITE(*,1550)
1550  FORMAT(' ***VETOR C ')
      DO 1680 I=1,MAT
        C(I)=0.
        DO 1650 J=1,NBARRA
          IF (IMAT(J).EQ.I) THEN
            C(I)=C(I)+COMP(J)
          END IF
1650  CONTINUE
1680  CONTINUE
C
      DO 1700 I=1,MEB(NBARRA)*2+MAT
        WRITE(1,1690)-C(I)
1690  FORMAT(F6.2)
1700  CONTINUE
C
C
      M1=ICONT
      M2=NERM
      IA=M1+M2+2
      NMAX=(4+(NERM*N)+(ICONT*N)+(NERM+ICONT)+N)
C
      DO 1705 I=NMAX,2,-1
        BACKSPACE 1
1705  CONTINUE
C
      WRITE(1,1710)M1
      WRITE(1,1710)M2
      WRITE(1,1710)IA
1710  FORMAT(I4)
C
C          FINALIZACAO
C
      WRITE(*,1715)
1715  FORMAT(' ***FECHANDO O ARQUIVO ')
      CLOSE(1)

```

```

RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE PMINTEL(MEB, IBCAR, VAO, ALT, CNO, BCAR, PM, NANDAR, NAPOIO, NB,
* RRA, NNC, NBC, IMAT)
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
INTEGER*4 MEB(90), IMAT(90)
INTEGER*4 IBCAR(60)
REAL*8 VAO(5), ALT(10)
REAL*8 CNO(20, 2), BCAR(60, 2)
REAL*8 PM(90)
CHARACTER DIREITA*12, ESQUERDA*12
C
CALL TELA
C
C IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS NA TELA
C
WRITE(*, 50)
50 FORMAT(14X, '**** P O R T I C O P L A N O ****')
C
WRITE(*, 60) NAPOIO
60 FORMAT(/, 10X, 'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ', I4)
WRITE(*, 63)
63 FORMAT(' ')
DO 70 I=1, NAPOIO-1
WRITE(*, 65) I, VAO(I)
65 FORMAT(10X, 'VAO ', I2, ' ..... ', F7.2)
70 CONTINUE
C
WRITE(*, 71)
71 FORMAT(' ')
WRITE(*, 72)
72 FORMAT(' DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
PAUSE
CALL TELA
C
WRITE(*, 80) NANDAR
80 FORMAT(10X, 'QUANTIDADE DE ANDARES ..... ', I4)
WRITE(*, 90)
90 FORMAT(' ')
DO 120 I=1, NANDAR
WRITE(*, 110) I, ALT(I)
110 FORMAT(10X, 'ANDAR ', I2, ' ..... ', F7.2)
120 CONTINUE
C
WRITE(*, 121)
121 FORMAT(' ')
WRITE(*, 122)
122 FORMAT(' DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
PAUSE
CALL TELA

```



```

C
  IF (NNC.EQ.1) GO TO 210
  WRITE(*,195)
195  FORMAT(10X,'CARREGAMENTO NODAL')
  WRITE(*,198)
198  FORMAT(' ')
  WRITE(*,200)
200  FORMAT(15X,'NO',10X,'FORCA X')
  DO 208 I=1,(NNC-1)
    WRITE(*,205)CNO(I,1),CNO(I,2)
205    FORMAT(15X,F3.0,10X,F6.2)
208  CONTINUE
C
210  CONTINUE
C
  WRITE(*,211)
211  FORMAT(' ')
  WRITE(*,212)
212  FORMAT('                                DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
  PAUSE
  CALL TELA
C
  IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
  WRITE(*,215)
215  FORMAT(10X,'CARGA NAS BARRAS')
  WRITE(*,220)
220  FORMAT(' ')
  WRITE(*,223)
223  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA
*)
  DO 230 I=1,(NBC-1)
    WRITE(*,225)IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225    FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230  CONTINUE
C
300  CONTINUE
C
  WRITE(*,301)
301  FORMAT(' ')
  WRITE(*,302)
302  FORMAT('                                DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
  PAUSE
  CALL TELA
C
  WRITE(*,315)
315  FORMAT(10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
  WRITE(*,320)
320  FORMAT(' ')
  WRITE(*,323)
323  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'TIPO DO MATERIAL')
  DO 330 I=1,NBARRA
    WRITE(*,325)I,(MEB(I-1)+1),MEB(I),IMAT(I)
325    FORMAT(17X,I2,9X,I3,' a ',I3,15X,I2)
330  CONTINUE
C

```

```

WRITE(*,400)
400 FORMAT(' ')
WRITE(*,410)
410 FORMAT('          DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
PAUSE
C
RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE PMINIMP(MEB,IBCAR,VAO,ALT,CNO,BCAR,PM,NANDAR,NAPOIO,NB
*RRR,NNC,NBC,IMAT)
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
INTEGER*4 MEB(90),IMAT(90)
INTEGER*4 IBCAR(60)
REAL*8 VAO(5),ALT(10)
REAL*8 CNO(20,2),BCAR(60,2)
REAL*8 PM(90)
CHARACTER DIREITA*12,ESQUERDA*12
CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
C
ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
CALL TELA
WRITE(*,10)
10 FORMAT(7X,' A G U A R D E I M P R E S S A O D A D O S I N I C
*I A I S')
C
WRITE(3,15)
15 FORMAT(10X,'* * * * UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS *
* * *')
WRITE(3,25)
WRITE(3,17) CURSO
17 FORMAT(10X,'CURSO : ',A40)
WRITE(3,18) ALUNO
18 FORMAT(10X,'ALUNO : ',A20)
WRITE(3,19) ORIENT
19 FORMAT(10X,'ORIENTADOR: ',A30)
WRITE(3,25)
WRITE(3,20)
20 FORMAT(13X,'*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
WRITE(3,25)
WRITE(3,25)
25 FORMAT(' ')
C
C
C
IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS
C
WRITE(3,50)
50 FORMAT(18X,'*** PORTICO PLANO ***')
C

```



```

WRITE(3,60)NAPOIO
60  FORMAT(/,10X,'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ',I4)
WRITE(3,63)
63  FORMAT(' ')
DO 70 I=1,NAPOIO-1
    WRITE(3,65)I,VAO(I)
65  FORMAT(10X,'VAO ',I2,' ..... ',F7.2)
70  CONTINUE
C
WRITE(3,80)NANDAR
80  FORMAT(/,10X,'QUANTIDADE DE ANDARES ..... ',I4)
WRITE(3,90)
90  FORMAT(' ')
DO 120 I=1,NANDAR
    WRITE(3,110)I,ALT(I)
110  FORMAT(10X,'ANDAR ',I2,' ..... ',F7.2)
120  CONTINUE
C
WRITE(3,125)
125  FORMAT(/,10X,'RESTRICAO DOS APOIOS')
WRITE(3,130)
130  FORMAT(' ')
WRITE(3,135)
135  FORMAT(10X,'TODOS OS APOIOS SAO ENGASTADOS')
C
WRITE(3,142)
142  FORMAT(/,10X,'BARRAS COM EXTREMIDADE ROTULADA')
WRITE(3,145)
145  FORMAT(' ')
WRITE(3,150)
150  FORMAT(10X,'TODAS AS EXTREMIDADES DAS BARRAS SAO RIGIDAS')
C
IF (NNC.EQ.1) GO TO 210
WRITE(3,195)
195  FORMAT(/,10X,'CARREGAMENTO NODAL')
WRITE(3,198)
198  FORMAT(' ')
WRITE(3,200)
200  FORMAT(15X,'NO',10X,'FORCA X')
DO 208 I=1,(NNC-1)
    WRITE(3,205)CNO(I,1),CNO(I,2)
205  FORMAT(15X,F3.0,10X,F6.2)
208  CONTINUE
C
210  CONTINUE
C
IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
WRITE(3,215)
215  FORMAT(/,10X,'CARGA NAS BARRAS')
WRITE(3,220)
220  FORMAT(' ')
WRITE(3,223)
223  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA
*)
DO 230 I=1,(NBC-1)

```



```

        WRITE(3,225) IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225      FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230      CONTINUE
C
300      CONTINUE
C
        WRITE(3,315)
315      FORMAT(//,10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
        WRITE(3,320)
320      FORMAT(' ')
        WRITE(3,323)
323      FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'TIPO DO MATERIAL')
        DO 330 I=1,NBARRA
            WRITE(3,325) I,(MEB(I-1)+1),MEB(I),IMAT(I)
325          FORMAT(17X,I2,9X,I3,' a ',I3,15X,I2)
330      CONTINUE
C
        RETURN
        END
C
C
C
        SUBROUTINE PMINARQ(MEB,IBCAR,VAO,ALT,CNO,BCAR,PM,NANDAR,NAPOIO,NBARRA,
*RRR,NNC,NBC,NOMSAI,ITEST2,IMAT)
C
        IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
        IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
        INTEGER*4 MEB(90),IMAT(90)
        INTEGER*4 IBCAR(60)
        REAL*8 VAO(5),ALT(10)
        REAL*8 CNO(20,2),BCAR(60,2)
        REAL*8 PM(90)
        CHARACTER DIREITA*12,ESQUERDA*12
        CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
        CHARACTER NOMSAI*12
C
        ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
        ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
        CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
        ITEST2=1
C
        CALL TELA
C
        WRITE(*,5)
5      FORMAT(' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DOS DADOS .....> ')
        READ(5,6)NOMSAI
6      FORMAT(A12)
C
        OPEN(2,FILE =NOMSAI)
C
        WRITE(2,15)
15     FORMAT('          * * * *  UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS          *
* * * *')
        WRITE(2,25)

```

```

WRITE(2,17) CURSO
17  FORMAT(6X,'CURSO      : ',A40)
WRITE(2,18) ALUNO
18  FORMAT(6X,'ALUNO      : ',A20)
WRITE(2,19) ORIENT
19  FORMAT(6X,'ORIENTADOR: ',A30)
WRITE(2,25)
WRITE(2,20)
20  FORMAT(10X,'*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
WRITE(2,25)
WRITE(2,25)
25  FORMAT(' ')
C
C  IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS EM ARQUIVO
C
WRITE(2,50)
50  FORMAT(18X,'*** P O R T I C O   P L A N O ***')
C
WRITE(2,60)NAP010
60  FORMAT(/,10X,'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ',I4)
WRITE(2,63)
63  FORMAT(' ')
DO 70 I=1,NAP010-1
    WRITE(2,65)I,VAO(I)
65  FORMAT(10X,'VAO ',I2,' ..... ',F7.2)
70  CONTINUE
C
WRITE(2,80)NANDAR
80  FORMAT(/,10X,'QUANTIDADE DE ANDARES ..... ',I4)
WRITE(2,90)
90  FORMAT(' ')
DO 120 I=1,NANDAR
    WRITE(2,110)I,ALT(I)
110  FORMAT(10X,'ANDAR ',I2,' ..... ',F7.2)
120  CONTINUE
C
WRITE(2,125)
125  FORMAT(/,10X,'RESTRICAO DOS APOIOS')
WRITE(2,130)
130  FORMAT(' ')
WRITE(2,135)
135  FORMAT(10X,'TODOS OS APOIOS SAO ENGASTADOS')
C
WRITE(2,142)
142  FORMAT(/,10X,'BARRAS COM EXTREMIDADE ROTULADA')
WRITE(2,145)
145  FORMAT(' ')
WRITE(2,150)
150  FORMAT(10X,'TODAS AS EXTREMIDADES DAS BARRAS SAO RIGIDAS')
C
IF (NNC.EQ.1) GO TO 210
WRITE(2,195)
195  FORMAT(/,10X,'CARREGAMENTO NODAL')
WRITE(2,198)
198  FORMAT(' ')

```



```

WRITE(2,200)
200  FORMAT(15X,'NO',10X,'FORCA X')
      DO 208 I=1,(NNC-1)
          WRITE(2,205)CNO(I,1),CNO(I,2)
205  FORMAT(15X,F3.0,10X,F6.2)
208  CONTINUE
C
210  CONTINUE
C
      IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
      WRITE(2,215)
215  FORMAT(/,10X,'CARGA NAS BARRAS')
      WRITE(2,220)
220  FORMAT(' ')
      WRITE(2,223)
223  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA
*)
      DO 230 I=1,(NBC-1)
          WRITE(2,225)IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225  FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230  CONTINUE
C
300  CONTINUE
C
      WRITE(2,315)
315  FORMAT(/,10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
      WRITE(2,320)
320  FORMAT(' ')
      WRITE(2,323)
323  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'TIPO DO MATERIAL')
      DO 330 I=1,NBARRA
          WRITE(2,325)I,(MEB(I-1)+1),MEB(I),IMAT(I)
325  FORMAT(17X,I2,9X,I3,' a ',I3,15X,I2)
330  CONTINUE
      WRITE(2,400)
      WRITE(2,400)
400  FORMAT(' ')
C
      RETURN
      END
C
C
C
SUBROUTINE VIGAMINI(NOMEAR,ITESTE,NOMSAI,ITEST2,MAT)
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
      INTEGER*4 MEB(15),IMAT(5)
      INTEGER*4 IBCAR(5),IAROT(2)
      INTEGER*4 IV1(4),IVET(4),IPONTO(4)
      REAL*8 VAO(5)
      REAL*8 B(360),C(360)
      REAL*8 BCAR(5,2)
      REAL*8 PM(5),COMP(5)
      REAL*8 EQMEC(360)

```



```

CHARACTER NOMEAR*12,NOMSAI*12
C
  ITESTE=1
  ITEST2=0
  NERM=0
C
  CALL TELA
  WRITE(*,2)
2  FORMAT(' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DADOS INICIAIS.....')
  READ(*,4)NOMEAR
4  FORMAT(A12)
  OPEN(1,FILE=NOMEAR)
C
      QUANTIDADE DE APOIOS E DISTANCIA ENTRE ELES
C
5  CALL TELA
  WRITE(*,7)
7  FORMAT(' FORNECER QUANTIDADE DE APOIOS (max 5) .....')
  READ(5,*)NAPOIO
  IF ((NAPOIO.LT.2).OR.(NAPOIO.GT.5)) GO TO 5
C
10 WRITE(*,15)
15 FORMAT(' DISTANCIA ENTRE APOIOS (1)-VAO TIPICO (2)-VAOS DIF. ')
  READ(5,*)JS
  IF ((JS.LT.1).OR.(JS.GT.2)) GO TO 10
C
  VTOTAL=0.
  IF(JS.EQ.1) THEN
16      WRITE(*,16)
          FORMAT(' DIST. ENTRE APOIO .....')
          READ(5,*)VAOTI
          DO 20 I=1,(NAPOIO-1)
              VAO(I)=VAOTI
              VTOTAL=VTOTAL+VAO(I)
20      CONTINUE
          ELSE
              DO 25 I=1,(NAPOIO-1)
                  WRITE(*,21)I
21      FORMAT(' FORNECA VAO ',I1,' .....')
                  READ(5,*)VAO(I)
                  VTOTAL=VTOTAL+VAO(I)
25      CONTINUE
  END IF
C
      CALCULO DA QUANTIDADE DE BARRRAS E NOS DO PORTICO
C
55 NBARRA=NAPOIO-1
C
  NNOS=NAPOIO
C
      CALCULO DO COMPRIMENTO DAS BARRAS
C
  DO 58 J=1,NBARRA
      COMP(J)=VAO(J)
58  CONTINUE

```

```

C
C IDENTIFICACAO DOS APOIOS ROTULADOS: (1)-ENGASTE (0)-ROTULA
C
C VALOR INICIAL (1)-ENGASTE
C
C IAROT(1)=1
C IAROT(2)=1
C
70 CALL TELA
WRITE(*,75)
75 FORMAT(' FORNECA EXTREMIDADE ROTULADA (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINA
*) ')
WRITE(*,90)
WRITE(*,80)
80 FORMAT(' (1) - EXTREMIDADE ESQUERDA ')
WRITE(*,90)
WRITE(*,85)
85 FORMAT(' (2) - EXTREMIDADE DIREITA ')
WRITE(*,90)
WRITE(*,88)
88 FORMAT(40X,' OPCAO .....> ')
READ(5,*)I
IF (I.LE.0) GO TO 69
IF (I.GT.2) THEN
WRITE(*,89)
89 FORMAT(' VALOR FORA LIMITE!!!')
GO TO 70
ELSE
IAROT(I)=0
GO TO 70
END IF
90 FORMAT(' ')
C
69 CONTINUE
C
C CARREGAMENTO NAS BARRAS
C
NBC=1
135 CALL TELA
140 WRITE(*,145)
145 FORMAT(' *** CARGAS NAS BARRAS ***')
150 WRITE(*,151)
151 FORMAT(' ')
WRITE(*,155)
155 FORMAT(' BARRA CARREGADA (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) .....> ')
READ(5,*)NBAR
IF (NBAR.LE.0) GO TO 190
IF (NBAR.GT.NBARRA) THEN
WRITE(*,157)
157 FORMAT(' VALOR FORA LIMITE!!!')
GO TO 150
END IF
WRITE(*,160)
160 FORMAT(' CARGA DISTRIBUIDA .....> ')
READ(5,*)CDIS

```



```

WRITE(*,170)
170  FORMAT(' CARGA CONCENTRADA .....> ')
      READ(5,*)CCON
      IBCAR(NBC)=NBAR
      BCAR(NBC,1)=CDIS
      BCAR(NBC,2)=CCON
      NBC=NBC+1
      GO TO 135
C
C          MATERIAIS ASSOCIADOS AS BARRAS
C
190  CALL TELA
      WRITE(*,195)
195  FORMAT('          *** MATERIAIS ASSOCIADOS AS BARRAS ***')
200  WRITE(*,201)
201  FORMAT(' ')
      WRITE(*,210)
210  FORMAT(' BARRA INICIAL (NUMERO NEGATIVO P/ TERMINAR) .....> ')
      READ(5,*)NBAR
      IF (NBAR.LE.0) GO TO 250
      IF (NBAR.GT.NBARRA) THEN
                WRITE(*,215)
215  FORMAT(' VALOR FORA LIMITE!!!')
                GO TO 200

      END IF
219  WRITE(*,220)
220  FORMAT(' BARRA FINAL .....> ')
      READ(5,*)NBARF
      IF (NBARF.GT.NBARRA) THEN
                WRITE(*,225)
225  FORMAT(' VALOR FORA DO LIMITE!!!')
                GO TO 219

      END IF
      WRITE(*,230)
230  FORMAT(' INCREMENTO .....> ')
      READ(5,*)INC
      WRITE(*,235)
235  FORMAT(' NUMERO DO TIPO DO MATERIAL .....> ')
      READ(5,*)MAT
      DO 240 I=NBAR,NBARF,INC
      IMAT(I)=MAT
240  CONTINUE
      GO TO 200
C
250  CONTINUE
C
C          CALCULO DA QUANTIDADE DE MATERIAIS DIFERENTES
C
      MAIOR=IMAT(1)
      DO 252 I=2,NBARRA
        IF (IMAT(I).GT.MAIOR) THEN
                MAIOR=IMAT(I)

        END IF
252  CONTINUE
      MAT=MAIOR

```



```

C
C FAZER TODOS OS MOMENTOS PLASTICOS IGUAIS PARA MONTAGEM DAS
C EQUACOES DE EQUILIBRIO.
C
DO 253 I=1,NBARRA
    PM(I)=1.
253 CONTINUE
C
CALL TELA
C
POSICOES POSSIVEIS PARA FORMACAO DE ROTULAS PLASTICAS NAS BARRAS
C
PARA BARRAS CARREGADAS ==> 3 PONTOS: 2 DE EXTREMIDADE
C                                     1 NO MEIO DO VAO
C
PARA BARRAS DESCARREGADAS ==> 2 PONTOS (EXTREMIDADES)
C
J=0
255 MEB(0)=0
DO 400 I=1,NBARRA
280   J=J+1
      IF (J.GT.60) THEN
                K=2
                GO TO 300
      END IF
      IF (IBCAR(J).LT.1) THEN
                K=2
                GO TO 300
      END IF
      IF (IBCAR(J).EQ.I) THEN
                K=3
                GO TO 300
      END IF
      GO TO 280
300   J=0
      MEB(I)=(MEB(I-1)+K)
400 CONTINUE
C
C             *** IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS ***
C
401 CALL TELA
402 FORMAT(' ')
      WRITE(*,403)
403 FORMAT(' (1) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS NA TELA')
      WRITE(*,402)
      WRITE(*,404)
404 FORMAT(' (2) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS NA IMPRESSORA')
      WRITE(*,402)
      WRITE(*,405)
405 FORMAT(' (3) - IMPRIMIR DADOS INICIAIS EM ARQUIVO')
      WRITE(*,402)
      WRITE(*,406)
406 FORMAT(' (4) - CONTINUAR PROCESSAMENTO')
      WRITE(*,402)
      WRITE(*,402)

```

```

WRITE(*,407)
407  FORMAT('          OPCAO .....> ')
      READ(5,*)OPCAO
      IF ((OPCAO.GT.4).OR.(OPCAO.LT.1)) GO TO 401
      IF (OPCAO.EQ.4) GO TO 408
      IF (OPCAO.EQ.1) THEN
          CALL VMINTEL(IMAT,MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA
*NBC)
          ELSE IF (OPCAO.EQ.2) THEN
          CALL VMINIMP(IMAT,MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA
*NBC)
          ELSE
          CALL VMINARQ(MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA
*NBC,NOMARQ,ITEST2,IMAT)
      END IF
      GO TO 401
C
408  CONTINUE
      CALL TELA
C
      ***** GRAVACAO DOS DADOS INICIAIS *****
C
      N=MEB(NBARRA)*2 + MAT
      M1=0
      M2=0
      IA=0
C
      WRITE(1,409)N
      WRITE(1,409)M1
      WRITE(1,409)M2
      WRITE(1,409)IA
409  FORMAT(I4)
C
      PONTOS ASSOCIADOS AS BARRAS E MATERIAIS
C
      ICONT=0
      DO 1245 I=1,NBARRA
          DO 1244 J=(MEB(I-1)+1),MEB(I)
              ICONT=ICONT+1
              DO 1218 K=1,MAT
                  IF (K.EQ.IMAT(I)) THEN
1210                      WRITE(1,1210)-1.
                          FORMAT(F15.8)
                          ELSE
1215                      WRITE(1,1215)0.
                          FORMAT(F15.8)
                  END IF
1218          CONTINUE
              DO 1227 K=(MAT+1),N
                  IF (K.EQ.(J*2+MAT-1)) THEN
1220                      WRITE(1,1220)1.
                          FORMAT(F15.8)
                          ELSE
1225                      WRITE(1,1225)0.
                          FORMAT(F15.8)

```





```

END IF
IF (I.EQ.1) THEN
    IVET(3)=0
ELSE
    IVET(3)=IV1(I-1)
    IPONTO(3)=MEB(IVET(3))
END IF
DO 1280 II=3,4
    IF (IVET(II).GT.0) THEN
        DO 1275 L=3,4
            IF (IMAT(IVET(II)).EQ.IMAT(IVET(L))) GO TO 1275
            IF (IPONTO(L).GT.0) THEN
                ICONT=ICONT+1
                DO 1260 K=1,MAT
                    IF (K.EQ.IMAT(IVET(II))) THEN
1250                                     WRITE(1,1250)-1.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         ELSE
1255                                     WRITE(1,1255)0.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         END IF
1260                                     CONTINUE
                DO 1265 K=(MAT+1),N
                    IF (K.EQ.(IPONTO(L)*2+MAT-1)) THEN
1261                                     WRITE(1,1261)1.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         ELSE
1262                                     WRITE(1,1262)0.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         END IF
1265                                     CONTINUE
                ICONT=ICONT+1
                DO 1270 K=1,MAT
                    IF (K.EQ.IMAT(IVET(II))) THEN
1267                                     WRITE(1,1267)-1.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         ELSE
1268                                     WRITE(1,1268)0.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         END IF
1270                                     CONTINUE
                DO 1274 K=(MAT+1),N
                    IF (K.EQ.(IPONTO(L)*2+MAT)) THEN
1271                                     WRITE(1,1271)1.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         ELSE
1272                                     WRITE(1,1272)0.
                                         FORMAT(F15.8)
                                         END IF
1274                                     CONTINUE
                END IF
1275                                     CONTINUE
            END IF
1280                                     CONTINUE
1300 CONTINUE

```

```

C
C          **** MECANISMO DE VIGA ****
C
WRITE(*,720)
720  FORMAT(' ***MECANISMO DE VIGA')
      IUVE=NBARRA-(NAPOIO-2)
      DO 800 I=1,(NBC-1)
        TRAB=0.
        DO 750 J=0,MEB(NBARRA)
          EQMEC(J)=0.
750   CONTINUE
        IPME=IBCAR(I)
        IPMD=IBCAR(I)
        IF (IBCAR(I).EQ.IUVE) THEN
                                IF (PM(NANDAR).GT.PM(IUVE)) THEN
                                    IPME=IUVE
                                ELSE
                                    IPME=NANDAR
                                END IF
        END IF
        IF (IBCAR(I).EQ.NBARRA) THEN
                                IF (PM(NANDAR*NAPOIO).GT.PM(NBARRA)) THEN
                                    IPMD=NBARRA
                                ELSE
                                    IPMD=NANDAR*NAPOIO
                                END IF
        END IF
END IF

C
C          TRABALHO REALIZADO PELA CARGA CONCENTRADA
C
      TRAB=BCAR(I,2)*COMP(BCAR(I))/2

C
C          TRABALHO REALIZADO PELA CARGA DISTRIBUIDA
C
      TRAB=TRAB+BCAR(I,1)*(COMP(BCAR(I)))**2/4

C
C          GERACAO DA EQUACAO
C
      EQMEC(MEB(IPMD))=-1.
      EQMEC(MEB(BCAR(I))-1)=2.
      IF (IPME.EQ.NANDAR) THEN
                                EQMEC(MEB(IPME))=-1.
                                ELSE
                                EQMEC(MEB(BCAR(I))-2)=-1.
                                END IF
      END IF

C
C          GRAVACAO DOS DADOS EM ARQUIVO
C
WRITE(*,757)
757  FORMAT(' ***GRAVACAO DA EQUACAO REF. MECANISMO DE VIGA')
      NERM=NERM+1
      B(NERM)=TRAB
      DO 760 J=1,MAT
        WRITE(1,758)0.
758  FORMAT(F15.8)

```

```

760 CONTINUE
DO 790 J=1,MEB(NBARRA)
    WRITE(1,780)-EQMEC(J)
    WRITE(1,780)EQMEC(J)
780    FORMAT(F15.8)
790 CONTINUE
C
800 CONTINUE
C
C          **** V E T O R   B ****
C
    WRITE(*,1350)
1350    FORMAT(' ***VETOR B ')
C
    DO 1500 I=1,ICONT
        WRITE(1,1460)0.
1460    FORMAT(F10.3)
1500 CONTINUE
C
    DO 1450 I=1,NERM
        WRITE(1,1410)-B(I)
1410    FORMAT(F10.3)
1450 CONTINUE
C
C          **** V E T O R   C ****
C
    WRITE(*,1550)
1550    FORMAT(' ***VETOR C ')
    DO 1680 I=1,MAT
        C(I)=0.
        DO 1650 J=1,NBARRA
            IF (IMAT(J).EQ.I) THEN
                C(I)=C(I)+COMP(J)
            END IF
1650    CONTINUE
1680 CONTINUE
C
    DO 1700 I=1,MEB(NBARRA)*2+MAT
        WRITE(1,1690)-C(I)
1690    FORMAT(F6.2)
1700 CONTINUE
C
C
    M1=NERM+ICONT
    IA=M1+M2+2
    NMAX=(4+(NERM*N)+(ICONT*N)+(NERM+ICONT)+N)
C
    DO 1705 I=NMAX,2,-1
        BACKSPACE 1
1705 CONTINUE
C
    WRITE(1,1710)M1
    WRITE(1,1710)M2
    WRITE(1,1710)IA
1710    FORMAT(I4)

```



C  
C  
C

FINALIZACAO

WRITE(\*,1715)  
1715 FORMAT(' \*\*\*FECHANDO O ARQUIVO')  
CLOSE(1)  
RETURN  
END

C  
C  
C

SUBROUTINE VMINTEL(IMAT,MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA,  
\*NBC)

C

IMPLICIT REAL\*8 (A-H,O-Z)  
IMPLICIT INTEGER\*4 (I-N)  
INTEGER\*4 MEB(15),IMAT(5)  
INTEGER\*4 IBCAR(5)  
INTEGER\*4 IAROT(2)  
REAL\*8 VAO(5)  
REAL\*8 BCAR(5,2)  
REAL\*8 PM(5)  
CHARACTER DIREITA\*12,ESQUERDA\*12

C

CALL TELA

C

IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS NA TELA

C

C

WRITE(\*,50)  
50 FORMAT(23X,'\*\*\*\* V I G A \*\*\*\*')

C

WRITE(\*,60)NAPQIO  
60 FORMAT(/,10X,'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ',I4)

C

WRITE(\*,63)

63

FORMAT(' ')

DO 70 I=1,NAPQIO-1

WRITE(\*,65)I,VAO(I)

65

FORMAT(10X,'VAO ',I2,' ..... ',F7.2)

70

CONTINUE

C

WRITE(\*,71)

71

FORMAT(' ')

WRITE(\*,72)

72

FORMAT(' DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')  
PAUSE

CALL TELA

C

WRITE(\*,125)

125

FORMAT(10X,'RESTRICAO DOS APOIOS')

WRITE(\*,130)

130

FORMAT(' ')

IF (IAROT(1).EQ.1) THEN

WRITE(\*,135)

135

FORMAT(10X,'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ENGASTADA')

ELSE

```

        WRITE(*,140)
140      FORMAT(10X,'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ROTULADA')
      END IF
      IF (IAROT(2).EQ.1) THEN
        WRITE(*,145)
145      FORMAT(10X,'EXTREMIDADE DIREITA ..... ENGASTADA')
        ELSE
        WRITE(*,150)
150      FORMAT(10X,'EXTREMIDADE DIREITA ..... ROTULADA')
      END IF
C
C
      WRITE(*,151)
151      FORMAT(' ')
      WRITE(*,152)
152      FORMAT('                DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
      PAUSE
      CALL TELA
C
      IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
      WRITE(*,215)
215      FORMAT(10X,'CARGA NAS BARRAS')
      WRITE(*,220)
220      FORMAT(' ')
      WRITE(*,223)
223      FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA
*)
      DO 230 I=1,(NBC-1)
        WRITE(*,225) IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225      FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230      CONTINUE
C
300      CONTINUE
C
      WRITE(*,301)
301      FORMAT(' ')
      WRITE(*,302)
302      FORMAT('                DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
      PAUSE
      CALL TELA
C
      WRITE(*,315)
315      FORMAT(10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
      WRITE(*,320)
320      FORMAT(' ')
      WRITE(*,323)
323      FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'TIPO DO MATERIAL')
      DO 330 I=1,NBARRA
        WRITE(*,325) I,(MEB(I-1)+1),MEB(I),IMAT(I)
325      FORMAT(17X,I2,9X,I3,' a ',I3,15X,I2)
330      CONTINUE
C
      WRITE(*,400)
400      FORMAT(' ')
      WRITE(*,410)

```



```

410  FORMAT( '          DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR  ')
      PAUSE
C
      RETURN
      END
C
C
C
      SUBROUTINE VMINIMP(IMAT,MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA
*NBC)
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
      INTEGER*4 MEB(15),IMAT(5)
      INTEGER*4 IBCAR(5)
      INTEGER*4 IAROT(2)
      REAL*8 VAO(5)
      REAL*8 BCAR(5,2)
      REAL*8 PM(5)
      CHARACTER DIREITA*12,ESQUERDA*12
      CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
C
      ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
      ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
      CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
      CALL TELA
      WRITE(*,10)
10   FORMAT(7X, ' A G U A R D E  I M P R E S S A O  D A D O S  I N I C
*I A I S')
C
      WRITE(3,15)
15   FORMAT(10X, ' * * * *  UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  * *
* * * *')
      WRITE(3,25)
      WRITE(3,17) CURSO
17   FORMAT(10X, 'CURSO      : ',A40)
      WRITE(3,18) ALUNO
18   FORMAT(10X, 'ALUNO      : ',A20)
      WRITE(3,19) ORIENT
19   FORMAT(10X, 'ORIENTADOR: ',A30)
      WRITE(3,25)
      WRITE(3,20)
20   FORMAT(13X, '*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
      WRITE(3,25)
      WRITE(3,25)
25   FORMAT( '      ')
C
C      IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS
C
      WRITE(3,50)
50   FORMAT(23X, '*****  V I G A  *****')
C
      WRITE(3,60)NAPOIO
60   FORMAT(/,10X, 'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ',I4)

```



```

WRITE(3,63)
63  FORMAT(' ')
DO 70 I=1,NAPOIO-1
    WRITE(3,65)I,VAO(I)
65  FORMAT(10X,'VAO ',I2,' ..... ',F7.2)
70  CONTINUE
C
WRITE(3,125)
125  FORMAT('/',10X,'RESTRICAO DOS APOIOS')
WRITE(3,130)
130  FORMAT(' ')
    IF (IAROT(1).EQ.1) THEN
        WRITE(3,135)
135  FORMAT(10X,'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ENGASTADA')
        ELSE
            WRITE(3,140)
140  FORMAT(10X,'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ROTULADA')
    END IF
    IF (IAROT(2).EQ.1) THEN
        WRITE(3,145)
145  FORMAT(10X,'EXTREMIDADE DIREITA ..... ENGASTADA')
        ELSE
            WRITE(3,150)
150  FORMAT(10X,'EXTREMIDADE DIREITA ..... ROTULADA')
    END IF
C
IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
WRITE(3,215)
215  FORMAT('/',10X,'CARGA NAS BARRAS')
WRITE(3,220)
220  FORMAT(' ')
WRITE(3,223)
223  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA')
*)
DO 230 I=1,(NBC-1)
    WRITE(3,225)IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225  FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230  CONTINUE
C
300  CONTINUE
C
WRITE(3,315)
315  FORMAT('/',10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
WRITE(3,320)
320  FORMAT(' ')
WRITE(3,323)
323  FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'TIPO DO MATERIAL')
DO 330 I=1,NBARRA
    WRITE(3,325)I,(MEB(I-1)+1),MEB(I),IMAT(I)
325  FORMAT(17X,I2,9X,I3,' a ',I3,15X,I2)
330  CONTINUE
C
RETURN
END
C

```

```

C
C
SUBROUTINE UMINARQ(MEB,IBCAR,IAROT,VAO,BCAR,PM,NAPOIO,NBARRA,NBC,
*OMSAI,ITEST2,IMAT)
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
INTEGER*4 MEB(15),IMAT(5)
INTEGER*4 IBCAR(5)
INTEGER*4 IAROT(2)
REAL*8 VAO(5)
REAL*8 BCAR(5,2)
REAL*8 PM(5)
CHARACTER DIREITA*12,ESQUERDA*12
CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
CHARACTER NOMSAI*12
C
ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
ITEST2=1
C
CALL TELA
C
WRITE(*,5)
5 FORMAT(' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DOS DADOS .....>' )
READ(5,6)NOMSAI
6 FORMAT(A12)
OPEN(2,FILE =NOMSAI)
C
WRITE(2,15)
15 FORMAT('          * * * *          UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
* * * *')
WRITE(2,25)
WRITE(2,17) CURSO
17 FORMAT(6X,'CURSO           = ',A40)
WRITE(2,18) ALUNO
18 FORMAT(6X,'ALUNO           = ',A20)
WRITE(2,19) ORIENT
19 FORMAT(6X,'ORIENTADOR:    ',A30)
WRITE(2,25)
WRITE(2,20)
20 FORMAT(10X,'*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
WRITE(2,25)
WRITE(2,25)
25 FORMAT('          ')
C
C
IMPRESSAO DOS DADOS INICIAIS EM ARQUIVO
C
WRITE(2,50)
50 FORMAT(23X,'**** V I G A ****')
C
WRITE(2,60)NAPOIO

```



```

60  FORMAT(//,10X,'QUANTIDADE DE APOIOS ..... ',I4)
    WRITE(2,63)
63  FORMAT(' ')
    DO 70 I=1,NAPOIO-1
        WRITE(2,65)I,VAO(I)
65  FORMAT(10X,'VAO ',I2,' ..... ',F7.2)
70  CONTINUE
C
    WRITE(2,125)
125 FORMAT(//,10X,'RESTRICAO DOS APOIOS')
    WRITE(2,130)
130 FORMAT(' ')
        IF (IAROT(1).EQ.1) THEN
            WRITE(2,135)
135 FORMAT(10X,'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ENGASTADA')
            ELSE
                WRITE(2,140)
140 FORMAT(10X,'EXTREMIDADE ESQUERDA ..... ROTULADA')
        END IF
        IF (IAROT(2).EQ.1) THEN
            WRITE(2,145)
145 FORMAT(10X,'EXTREMIDADE DIREITA ..... ENGASTADA')
            ELSE
                WRITE(2,150)
150 FORMAT(10X,'EXTREMIDADE DIREITA ..... ROTULADA')
        END IF
C
    IF (NBC.EQ.1) GO TO 300
    WRITE(2,215)
215 FORMAT(//,10X,'CARGA NAS BARRAS')
    WRITE(2,220)
220 FORMAT(' ')
    WRITE(2,223)
223 FORMAT(15X,'BARRA',10X,'CARGA DISTRIBUIDA',10X,'CARGA CONCENTRADA
*)
    DO 230 I=1,(NBC-1)
        WRITE(2,225)IBCAR(I),BCAR(I,1),BCAR(I,2)
225 FORMAT(16X,I3,17X,F7.2,18X,F7.2)
230 CONTINUE
C
300 CONTINUE
C
    WRITE(2,315)
315 FORMAT(//,10X,'PROPRIEDADE DAS BARRAS')
    WRITE(2,320)
320 FORMAT(' ')
    WRITE(2,323)
323 FORMAT(15X,'BARRA',10X,'PONTOS',10X,'TIPO DO MATERIAL')
    DO 330 I=1,NBARRA
        WRITE(2,325)I,(MEB(I-1)+1),MEB(I),IMAT(I)
325 FORMAT(17X,I2,9X,I3,' a ',I3,15X,I2)
330 CONTINUE
C
    WRITE(2,400)
    WRITE(2,400)

```



```

400  FORMAT( '      ')
C
      RETURN
      END
C
C
C
      SUBROUTINE LEMARQ(N,M1,M2,IA,A,B,C,NL,NOMEAR,ITESTE,MAT)
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
      REAL*8 A(100,90),B(100),C(90)
      CHARACTER NOMEAR*12
C
      CALL TELA
C
      IF (ITESTE.EQ.1) GO TO 7
C
      WRITE(*,5)
5     FORMAT( ' NOME DO ARQUIVO DE DADOS PARA LEITURA .....')
      READ(5,6)NOMEAR
6     FORMAT(A12)
C
7     OPEN(1,FILE =NOMEAR,FORM='FORMATTED',ACCESS='SEQUENTIAL')
C
      WRITE(*,10)
10    FORMAT( ' *** LENDO ( N) ')
      READ(1,45)N
C
      WRITE(*,20)
20    FORMAT( ' *** LENDO (M1) ')
      READ(1,45)M1
C
      WRITE(*,30)
30    FORMAT( ' *** LENDO (M2) ')
      READ(1,45)M2
C
      WRITE(*,40)
40    FORMAT( ' *** LENDO (IA) ')
      READ(1,45)IA
45    FORMAT(I4)
C
      NL = M1 + M2 + 2
C
      CALL LEMARQ(A,B,C,NL,N,M1,M2)
C
      MAT=N+1
46   MAT=MAT-1
      IF (C(MAT).EQ.0) GO TO 46
C
      CLOSE(1)
      RETURN
      END
C
C

```

```

C
SUBROUTINE LEMARQ(A,B,C,NL,N,M1,M2)
C
INTEGER*4 NL,N,M1,M2
REAL*8 A(NL,N),B(NL),C(N)
C
CALL TELA
WRITE(*,50)
50 FORMAT(' *** LENDO MATRIZ [A] ')
DO 70, I=1,M1+M2
DO 60, J=1,N
READ(1,55)A(I,J)
55 FORMAT(F15.8)
60 CONTINUE
70 CONTINUE
C
WRITE(*,80)
80 FORMAT(' *** LENDO VECTOR [B] ')
DO 100,I=1,M1+M2
READ(1,85)B(I)
85 FORMAT(F10.3)
100 CONTINUE
C
WRITE(*,110)
110 FORMAT(' *** LENDO VECTOR [C] ')
DO 130, I=1,N
READ(1,*)C(I)
115 FORMAT(F6.2)
130 CONTINUE
C
RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE SAITELA(IER,S,PSOL,DSOL,M1,M2,N,NL,MAT)
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
REAL*8 PSOL(N),DSOL(NL)
C
CALL TELA
C
WRITE(*,140)IER
140 FORMAT(' INDICADOR DE ERRO (IER) = ',I5)
C
WRITE(*,150)-S
150 FORMAT(' VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S) = ',F10.2)
C
WRITE(*,155)
155 FORMAT(' PRIMAL SOLUTION (PSOL) : ')
DO 157 I=1,MAT
WRITE(*,156)I,PSOL(I)
156 FORMAT(2X,'B',I2,' = ',F7.2)
157 CONTINUE

```

```

DO 165 I=MAT+1,(N-1),2
WRITE(*,160)I/2,PSOL(I),I/2,PSOL(I+1),I/2,(PSOL(I)-PSOL(I+1))
160 FORMAT(2X,'M',I2,'p = ',F7.2,4X,'M',I2,'m = ',F7.2,4X,'M',I2,'=
* ',F7.2)
165 CONTINUE
C
WRITE(*,400)
400 FORMAT(' ')
WRITE(*,410)
410 FORMAT('          DIGITE <ENTER> PARA CONTINUAR ')
PAUSE
RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE SAIIMP( IER,S,PSOL,DSOL,M1,M2,N,NL,MAT)
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
REAL*8 PSOL(N),DSOL(NL)
CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
C
ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
CALL TELA
WRITE(*,10)
10 FORMAT(15X,' A G U A R D E I M P R E S S A O')
C
WRITE(3,15)
15 FORMAT(10X,'* * * * * UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS *
* * *')
WRITE(3,25)
WRITE(3,17) CURSO
17 FORMAT(10X,'CURSO      : ',A40)
WRITE(3,18) ALUNO
18 FORMAT(10X,'ALUNO      : ',A20)
WRITE(3,19) ORIENT
19 FORMAT(10X,'ORIENTADOR: ',A30)
WRITE(3,25)
WRITE(3,20)
20 FORMAT(13X,'*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
WRITE(3,25)
WRITE(3,25)
WRITE(3,23)
23 FORMAT(13X,'          *** P E S O M I N I M O ***')
WRITE(3,25)
WRITE(3,25)
25 FORMAT(' ')
C
WRITE(3,140)IER
140 FORMAT(' INDICADOR DE ERRO (IER)      = ',I5)
C

```



```

        WRITE(3,150)-S
150  FORMAT(' VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S)      = ',F10.2)
C
        WRITE(3,155)
155  FORMAT(' PRIMAL SOLUTION (PSOL) # ' )
        DO 157 I=1,MAT
            WRITE(3,156)I,PSOL(I)
156  FORMAT(2X,'B',I2,' = ',F7.2)
157  CONTINUE
        DO 165 I=MAT+1,(N-1),2
            WRITE(3,160)I/2,PSOL(I),I/2,PSOL(I+1),I/2,(PSOL(I)-PSOL(I+1))
160  FORMAT(2X,'M',I2,' p = ',F7.2,4X,'M',I2,' m = ',F7.2,4X,'M',I2,' =
        * ',F7.2)
165  CONTINUE
C
        RETURN
        END
C
C
C
        SUBROUTINE SAIARQ(IER,S,PSOL,DSOL,M1,M2,N,NL,MAT,NOMSAI,ITEST2)
C
        IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
        IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
        REAL*8 PSOL(N),DSOL(NL)
        CHARACTER NOMSAI*12
        CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
C
        ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
        ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
        CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
        CALL TELA
C
        IF (ITEST2.EQ.0) THEN
            WRITE(*,5)
5          FORMAT(' NOME DO ARQUIVO PARA GRAVACAO DOS RESULTADOS ... ' )
            READ(5,6)NOMSAI
6          FORMAT(A12)
            OPEN(2,FILE =NOMSAI)
                ELSE
                    GO TO 100
        END IF
C
        WRITE(2,15)
15  FORMAT('      * * * *      UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
        * * * *')
        WRITE(2,25)
        WRITE(2,17) CURSO
17  FORMAT(6X,'CURSO      : ',A40)
        WRITE(2,18) ALUNO
18  FORMAT(6X,'ALUNO      : ',A20)
        WRITE(2,19) ORIENT
19  FORMAT(6X,'ORIENTADOR: ',A30)
        WRITE(2,25)

```

```

WRITE(2,20)
20  FORMAT(10X,'*** ANALISE PLASTICA VIA PROGRAMACAO LINEAR ***')
WRITE(2,25)
WRITE(2,25)
WRITE(2,23)
23  FORMAT(10X,'          *** P E S O M I N I M O ***')
WRITE(2,25)
WRITE(2,25)
25  FORMAT('      ')
C
100 WRITE(2,140)IER
140 FORMAT(' INDICADOR DE ERRO (IER)           = ',I5)
C
WRITE(2,150)-S
150 FORMAT(' VALOR DA FUNCAO OBJETIVO (S)     = ',F10.2)
C
WRITE(2,155)
155 FORMAT(' PRIMAL SOLUTION (PSOL) : ')
DO 157 I=1,MAT
WRITE(2,156)I,PSOL(I)
156  FORMAT(2X,'B',I2,' = ',F7.2)
157 CONTINUE
DO 165 I=MAT+1,(N-1),2
WRITE(2,160)I/2,PSOL(I),I/2,PSOL(I+1),I/2,(PSOL(I)-PSOL(I+1))
160 FORMAT(2X,'M',I2,' p = ',F7.2,4X,'M',I2,' m = ',F7.2,4X,'M',I2,' = ',F7.2)
165 CONTINUE
C
CLOSE (2)
RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE TELA
C
INTEGER*2 MODE
CHARACTER CURSO*40,ALUNO*20,ORIENT*30
C
ALUNO='Paulo Eustaquio Raso'
ORIENT='Jose Ricardo Queiroz Franco'
CURSO='Mestrado em Engenharia de Estruturas'
C
MODE=2
CALL QSMODE(MODE)
C
WRITE(*,15)
15  FORMAT('          * * * *  UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
* * * *')
CALL QCMOV(1,22)
WRITE(*,17) CURSO
17  FORMAT(6X,'CURSO           : ',A40)
CALL QCMOV(1,20)
WRITE(*,18) ALUNO
18  FORMAT(6X,'ALUNO           : ',A20)

```

```
CALL QCMOV(1,18)
WRITE(*,19) ORIENT
19  FORMAT(6X, 'ORIENTADOR: ',A30)
WRITE(*,25)
WRITE(*,22)
22  FORMAT(10X, '          *** P E S O M I N I M O ***')
WRITE(*,25)
25  FORMAT('          ')
C
RETURN
END
```