

CONTRIBUIÇÃO À OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO  
DE CABOS EM VIGAS CONTÍNUAS PROTENDIDAS

ENG. LUIZ HENRIQUE CEOTTO

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

Orientador

Prof.Dr. ILIO MONTANARI

Banca Examinadora:

Prof.Dr. Ilio Montanari - (EESC-USP)

Prof.Dr. Regis Latorraca R. Lima - (UNICAMP)

Prof.Dr. José Lourenço B. de A. Cintra - (EP-USP)

São Carlos, setembro de 1985

Ao Eng. VALERIANO CEOTTO, meu pai,  
pelo seu exemplo e pela orientação dada à mi-  
nha formação profissional e de pesquisador.

À ADELAIDE CEOTTO, minha mãe, pe-  
la orientação coerente e serena dada à minha  
formação humana.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ilio Montanari, pela orientação segura durante a execução deste trabalho e por ter-me iniciado no estudo do concreto pretendido.

Aos professores e amigos, Toshiaki Takeya e Wilson Venturini, pelas inúmeras sugestões e incentivos dados a esse trabalho.

A Rui Roberto Casale, datilógrafo dedicado e a João Paulo Moretti, desenhista eficiente, pelo excelente trabalho de datilografia e desenho.

À Universidade Federal de São Carlos, e em especial, aos colegas do Departamento de Engenharia Civil, pelo incentivo e apoio recebido.

À minha esposa, Maria Lúcia, e ao meu filho Henrique, por terem-me compreendido e apoiado nas inúmeras ausências necessárias à elaboração deste trabalho.

Finalmente, a memória do meu querido amigo, professor Laudecir Ferrari, pela contribuição decisiva dada a esse trabalho, e que a vida não permitiu vê-lo concluído.

## SUMÁRIO

No presente trabalho se propõe um processo de otimização do traçado de cabos em projetos de vigas contínuas protendidas, tomando como dados a forma da viga, a resistência do concreto e a envoltória de momentos solicitantes.

Para seu desenvolvimento, utilizaram-se técnicas da análise matricial de estruturas e de processos matemáticos de otimização.

Desenvolveu-se um algoritmo de cálculo que foi transformado em programa para processamento em micro-computadores com memória de 64 Kbytes, em linguagem FORTRAN IV. O algoritmo conduz a duas possibilidades de análise, sendo uma para cabos contínuos ao longo de toda a viga, e outra para cabos interrompidos, tendo ambas, como parâmetro de otimização, a taxa de armadura de protensão, que é proporcional à força de protensão na seção. O algoritmo, bem como o programa, permite a análise de vigas hiperestáticas com qualquer quantidade e relação de vãos, com geometria das seções transversais constantes ou variáveis ao longo da viga, além de não impor, a priori, uma família específica de curvas para o traçado dos cabos de protensão.

O processo desenvolvido no presente trabalho pode ser utilizado em outros tipos de estruturas, tais como pórticos, grelhas e placas, desde que se façam modificações convenientes no algoritmo e no programa. R

## ABSTRACT

In the present work an optimization process for placing prestressed cables in continuous beams has been proposed based on the beam form, the concrete strength and the applied moment envelope.

In order to achieve this process structural matrix analysis techniques and mathematical optimization schemes have been adopted.

An algorithm to carry out the numerical calculation were developed as well as the corresponding FORTRAN-IV program for 64 Kbytes micro-computers. This algorithm directs the analysis to two different alternatives, one for continuous cables throughout the beam and other for interrupted cables, and for both cases the optimization parameter adopted was the prestressed reinforcement which is directly related to the prestressed force acting on the section. The algorithm as well as the computer program allow the hyperstatic beam analysis with any number of arbitrarily lengthed spans, with constant or variable cross sections throughout the beam, and without prescribing any particular form for placing the cables.

The process developed in this work can also be, applied for other structures, such as plane frames, grids and, plates since convenient modifications are introduced into the algorithm and the program presented.

### APRESENTAÇÃO

A otimização do traçado de cabos em projetos de vigas contínuas protendidas tem merecido, nos últimos anos, atenção dos pesquisadores da área de concreto protendido do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos. Os trabalhos praticamente se iniciaram com a Dissertação de Mestrado do Eng. Aloisio E. Assan, em junho de 1974, com o título "Contribuição ao Cálculo Automático de Vigas Contínuas Protendidas". Nesse trabalho, Assan desenvolveu um programa que fazia verificações de tensões em serviço e verificação à ruptura por flexão para cabos previamente fornecidos. Através de tentativas e dos resultados verificados de tentativas anteriores poder-se-ia chegar a bons traçados de cabos, mas os resultados dependiam da experiência e sensibilidade de quem estivesse procedendo a análise. Dando sequência a essa linha de pesquisa, o Eng. Luiz R.S. Agostini defendeu sua Dissertação de Mestrado, em março de 1976, com o tema "Contribuição à Otimização do Traçado de Cabos de Vigas Contínuas Protendidas". Nesse trabalho, Agostini se baseou no programa de Assan, implementando-o com verificações de perdas de protensão devido aos fenômenos de atrito do cabo com a bainha, retração e deformação lenta do concreto. Particularmente estudou a otimização do traçado de cabos para vigas de três tramos com relação de vãos 0,6:1,0:0,6, através do processo de tentativa e análise.

Devido a complexidade do tratamento analítico envolvido na questão, até o ano de 1980 não havia se encon-

trado um processo de otimização do traçado de cabos, ou mesmo de se obter um cabo solução para uma viga contínua pretendida, que não fosse pelo processo de tentativa e análise.

Em agosto de 1980, em um capítulo de sua tese de Livre-Docência intitulada "Protensão em Vigas com Torção", o Prof. Dr. Ilio Montanari desenvolveu um algoritmo de cálculo iterativo, a partir dos trabalhos de M. Chaussin publicados em 1975 em Paris, que permitia a obtenção de uma linha de pressão no interior do fuso de passagem, através de transformações lineares do limite superior deste fuso para cabos com força de protensão constante. Este algoritmo permitiu também a fixação de um ponto de passagem para a linha de pressão no interior do fuso, recurso este importante no processo de otimização do traçado de cabos.

Em abril de 1983, o Eng. Fernando Antonio Jorge aproveitou as idéias de Montanari e aprimorou o algoritmo de cálculo, em sua Dissertação de Mestrado intitulada "Contribuição ao Cálculo do Traçado Econômico de Cabos de Protensão em Vigas Contínuas", obtendo o traçado ótimo (teórico) para uma família de curvas previamente escolhida, que representam a posição da linha de pressão no interior do fuso, para vigas com força de protensão constante.

Assim, embora os trabalhos de Montanari e Jorge tenham obtidos processos iterativos de análise, e portanto um grande avanço sobre os processos utilizados por Assan e Agostini, até aquela data não havia se conseguido um processo geral de otimização, levando-se em conta, inclusive, fatores de projeto importantes tais como interrupção de cabos ao longo da viga, perdas de protensão e verificação à ruptura.

O presente trabalho tem a intenção de contribuir um pouco mais nessa linha de pesquisa, e propõe um processo de otimização, que pretende levar em conta as variáveis de perdas de protensão e interrupção de cabos, para vigas de geometria qualquer.

I N D I C E

SUMÁRIO .....	ii
ABSTRACT .....	iii
APRESENTAÇÃO .....	iv
NOTAÇÕES .....	x
CONVENÇÕES DE SINAIS .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1-1
1.1 - Traçado de cabos de protensão em vigas ....	1-1
1.1.1 - Conceitos básicos de estática de protensão .....	1-1
1.1.2 - Importância do traçado de cabos numa viga .....	1-5
1.1.3 - Simplificações utilizadas no mode lo de cálculo .....	1-6
1.2 - Verificações das tensões normais em servi ço .....	1-13
1.2.1 - Fuso limite .....	1-13
1.2.2 - Possibilidade de protensão .....	1-17
1.2.3 - Possibilidade de protensão com força constante na viga .....	1-19
2. OBTENSÃO DO MOMENTO FINAL DE PROTENSÃO POR PRO- CESSO DISCRETO .....	2-1
2.1 - A matriz de influência [MI] .....	2-2
2.2 - A matriz [MT] .....	2-6



2.3 - A matriz [MIT] .....	2-8
2.4 - Propriedades da matriz [MIT] .....	2-9
2.5 - Exemplo de obtenção das matrizes [MI], [MT] e [MIT] para uma viga dada .....	2-15
3. A OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE CABOS .....	3-1
3.1 - Condição de existência de uma curva-momento contida numa região plana .....	3-1
3.2 - Determinação de uma curva-momento no inte- rior de uma região .....	3-5
3.3 - Algoritmo geral para otimização do traçado de cabos contínuos com força de protensão .. constante .....	3-9
3.3.1 - Consideração de cabo contínuo com força constante .....	3-9
3.3.2 - Obtenção e otimização da curva-momen- to de protensão {MP} .....	3-13
3.3.3 - Determinação da posição do cabo de protensão .....	3-15
3.3.4 - Resumo esquemático do algoritmo ....	3-17
3.4 - Algoritmo geral para otimização do traçado de cabos interrompidos .....	3-20
3.4.1 - Considerações de cabo resultante contínuo com força variável ao longo do seu comprimento por processo dis- creto .....	3-21
3.4.2 - Obtenção e otimização da curva-momen- to de protensão {MP} .....	3-22
3.4.3 - Determinação da curva {MPI} .....	3-24
3.4.4 - Determinação da força de protensão e do cabo resultante ao longo da viga.	3-31
3.4.5 - Resumo esquemático do algoritmo ....	3-32
3.4.6 - Utilização dos resultados fornecidos pelo algoritmo .....	3-34

4. INFLUÊNCIA DAS PERDAS DE PROTENSÃO NA OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE CABOS .....	4-1
4.1 - Efeito das perdas de protensão por atrito .	4-2
4.1.1 - Vigas com cabos contínuos .....	4-2
4.1.2 - Vigas com interrupção de cabos ....	4-3
4.2 - Efeito das perdas de protensão que provocam variação na força de protensão .....	4-5
4.3 - Efeito conjunto dos dois tipos de perdas ..	4-12
5. EXEMPLOS RESOLVIDOS .....	5-1
5.1 - Exemplo 1 .....	5-1
5.1.1 - Arquivo de dados do programa .....	5-3
5.1.2 - Relatórios fornecidos pelo programa e gráficos explicativos .....	5-5
5.2 - Exemplo 2 .....	5-27
5.2.1 - Arquivo de dados do programa .....	5-29
5.2.2 - Relatórios fornecidos pelo programa e gráficos explicativos .....	5-31
5.3 - Comentários .....	5-58
6. CONCLUSÃO .....	6-1
6.1 - Considerações finais sobre o processo .....	6-1
6.2 - Contribuições que se pretendem dar com este trabalho .....	6-2
BIBLIOGRAFIA .....	B-1
ANEXO I .....	I-1
I.1 - Perdas por atrito entre a armadura e a bainha .....	I-1
I.2 - Perdas que ocorrem ao longo do tempo .....	I-3
I.3 - Determinação das perdas de protensão por retração e deformação lenta do concreto ...	I-6

ANEXO II .....	II-1
II.1 - Os programas .....	II-1
II.2 - Montagem do arquivo de dados .....	II-3
II.3 - Listagem dos programas .....	II-6
Programa VIGPRO .....	II-6
Programa DOIS .....	II-14
Programa TRESA .....	II-18
Programa TRESB .....	II-28
Programa TRES C .....	II-38
Programa TRES D .....	II-41

### NOTAÇÕES

- A - Área da seção transversal geométrica da viga
- $A_p$  - Área da seção transversal da armadura de protensão
- BS - Distância entre a borda superior da viga ao baricentro da seção marcada transversalmente ao eixo longitudinal da viga.
- BI - Distância entre a borda inferior da viga ao baricentro da seção marcado transversalmente ao eixo longitudinal da viga.
- c - Cobrimento construtivo da armadura de protensão, definido como a distância mínima permitida entre o centro geométrico da armadura de protensão e a face mais próxima.
- e - Excentricidade de uma força normal, em relação ao baricentro da seção geométrica da viga.
- E ou  $E_c$  - Módulo de elasticidade do concreto
- f - Flecha
- $f_{ck}$  - Resistência característica de compressão do concreto.
- $f_{ptk}$  - Resistência característica à ruptura do aço de protensão.
- $f_{pyk}$  - Resistência característica ao escoamento do aço de protensão.
- $f_{tk}$  - Resistência característica de tração do concreto

- g - Cargas permanentes
- I - Momento de inércia de uma seção
- k - Coeficiente utilizado no processo de otimização da curva-momento.
- $\ell$  - Vão teórico de um tramo de viga
- M - Curva momento
- $M_i$  - Curva-momento produzida por ações unitárias na direção dos vínculos liberados no sistema fundamental.
- MP - Curva-momento de protensão
- MPI - Curva-momento de protensão associada ao sistema fundamental (isostático) de uma viga.
- $M_{max}$  - Contorno superior da envoltória de momentos solicitantes.
- $M_{min}$  - Contorno inferior da envoltória de momentos solicitantes
- $M'_p$  - Momento hiperestático de protensão
- n - Número de seções de estudo de uma viga
- P - Força de protensão
- $P^*$  - Força de protensão após perdas
- q - Cargas móveis
- u - Ação provocada por mudança de direção ou ancoragem de um cabo.
- ws - Módulo de resistência de uma seção referido a fibra pertencente a borda superior.
- wi - Módulo de resistência de uma seção referido a fibra pertencente a borda inferior.
- x - Abscissa de uma seção transversal de uma viga (o eixo das abscissas coincide com o eixo longitudinal da viga).
- y - Ordenada que indica a posição do cabo de protensão em relação ao baricentro da seção.

Letras Gregas

- $\alpha$  - Ângulo de desvio de um cabo de protensão
- $\beta$  - Indica em termos percentuais a perda de protensão numa seção.
- $\Delta$  - Indica variação
- $\delta$  - Deslocamento
- $\sigma$  - Tensão normal
- $\sigma_c$  - Tensão normal no concreto
- $\sigma_{c\text{adm}}$  - Tensão admissível de compressão no concreto
- $\sigma_{t\text{adm}}$  - Tensão admissível de tração no concreto

- OBS.: 1) as demais variáveis utilizadas neste trabalho são definidas no texto.
- 2) alguns dos símbolos relacionados não estão de acordo com a notação internacional, para facilitar a correspondência com a simbologia utilizada nos programas de computador.

CONVENÇÕES DE SINAIS

Momento Fletor: positivo quando tracionar as fibras abaixo do baricentro da seção. A representação gráfica utilizada não é a usual, isto é, os diagramas terão os sentidos positivos indicados pela orientação do sistema de eixo indicado nas figuras.

Força Normal: positiva quando de tração

Tensão Normal: positiva quando de tração

Ordenadas: as ordenadas dos pontos na seção são positivas quando acima do eixo baricêntrico.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 - TRAÇADO DE CABOS DE PROTENSÃO EM VIGAS

#### 1.1.1 - Conceitos Básicos de Estática de Protensão

A finalidade da protensão é criar esforços que se opõem àqueles provocados pelas ações externas e pelo peso próprio da estrutura. Qualquer estrutura, ao ser protendida, se deforma. Em estruturas isostáticas esta deformação não é impedida pelos vínculos, não havendo assim alteração nas reações de apoio. Nesse caso o sistema estático é auto-equilibrado, e o momento fletor de protensão é dado pelo produto entre a força de protensão e a excentricidade do cabo em relação ao baricentro da seção, para qualquer seção ao longo da viga.

Numa estrutura hiperestática, tal liberdade de deslocamentos não existe, provocando assim esforços de impedimentos. Esse fenômeno pode ser esquematizado na Fig. 1.1. A reação de apoio  $F_b$  tem intensidade suficiente para anular o deslocamento  $\delta_b$ . O momento fletor na viga será  $P.y$  acrescido de uma parcela provocada pela introdução da força  $F_b$ . Dessa maneira pode-se escrever:

$$M_p = P.y + M'_p \quad (1.1)$$

onde  $M'_p$  é chamado de momento de impedimento ou momento hiperestático de protensão, e sua ação provoca um desvio na curva de momentos fletores ( $p.y$ ) do sistema fundamental (isostático).



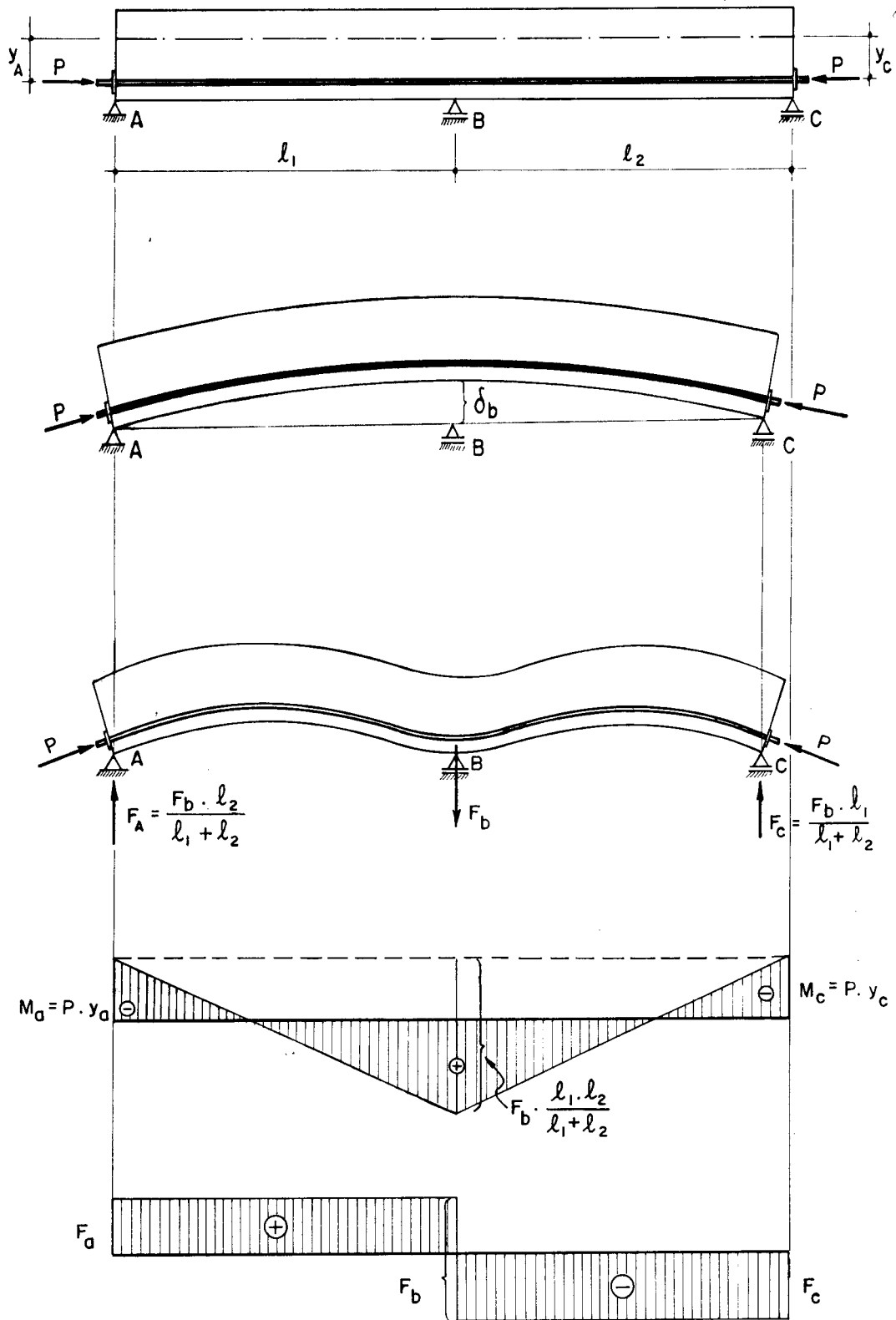


Fig. 1.1 - Esforços provocados pela protensão por cabo reto em viga contínua de dois tramos.

Os hiperestáticos de protensão podem ser calculados pelo processo dos esforços, onde eles representam as incógnitas superabundantes do sistema estaticamente determinado. No sistema fundamental, a força de protensão provoca deslocamentos  $\delta_{i0}$ , na direção  $i$  dos vínculos liberados. Seja  $\delta_{ij}$  o deslocamento na estrutura fundamental na direção  $i$  devido a uma ação unitária aplicada na direção  $j$ . Pelo princípio dos trabalhos virtuais, desprezando-se a parcela de deslocamento provocada pela força cortante, tem-se:

$$\delta_{ij} = \int_{\ell} \frac{M_i \cdot M_j}{E \cdot I} \cdot d\ell \quad (1.2)$$

onde  $M_i$  representa o momento atuante na estrutura fundamental quando se aplica uma ação unitária na direção  $i$ , sendo da mesma forma com  $M_j$ . Para uma viga com  $n$  vínculos superabundantes, tem-se:

$$\begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{nn} \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \delta_{10} \\ \delta_{20} \\ \vdots \\ \delta_{n0} \end{Bmatrix} = \{ \phi \} \quad (1.3)$$

onde  $\{x\}$  representa as incógnitas hiperestáticas do problema. Pode-se notar que o cálculo dos efeitos da protensão numa viga hiperestática é bastante dificultoso, principalmente ao se levar em conta que para traçados mais complexos de cabos é necessário empregar processos aproximados para resolver a integral dada pela expressão 1.2. Note-se que para cada nova forma do cabo é necessário recalcular os termos independentes  $\delta_{i0}$  da equação 1.3 resolvendo-se a seguir o sistema.

Transformações lineares na posição do diagrama de momentos fletores do sistema fundamental, nos vínculos superabundantes, não afetam a curva dos momentos finais de protensão (fig. 1.2), conforme é sabido do processo dos esforços, muito embora afete o valor das reações de apoio. Em outras palavras, pode-se deslocar livremente o diagrama de momentos fletores do sistema fundamental no plano da viga desde que suas flechas (\*1) permaneçam inalteradas. Caso os

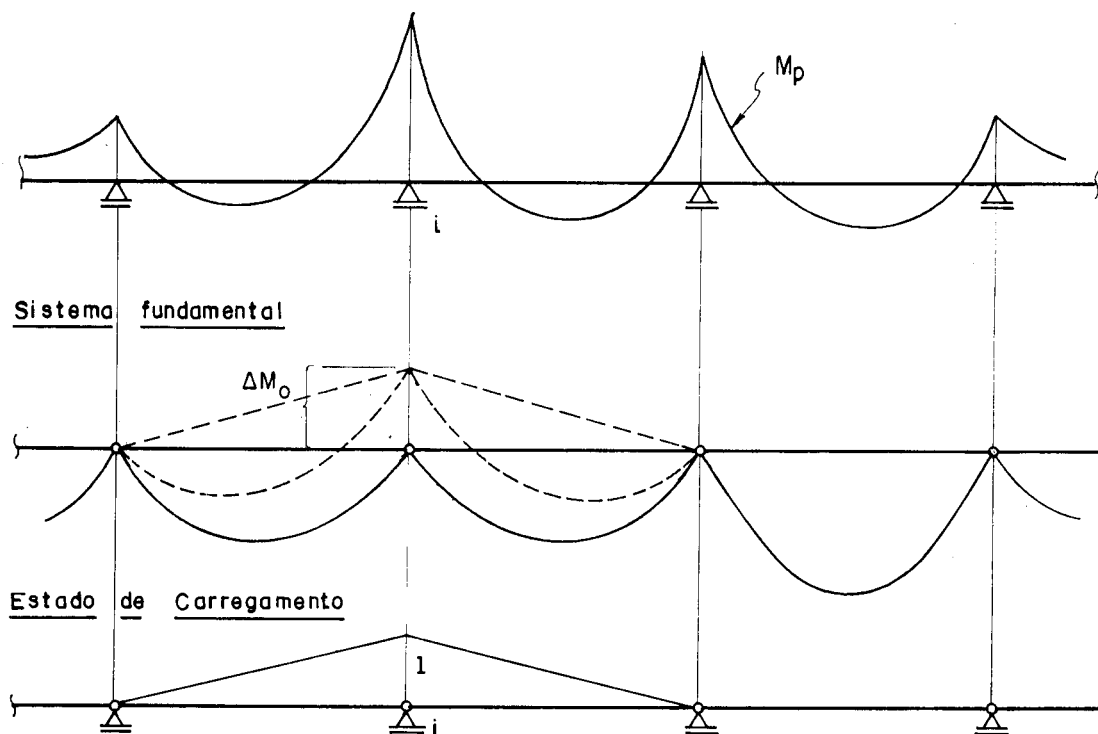


Fig. 1.2 - Transformações lineares na posição do diagrama de momento fletor do sistema fundamental.

\*1 - Para efeito deste trabalho, e com o único intuito de simplificar e agilizar o texto, será considerado como corda ao segmento de reta que une os dois pontos extremos do diagrama de momentos fletores num tramo (pontos sobre apoios) e flecha a qualquer segmento de reta, em qualquer posição deste tramo, que una a corda a pontos do diagrama no interior do tramo perpendicularmente ao eixo da viga.

apoios de extremidade não impeçam o giro da viga nesse ponto, as transformações lineares nesses apoios não poderão ocorrer, pelo fato de não possuírem incógnitas superabundantes. Nesse caso, o diagrama de momentos finais de protensão, nesses pontos, coincidirá sempre com o diagrama de momentos do sistema fundamental.

### 1.1.2 - Importância do traçado de cabos numa viga

Os esforços solicitantes que um cabo protendido provoca numa viga, podem ser determinados considerando a força de protensão como um carregamento externo, atuando vetorialmente nos seus pontos de ancoragem. Se esse cabo possuir trechos curvos, aparecerão também esforços solicitantes "u" devido a mudança de direção " $\alpha$ " (fig. 1.3).

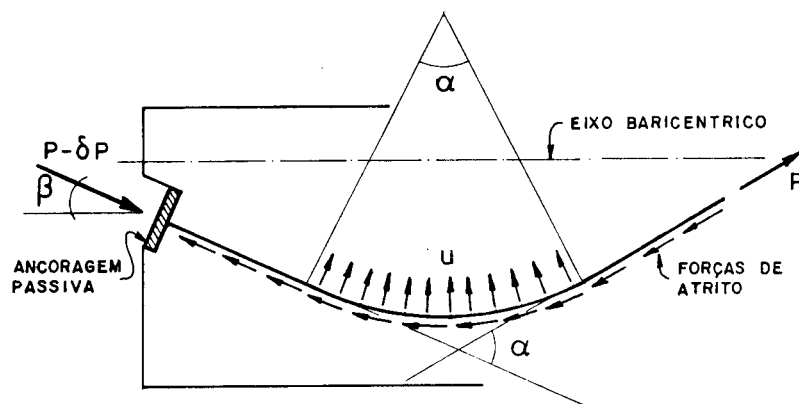


Fig. 1.3 - Esforços solicitantes que um cabo protendido provoca numa viga.

Devido ao deslizamento que o cabo sofre ao ser protendido, surgem também forças de atrito na mesma direção e sentido contrário à da protensão. Essas forças são maiores junto aos trechos curvos e menores nos trechos retos. Assim, em vigas retas, são três os tipos de esforços solicitantes que um cabo protendido provoca: esforços de ancoragem, esforços de mudança de direção e esforços de a-

trito. Dependendo do traçado dos cabos, pode-se provocar esforços solicitantes adequados na estrutura de maneira a se opor aos esforços solicitantes provocados pelo peso próprio e cargas móveis que nela também atuam. O traçado ótimo é aquele que provoca o melhor efeito de protensão numa viga, com a menor força de protensão. Do ponto de vista teórico, esse traçado é o que necessitará de menor seção de armadura.

### 1.1.3 - Simplificações utilizadas no modelo matemático de cálculo

As vigas protendidas utilizadas em pontes são geralmente muito esbeltas, variando sua relação altura/vão no intervalo de 1/15 a 1/35. Este fato permite aproximações no modelo de cálculo sem a ocorrência de erros sensíveis nos resultados. A seguir serão listadas as aproximações mais importantes utilizadas no desenvolvimento desse trabalho:

#### A) Componente Normal da Força de Protensão

A primeira destas aproximações refere-se à componente normal (longitudinal) da força de protensão que, mesmo para cabos curvos, será considerada igual ao valor da respectiva força de protensão no cabo. Essa aproximação é possível pelo fato da componente normal variar proporcionalmente ao cosseno do ângulo que a trajetória do cabo faz com o eixo baricêntrico da viga. Como os ângulos são muito pequenos os cossenos desses ângulos são muito próximos de 1. Pode-se, de uma maneira simples, ter uma idéia da ordem de grandeza do erro máximo cometido nesta aproximação. Considere-se um cabo com trajetória parabólica para uma viga de seção constante com a relação altura/vão da ordem de 1/15, portanto com uma das menores esbeltezes normalmente utilizadas em projetos de vigas protendidas. O maior ângulo que o cabo faz com o eixo baricêntrico é encontrado junto aos apoios (fig. 1.4) e o erro pode ser estimado facilmente por:

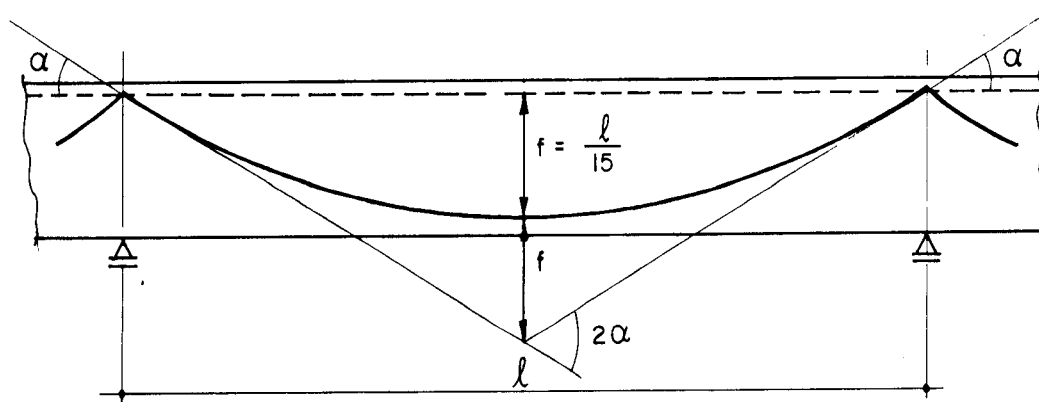


Fig. 1.4 - Ângulo de inclinação de um cabo parabólico sobre o apoio.

$$\tan \alpha = \frac{2f}{\left(\frac{l}{2}\right)} = \frac{4f}{l} = \frac{4}{15} = 0,2667$$

$$\cos \alpha = 0,9662$$

$$\text{Erro máximo} = 1 - \cos \alpha = 0,0338 \text{ (3,38\%)}$$

Para vigas com relação 1/25 este erro não ultrapassa 1,25%, portanto com valor muito pequeno, além do fato de ser encontrado somente próximo aos apoios (fig. 1.5).

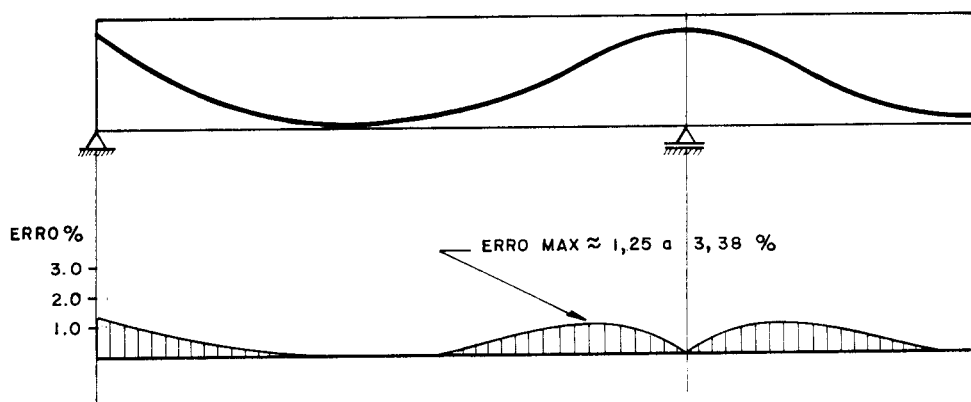


Fig. 1.5 - Diagrama esquemático da distribuição do erro da aproximação do item A.

B) Representação do traçado de cabos curvos por uma poligonal inscrita

A segunda aproximação refere-se ao traçado de cabos curvos, que no modelo de cálculo desenvolvido, têm forma poligonal. O erro envolvido nessa aproximação é tanto menor quanto maior for o número de vértices da poligonal inscrita, ver (fig. 1.6).

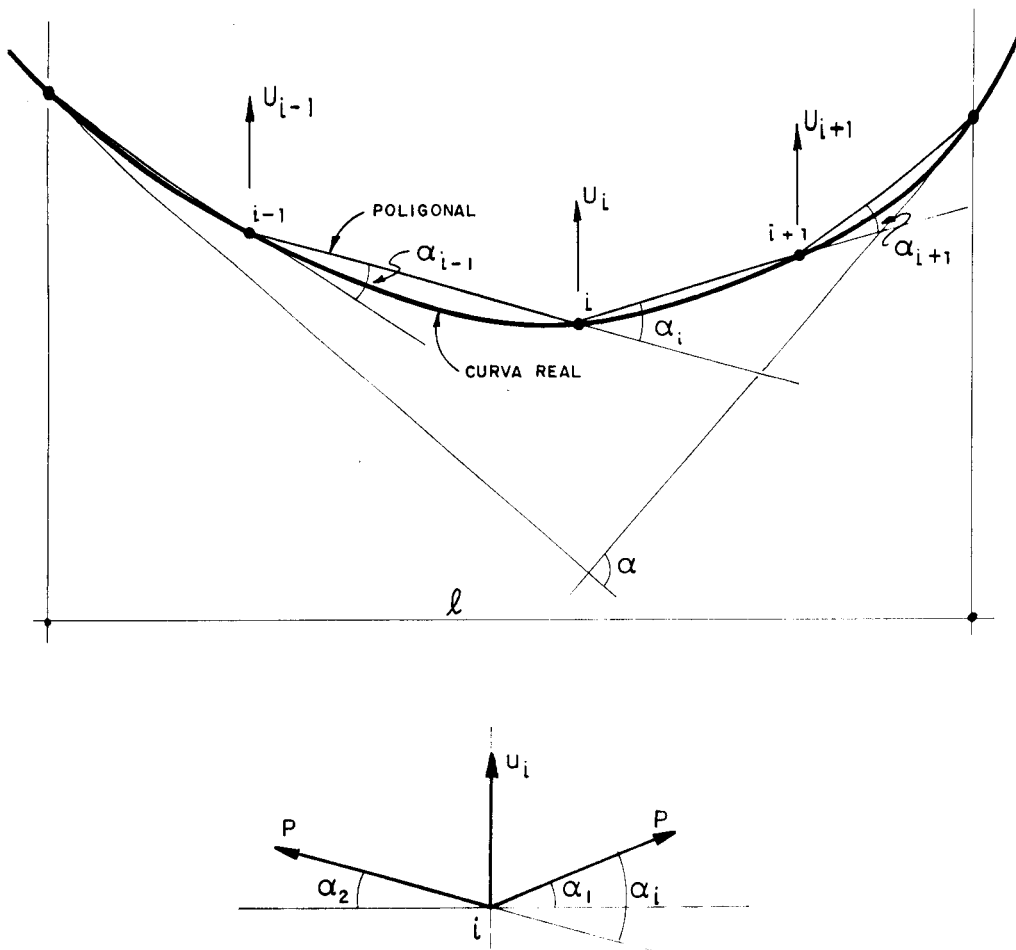


Fig. 1.6 - Aproximação de um cabo curvo por uma poligonal.

As componentes  $U_i$  da ação do cabo de protensão na viga serão consideradas sempre na direção transversal ao eixo da mesma e terão valor:

$$U_i = P_i \cdot \alpha_i \quad (1.4)$$

onde  $P_i$  é a força de protensão atuante no cabo no ponto  $i$  e  $\alpha_i$  o ângulo de desvio do cabo nesse mesmo ponto. Isto pode ser entendido pelo fato dos ângulos de desvio serem muito pequenos é, nesse caso, o seno do ângulo pode ser confundido com o próprio ângulo. Da fig. 1.6 tem-se:

$$U_i = P_i \operatorname{sen} \alpha_1 + P_i \operatorname{sen} \alpha_2 = P_i (\operatorname{sen} \alpha_1 + \operatorname{sen} \alpha_2) \approx$$

$$\approx P_i (\alpha_1 + \alpha_2) = P_i \cdot \alpha_i$$

A ordem de grandeza do erro envolvido na expressão 1.4 pode facilmente ser estimada. Considerando-se um traçado parabólico para o cabo de protensão para uma viga com relação altura/vão da ordem de 1/15, tem-se (fig. 1.6):

$$\alpha \approx \frac{4f}{l} \quad (1.5)$$

$$\alpha_i \approx \frac{\alpha}{n} = \frac{4f}{l \cdot n} = \frac{4}{15 \cdot n} \quad (1.6)$$

Seja  $n$  o número de vértices da curva poligonal que representa o cabo. Como a priori não se tem o valor de  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  e sim de  $\alpha_i = \alpha_1 + \alpha_2$ , a estimativa da ordem de grandeza do erro será feita em relação ao  $\operatorname{sen} \alpha_i \approx \operatorname{sen} \alpha_1 + \operatorname{sen} \alpha_2$ . O resultado desta comparação é mostrado na tabela abaixo.

n	$\alpha_i$ (rad)	$\operatorname{sen} \alpha_i$	erro(%)
1	0,26667	0,26352	0,315
2	0,13333	0,13294	0,040
5	0,05333	0,05331	0,003
10	0,02667	0,02667	$3,16 \times 10^{-4}$



A ordem de grandeza do erro global da aproximação de um cabo parabólico por uma poligonal é apresentado na fig. 1.7, em função do número de vértices da mesma. Esse gráfico foi obtido através da razão entre o momento de engastamento perfeito gerado por um cabo parabólico, numa viga bi-engastada, e o momento de engastamento perfeito gerado por uma poligonal inscrita nessa parábola. Para vigas esbeltas, a relação altura/vão não interfere nesse erro.

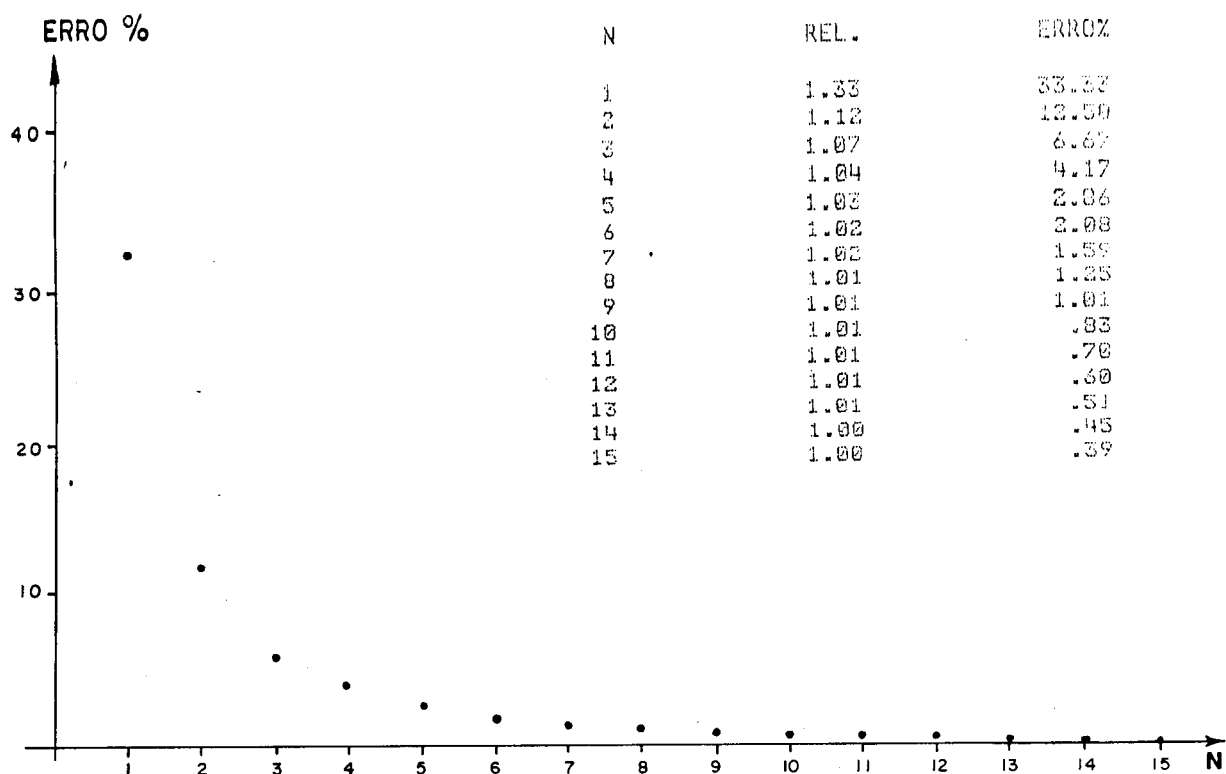


Fig. 1.7 - Evolução do erro de aproximação do momento de engastamento perfeito de um cabo poligonal inscrito com "n" vértices internos.

### C) Consideração de apoio puntiforme

A terceira aproximação de cálculo utilizada foi a consideração de apoios puntiformes, desprezando-se inclusive as possíveis rigidezes dos aparelhos de apoio. As consequências dessa aproximação são muito pequenas porquanto, nas vigas protendidas normalmente utilizadas, os aparelhos de apoio possuem dimensões bastante reduzidas em relação às dimensões da viga.

#### D) Consideração de seção variável por trechos constantes

A consideração de seção variável por trechos constantes tem relação direta com o algoritmo de cálculo utilizado, e não com o modelo matemático em si. Assim, para obtenção da matriz  $[MT]$  (ver Capítulo 2), considerou-se que as variações das propriedades das seções ao longo da viga seriam representadas por uma sucessão de trechos com propriedades constantes (fig. 1.8.a).

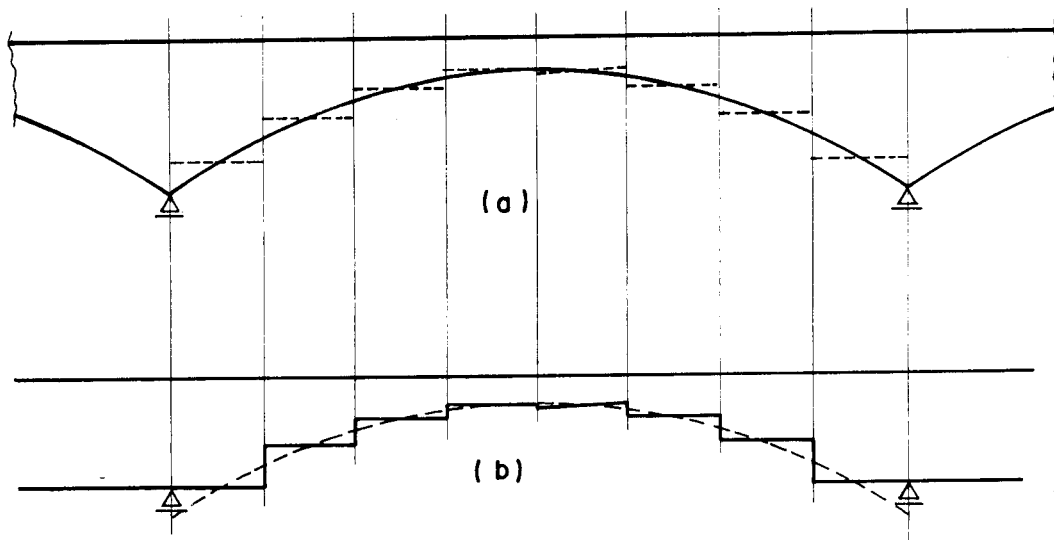


Fig. 1.8 - Consideração de seção variável por trechos constantes.

Para verificações da localização geométrica dos cabos de protensão no interior da viga, utilizou-se como contorno, no caso de vigas de seção variável, os segmentos de retas que ligam os centros dos trechos de seção constantes, como a linha tracejada da fig. 1.8.b.

#### E) Interrupção de cabos

O modelo de cálculo proposto adota, como condição, a interrupção de cabos feita de modo que o diagrama de momentos fletores e a curva de força de protensão do cabo resul-

tante, não sofra descontinuidade abrupta, e que as mesmas possam ser representada como curvas contínuas, ver fig. 1.9. Para diminuir a complexidade no modelo de cálculo, não foram consideradas maiores condições construtivas a não ser a adoção de um cobrimento de armadura pré-fixado. Assim, condições de arredondamento de cabos, condições de ancoragem na extremidade da viga, condições de densidade de cabos numa região da seção, etc, foram deixadas para próximos trabalhos.

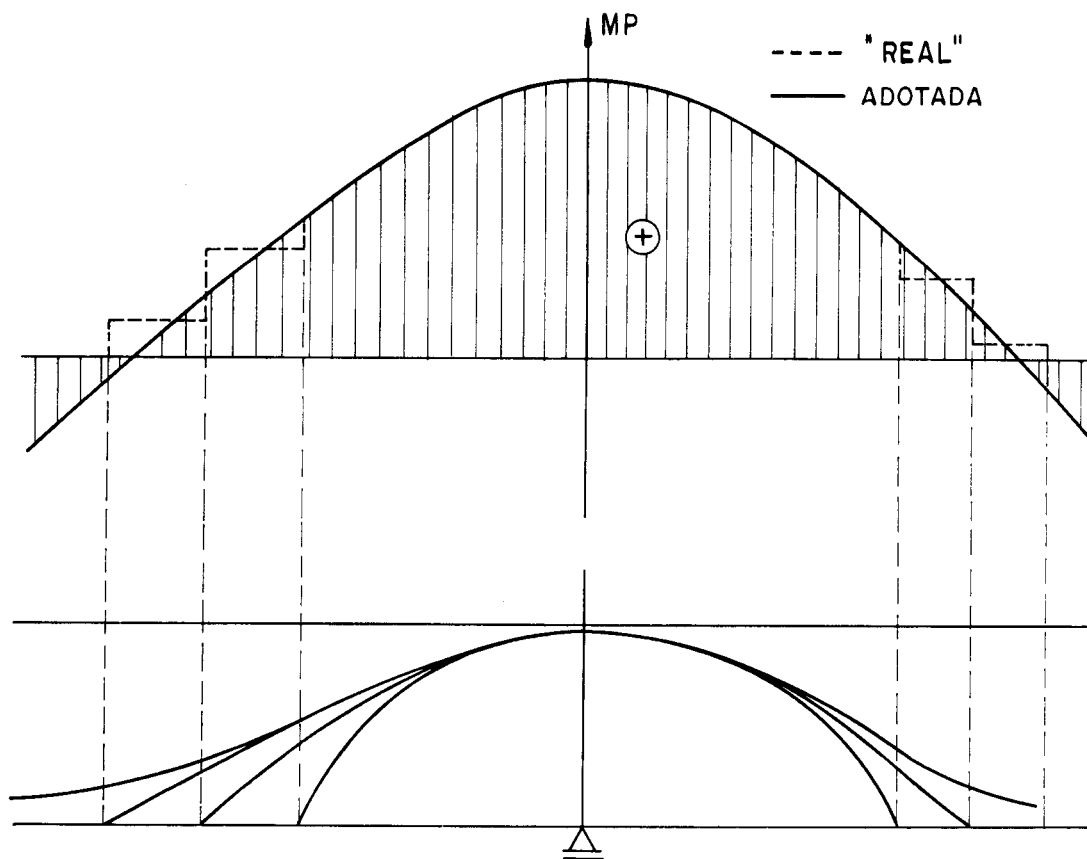


Fig. 1.9 - Representação "adotada" do DMF para cabos interrompidos.

## 1.2 - VERIFICAÇÕES DAS TENSÕES NORMAIS EM SERVIÇO

Aproveitando-se a definição de segurança formulada por L. Modesto [12]; "diz-se que uma estrutura oferece segurança quando ela possui condições de suportar - sem atingir um estado limite, imediato ou a longo prazo, e mais ainda, em condições não precárias de funcionabilidade - todas as ações, com as intensidades e combinações mais desfavoráveis, de atuação possível ao longo da vida útil para a qual foi projetada". No atual estágio do conhecimento, concebem-se dois tipos de estados limites:

- . Estados limites de utilização
- . Estados limites de ruína

Os estados limites considerados em projetos estruturais dependem dos tipos de materiais de construção envolvidos, do processo construtivo empregado, além da natureza das solicitações que a estrutura vai ser submetida. Para obras de concreto protendido, a NB-116 ainda não incorporou os conceitos de estados limites e seus critérios de segurança são descritos nos seus itens 3 (esforços solicitantes), 4 (esforços resistentes) e 5 (coeficiente de segurança e tensões admissíveis).

Para a análise do traçado de cabos que é desenvolvida neste trabalho pode ser utilizado qualquer envoltória de momentos solicitantes, decorrente de qualquer tipo de carregamento ou fase construtiva da obra.

### 1.2.1 - Fuso limite

Será admitido que os vazios correspondentes às bainhas das armaduras não ultrapassam a 2% da área total das seções transversais geométricas da peça. Assim, atendendo as condições do item 4.1 da NB-116, para qualquer se-

ção genérica, é necessário verificar quatro situações limites de tensões (\*2), para as fibras mais afastadas do baricentro da seção.

- Verificação à compressão na fibra superior

$$\sigma = -\frac{P}{A} - \frac{M_{\text{máx}}}{w_s} - \frac{M_p}{w_s} \geq \sigma_{\text{c adm}} \quad (1.7)$$

- Verificação à tração na fibra superior

$$\sigma = -\frac{P}{A} - \frac{M_{\text{mín}}}{w_s} - \frac{M_p}{w_s} \leq \sigma_{\text{t adm}} \quad (1.8)$$

- Verificação à compressão na fibra inferior

$$\sigma = -\frac{P}{A} - \frac{M_{\text{mín}}}{w_i} - \frac{M_p}{w_i} \geq \sigma_{\text{c adm}} \quad (1.9)$$

- Verificação à tração na fibra inferior

$$\sigma = -\frac{P}{A} - \frac{M_{\text{máx}}}{w_i} - \frac{M_p}{w_i} \leq \sigma_{\text{t adm}} \quad (1.10)$$

onde, pelo ítem 5.3.2 da NB-116:

$$\sigma_{\text{c adm}} \geq \frac{-f_{ck}}{2} \quad (1.11)$$

$$\sigma_{\text{t adm}} \leq \begin{cases} 0 & \text{(Protensão completa)} & (1.12) \\ 2\sigma_t & \text{(Protensão limitada)} & (1.13) \end{cases}$$

---

\*2 - Quando for usada a palavra tensão, destituída de qualquer outro adjetivo, deve-se entender como tensão normal.

sendo  $\sigma_t$  a tensão mínima de ruptura do concreto à tração simples, como prescrito na MB-212, conforme ítem 1.5.4 da NB-116. Rearranjando os termos das inequações (1.7) a (1.10),

$$M_p \leq -\frac{w_s}{A} \cdot P - w_s \cdot \sigma_{c adm} - M_{\max} \quad (1) \quad (1.14)$$

$$M_p \geq -\frac{w_s}{A} \cdot P - w_s \cdot \sigma_{t adm} - M_{\min} \quad (2) \quad (1.15)$$

$$M_p \geq -\frac{w_i}{A} \cdot P - w_i \cdot \sigma_{c adm} - M_{\min} \quad (3) \quad (1.16)$$

$$M_p \leq -\frac{w_i}{A} \cdot P - w_i \cdot \sigma_{t adm} - M_{\max} \quad (4) \quad (1.17)$$

Representando graficamente as inequações (1.14) a (1.17), e levando em conta que todos os termos das inequações, exceto  $P$  e  $M_p$ , são constantes para uma seção genérica e que  $w_i < 0$  e  $w_s > 0$ , (fig. 1.10):

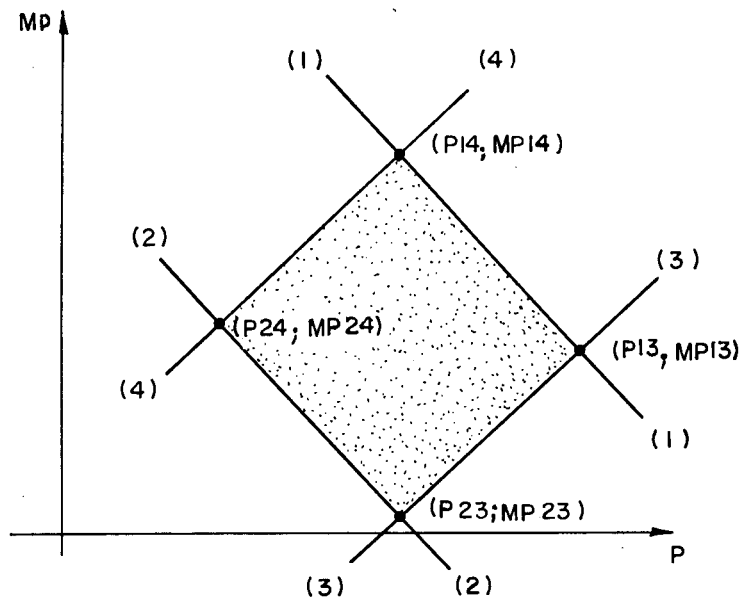


Fig. 1.10 - Representação gráfica do fusão limite para uma seção genérica.

Os pares  $(P; M_p)$  contidos no interior do paralelogramo da fig. 1.9, correspondem a valores que satisfazem si multaneamente as inequações (1.7) a (1.10) e portanto, são soluções para a seção. Examinando-se as inequações (1) e (2), verifica-se que possuem a mesma declividade ( $-w_s/A < 0$ ), o mesmo acontecendo com as inequações (3) e (4) com declividade positiva ( $-w_i/A > 0$ ). Pode-se notar também, que as diago nais do paralelogramo são paralelas aos eixos coordenados se  $w_s = -w_i$ . Para vigas tipo "T" onde  $-w_i > w_s$ , o paralelogramo estará "inclinado" no sentido horário com  $P_{14} > P_{23}$ . Como as inequações devem valer para todas as seções, tem-se para a viga, uma região tridimensional, cuja seção transver sal em qualquer ponto é um paralelogramo (ver fig. 1.11). Essa região tridimensional chamar-se-á fuso limite.

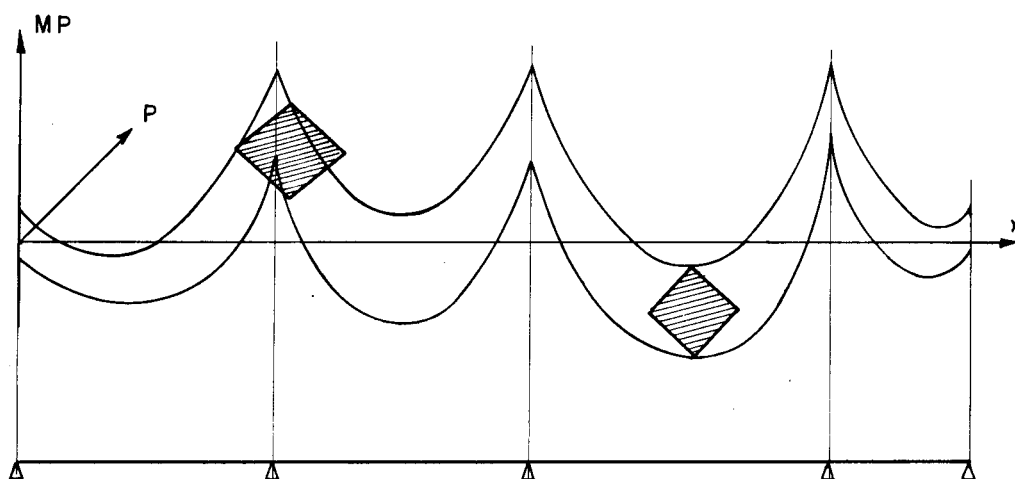


Fig. 1.11 - Representação esquemática do fuso limite numa viga.

Qualquer solução para a viga, deverá ser representada por uma curva-momento contínua de forma adequada, contida no interior do fuso limite, a qual constitui-se num ponto dentro do paralelogramo da fig. 1.9, para uma seção transversal qualquer.

### 1.2.2 - Possibilidade de protensão

Para que haja possibilidade de protensão para uma viga dada, duas situações obrigatoriamente deverão ocorrer, em qualquer seção:

- o fuso limite deve estar "aberto"
- $P_{13} > 0$

A primeira condição refere-se a necessidade de se ter possibilidade de passar uma curva solução na seção, e portanto as retas (1) e (2) e as retas (3) e (4) deverão no máximo coincidir. Nesse caso o conjunto de pontos solução para a seção se constitui num segmento de reta ou num ponto (ver fig. 1.12).

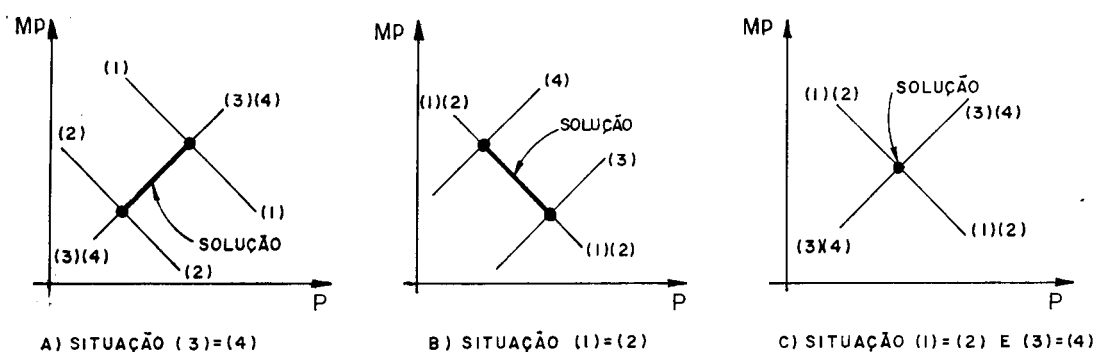


Fig. 1.12 - Situações extremas para a seção transversal do fuso limite em condições de fuso "aberto".

Observando-se a fig. 1.12 tem-se a seguinte relação entre as inequações (3) e (4):

$$-w_i \cdot \sigma_{cadm} - M_{\min} \leq -w_i \cdot \sigma_{tadm} - M_{\max} \quad (1.18)$$



e das inequações (1) e (2):

$$-ws \cdot \sigma_{\text{cadm}} - M_{\text{máx}} \geq -ws \cdot \sigma_{\text{tadm}} - M_{\text{mín}} \quad (1.19)$$

Aplicando-se as devidas operações algébricas entre (1.18) e (1.19) chega-se a:

$$M_{\text{máx}} - M_{\text{mín}} \leq wi (\sigma_{\text{cadm}} - \sigma_{\text{tadm}}) \quad (1.20)$$

$$M_{\text{máx}} - M_{\text{mín}} \leq -ws \cdot (\sigma_{\text{cadm}} - \sigma_{\text{tadm}}) \quad (1.21)$$

Como o 2º termo das expressões acima é sempre positivo, pode-se escrever (1.20) e (1.21) numa única expressão mais simples:

$$\boxed{M_{\text{máx}} - M_{\text{mín}} < |w \cdot (\sigma_{\text{cadm}} - \sigma_{\text{tadm}})|} \quad (1.22)$$

onde  $w$  é o menor valor absoluto entre  $ws$  e  $wi$ .

A segunda situação exige  $P13 > 0$ , ou seja, que o fuso limite esteja, pelo menos, parcialmente contido nos quadrantes de  $P > 0$ . Determinando-se o valor de  $P13$  através da inequação (1.14) e (1.15) para uma seção qualquer, tem-se:

$$-\frac{ws}{A} \cdot P13 - ws \cdot \sigma_{\text{cadm}} - M_{\text{máx}} = -\frac{wi}{A} \cdot P13 - wi \cdot \sigma_{\text{cadm}} - M_{\text{mín}} \quad (1.23)$$

$$P13 = A \left[ \frac{-\sigma_{\text{cadm}}(ws-wi) - (M_{\text{máx}} - M_{\text{mín}})}{ws-wi} \right] > 0 \quad (1.24)$$

Da expressão (1.24), tem-se:

$$-\sigma_{\text{cadm}}(ws-wi) - (M_{\text{máx}} - M_{\text{mín}}) > 0$$

$$\boxed{M_{\text{máx}} - M_{\text{mín}} < -\sigma_{\text{cadm}}(ws-wi)} \quad (1.25)$$

As inequações (1.22) e (1.25) representam as condições máximas de sollicitação, a que as seções de uma viga podem ser submetidas de maneira que a viga tenha a possibilidade de ser protendida.

Caso se adote protensão completa ( $\sigma_{tadm} = 0$ ) não é necessário fazer a verificação dada na inequação (1.25), pois  $(w_s - w_i) > w$ . De uma maneira geral a inequação (1.22) prevalece sobre a inequação (1.25).

### 1.2.3 - Possibilidade de protensão com força constante na viga

Para que uma viga possa ser protendida com força constante é necessário que a curva solução (P;MP) esteja contida numa seção longitudinal do fuso limite. É necessário satisfazer duas condições para que isto ocorra:

- . Que o fuso limite tenha uma forma tal que permita uma seção longitudinal contínua ao longo de todo o comprimento da viga.
- . Que seja possível encontrar uma curva solução contida nessa seção transversal.

É objeto deste ítem discutir a primeira condição, a segunda será discutida no capítulo 3.

Seja  $P24_{m\acute{a}x}$  o maior valor de P24 ao longo da viga e  $P13_{m\grave{i}n}$  o menor valor de P13. Para que o fuso limite possa satisfazer a 1.ª condição acima:

$$P13_{m\grave{i}n} > P24_{m\acute{a}x} \quad (1.26)$$

onde:

$$P13_{m\grave{i}n} = -A \left[ \sigma_{cadm} + \frac{M_{m\acute{a}x} - M_{m\grave{i}n}}{w_s - w_i} \right]_{m\grave{i}n} \quad (1.27)$$

$$P24_{m\acute{a}x} = -A \left[ \sigma_{tadm} - \frac{M_{m\acute{a}x} - M_{m\grave{i}n}}{w_s - w_i} \right]_{m\acute{a}x} \quad (1.28)$$

## 2. OBTENÇÃO DO MOMENTO FINAL DE PROTENSÃO POR PROCESSO DISCRETO

No ítem 1.1.1, discutiu-se que, na obtenção dos hiperestáticos de protensão, através do processo dos esforços, era necessário uma grande quantidade de operações de cálculo. Num processo de análise iterativo, para cada modificação na posição do cabo, as integrais para cálculo dos  $\delta_{i0}$  deverão ser recalculadas, representando um esforço de cálculo considerável, muito embora o cálculo dos  $\delta_{ij}$ , e consequentemente a triangularização da matriz do sistema dado em (1.6), possa ser aproveitado. Esse algoritmo de cálculo, mesmo com a utilização de computador, demonstrou-se na época do início do trabalho, inviável para ser utilizado num processo de otimização. Havia também a possibilidade da utilização do método de compensação de momentos, que para tornar-se simples, era necessário fixar um tipo de curva para o traçado de cabos, como por exemplo, parábolas. Nesse caso o algoritmo perderia em generalidade, além de ficar muito difícil a consideração da interrupção de cabos.

Dessa maneira, optou-se por obter a matriz de transformação linear que, fundada no comportamento elástico da viga, transformasse diretamente o diagrama de momentos do sistema fundamental (isostático) em diagrama final de protensão (hiperestático).

Considerou-se, o processo desenvolvido neste capítulo, como discreto pelo fato de, através do estudo do comportamento da estrutura em uma quantidade finita de seções, poder-se estudar o comportamento de grandezas contínuas, de um meio contínuo. Dessa maneira, com o único intuito de sim

plificar o texto, será considerado confundível grandezas contínuas com os seus respectivos vetores, os quais representam os valores dessas grandezas em seções ou locais pré-determinados. Assim, será comum o uso por exemplo, da substituição da palavra "vetor" por "curva", quando isto facilitar a explicação.

Deve-se acrescentar também que as propriedades da álgebra linear utilizadas nesse e nos próximos capítulos poderão ser verificadas em Murdoch [14], capítulo 2.

## 2.1 - A MATRIZ DE INFLUÊNCIA [MI]

Para uma viga contínua, com qualquer número de tramos, pode-se obter a matriz de transformação linear que relaciona ações aplicadas em pontos previamente escolhidos ao longo da viga, com os respectivos esforços produzidos por essas ações. A obtenção dessa matriz pode ser conseguida diretamente de transformações lineares sobre a inversa da matriz de rigidez da viga ou, de uma maneira mais simples visualmente, aplicando-se ações unitárias, uma de cada vez, nos pontos escolhidos, calculando-se a seguir os esforços produzidos nesses mesmos pontos (ver fig. 2.1). Esse procedimento nada mais é do que a obtenção das "linhas de influência" para esses pontos.

Assim, escolhendo-se como ações, forças unitárias, e como esforços, os momentos fletores que atuam nas seções, pode-se organizar uma matriz de transformação linear de tal forma que o elemento  $MI_{ij}$  corresponda ao momento que atua na seção  $i$  quando aplicada uma força unitária na seção  $j$ . Organizada a matriz dessa forma, a coluna  $j$  representará os momentos produzidos ao longo de todos os pontos pré-estabelecidos da viga, quando aplicado uma força unitária na seção  $j$ . A essa matriz, dá-se o nome de matriz de influência [MI], a qual possui a propriedade de relacionar linearmente ações aplicadas em pontos de uma viga com seus respectivos

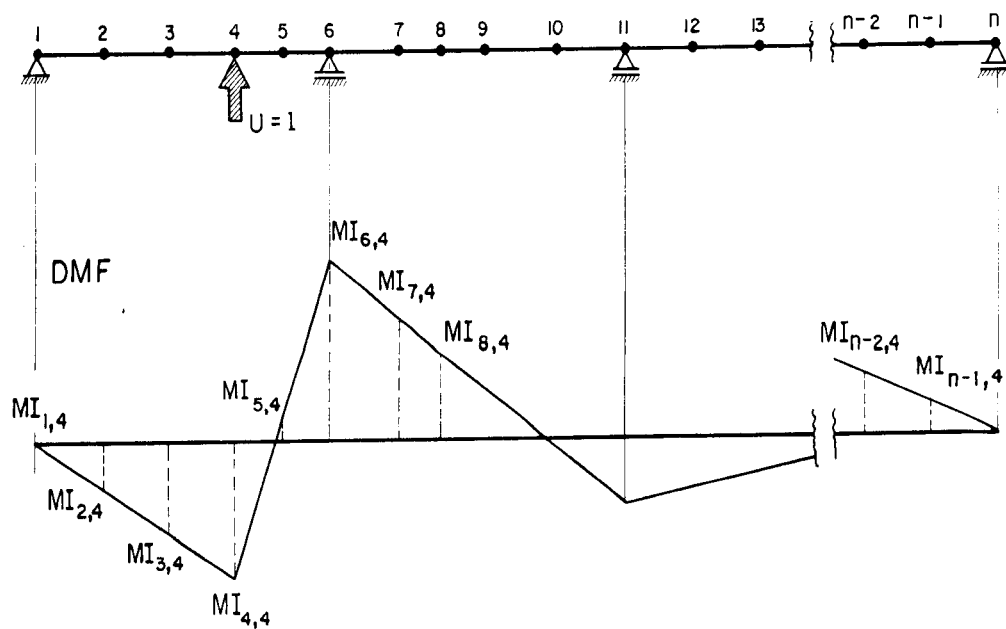


Fig. 2.1 - Obtenção dos elementos da matriz  $[MI]$

momentos fletores produzidos. Essa propriedade pode ser representada pela expressão (2.1).

$$\{M\} = [MI] * \{U\} \quad (2.1)$$

onde  $\{M\}$  representa os momentos obtidos ao longo da viga nos pontos estabelecidos, e  $\{U\}$  as forças aplicadas nesses mesmos pontos, ambos organizados em forma de vetor.

No caso de apoios extremos não engastados, em vez de se aplicar força unitária, deve-se aplicar momento unitário na montagem da matriz  $[MI]$  com a finalidade de absorver a influência da ancoragem dos cabos na extremidade da viga. Ao conjunto de direções de aplicação de ações, nos pontos escolhidos, chama-se de sistema global de coordenadas (SGC) da viga (ver fig. 2.2).

Para os pontos sobre apoios extremos não engastados, o sentido positivo do momento aplicado deverá ser horário para o apoio esquerdo e anti-horário para o apoio direito. Nos demais pontos internos, as forças aplicadas serão positivas quando dirigidas para cima.

Pode-se notar que forças aplicadas nos pontos internos da viga não produzem esforços na direção das coordena-

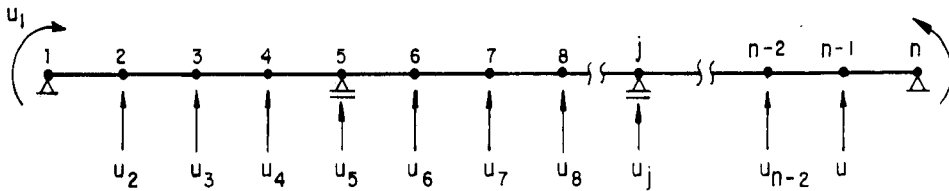


Fig. 2.2 - Sistema global de coordenadas da viga com seus sentidos positivos.

nadas dos apoios extremos, e forças aplicadas nas coordenadas localizadas sobre apoios internos não produzem esforços em qualquer ponto da viga. Dessa maneira, a matriz  $[MI]$  possui, em sua primeira e última linha, zero em todas as posições, exceto nas posições correspondentes à diagonal, que possuem valor unitário. Além disso, as colunas da matriz  $[MI]$  associadas às coordenadas situadas sobre apoios internos, são constituídas de elementos nulos.

Da maneira como o SGC foi definido, suas coordenadas poderão sofrer impedimento de deslocamento vertical somente em apoios internos. Para os apoios extremos, só foi definida a possibilidade de impedimento a giro ( $u_1$  e  $u_n$ ). Dessa maneira, para facilitar o texto a seguir, será considerado como vínculos ou apoios internos, qualquer restrição que puder ser feita nas coordenadas do SGC, inclusive  $u_1$  e  $u_n$ , e como vínculos ou apoios externos a restrição de deslocamentos vertical feito nas seções 1 e n que não são definidas no SGC.

Para a viga da fig. 2.2, a matriz  $[MI]$  terá a forma dada abaixo:

$$\begin{matrix}
 \left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ \vdots \\ M_j \\ \vdots \\ M_n \end{matrix} \right\} = \begin{matrix}
 & \text{coluna 5} & & \text{coluna j} & \\
 \left[ \begin{matrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 MI_{21} & MI_{22} & MI_{23} & MI_{24} & 0 & MI_{26} & \dots & 0 & \dots & MI_{2n} \\
 MI_{31} & MI_{32} & MI_{33} & MI_{34} & 0 & MI_{36} & \dots & 0 & \dots & MI_{3n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 MI_{j1} & MI_{j2} & MI_{j3} & MI_{j4} & 0 & MI_{j6} & \dots & 0 & \dots & MI_{jn} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0
 \end{matrix} \right] \left\{ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \vdots \\ u_j \\ \vdots \\ u_n \end{matrix} \right\}
 \end{matrix}
 \end{matrix}$$

Supondo agora que os esforços representados pelo vetor  $\{U\}$  são ocasionados pela mudança de direção e ancoragem no apoio de um cabo de protensão poligonal, pode-se esquematizar o sistema estático como na fig. 2.3.

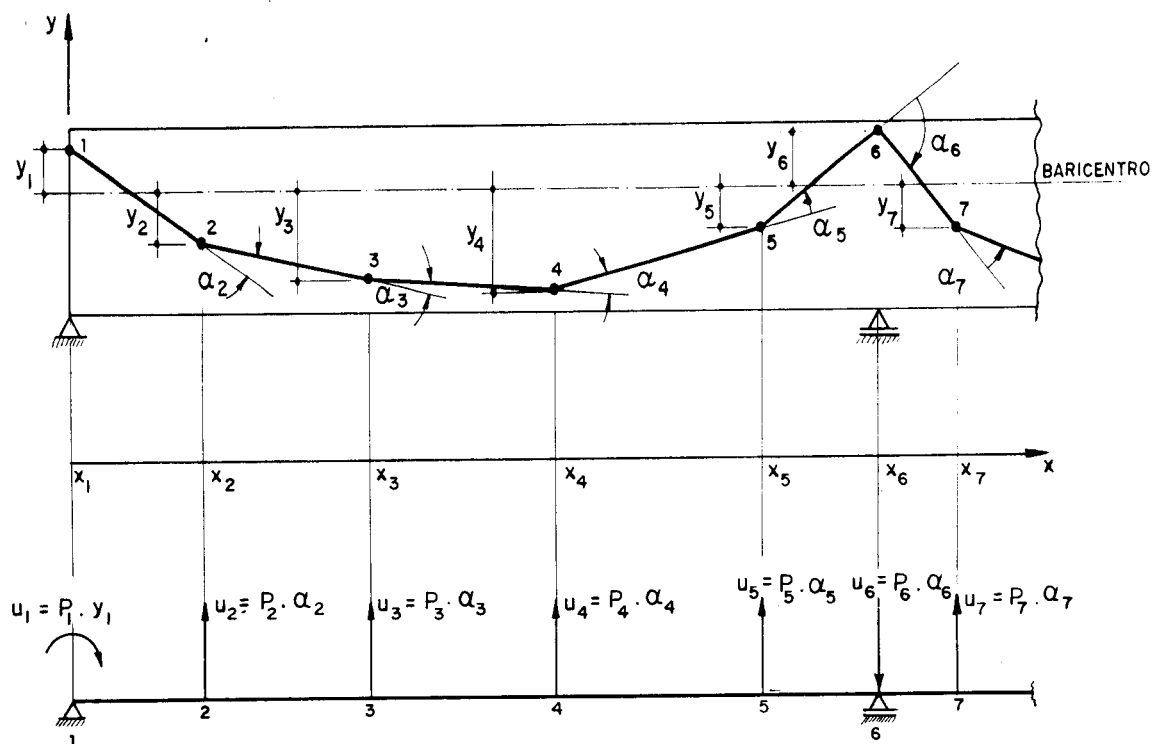


Fig. 2.3 - Sistema estático equivalente de um cabo poligonal.

O vetor  $\{U\}$  pode ser escrito na forma matricial:

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & & & 0 \\ & \alpha_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \alpha_n \\ 0 & & & & \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{Bmatrix} \quad (2.2)$$

sendo  $\alpha_1 = y_1$  e  $\alpha_n = y_n$ , ou de forma abreviada:

$$\{U\} = [\alpha] * \{P\} \quad (2.3)$$

substituindo-se a equação 2.3 na equação 2.1, tem-se:

$$\{ M_p \} = [ MI ] * [ \alpha ] * \{ P \} \quad (2.4)$$

que é a expressão que relaciona a forma geométrica do cabo e a força de protensão com o momento final de protensão.

## 2.2 - A MATRIZ [MT]

Pode-se representar a matriz  $[\alpha]$  como uma transformação linear das ordenadas do cabo em cada seção, ou seja, dado um cabo com ordenadas definidas em pontos escolhidos, podem-se deduzir os termos da matriz da transformação linear que determina  $\alpha_i$  para qualquer parte do cabo (ver fig. 2.4), tem-se:

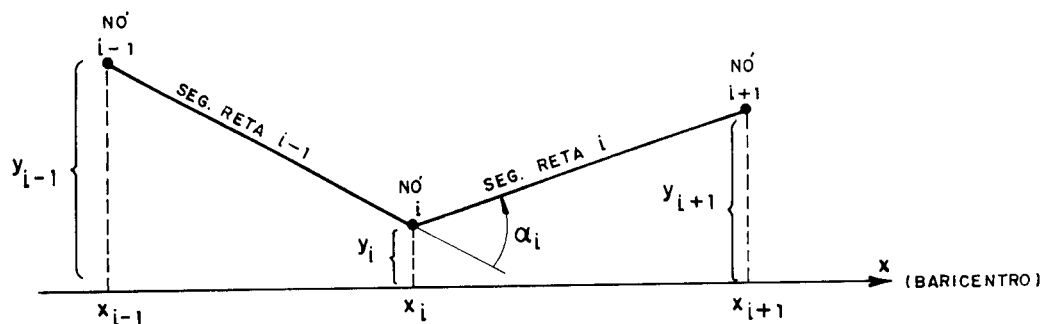


Fig. 2.4 - Representação de um trecho de cabo poligonal.

A declividade do segmento de reta  $i-1$  ( $n\bar{o}_{i-1} \rightarrow n\bar{o}_i$ ) vale:

$$\text{Decl}_{i-1} = \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \quad (2.5)$$

A declividade do segmento de reta  $i$  ( $n\bar{o}_i \rightarrow n\bar{o}_{i+1}$ ) vale:

$$\text{Decl}_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \quad (2.6)$$



Como as vigas aqui estudadas são esbeltas (ver ítem 1.1.3), podendo-se confundir o valor em radianos dos ângulos  $\alpha_i$  com suas respectivas tangentes, a expressão 2.7 motivará um erro muito pequeno no cálculo de  $\alpha_i$ .

$$\alpha_i \cong \text{Decl}_{i-1} - \text{Decl}_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \quad (2.7)$$

Através de um simples desenvolvimento algébrico na expressão 2.7, agrupando-se os valores conhecidos de  $x_i$  convenientemente, tem-se:

$$\alpha_i \cong \frac{1}{x_i - x_{i-1}} \cdot y_{i-1} - \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{(x_{i+1} - x_i)(x_i - x_{i-1})} \cdot y_i + \frac{1}{x_{i+1} - x_i} \cdot y_{i+1} \quad (2.8)$$

Para os apoios extremos os valores de  $\alpha_1$  e  $\alpha_n$  são respectivamente, os valores da ordenada do cabo  $y_1$  e  $y_n$ , pois  $P_1 \cdot y_1$  e  $P_n \cdot y_n$  são momentos aplicados nessas extremidades. Assim, pode-se definir a matriz [MT] que transforma as ordenadas do cabo, em pontos conhecidos, na matriz [ $\alpha$ ]:

$$MT_{11} = 1$$

$$MT_{1i} = 0, \forall i \quad (\text{o símbolo } \forall \text{ significa "qualquer"})$$

$$MT_{nn} = 1 \quad (\text{sendo } n \text{ a última seção à direita da viga})$$

$$MT_{in} = 0, \forall i$$

$$MT_{i,i-1} = \frac{1}{x_i - x_{i-1}}, \forall i \neq 1, \neq n$$

$$MT_{i,i} = -\frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{(x_{i+1} - x_i)(x_i - x_{i-1})} \quad \forall i \neq 1, \neq n$$

$$MT_{i,i+1} = \frac{1}{x_{i+1} - x_i}, \quad \forall i \neq 1, \neq n$$

O restante dos termos da matriz [MT], não referidos acima, são nulos. Pode-se esquematizar a matriz [MT] como abaixo:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{x_2 - x_1} - \frac{x_3 - x_1}{(x_3 - x_2)(x_2 - x_1)} & \frac{1}{x_3 - x_2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{x_i - x_{i-1}} - \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{(x_{i+1} - x_i)(x_i - x_{i-1})} & \frac{1}{x_{i+1} - x_i} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{x_{n-1} - x_{n-2}} - \frac{x_n - x_{n-2}}{(x_n - x_{n-1})(x_{n-1} - x_{n-2})} & \frac{1}{x_n - x_{n-1}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Fazendo-se a matriz [y] como sendo a matriz diagonal contendo os valores das ordenadas do cabo, tem-se:

$$[\alpha] = [MT] * [y] \quad (2.9)$$

Deve-se ressaltar o fato de que a matriz [MT] é completamente determinada pelas abcissas dos pontos selecionados.

### 2.3 - A MATRIZ [MIT]

Pode-se finalmente obter a matriz [MIT] que transforma o diagrama de momentos do sistema fundamental (isostático) em diagrama final de protensão (hiperestático). Substituindo-se a expressão (2.9) na expressão (2.4), tem-se:

$$\{MP\} = [MI] * [MT] * [Y] * \{P\} \quad (2.10)$$

fazendo-se:

$$\{MPI\} = [Y] * \{P\} \quad (2.11)$$

e

$$[MIT] = [MI] * [MT] \quad (2.12)$$

pode-se escrever a equação 2.10 na sua forma final:

$$\{MP\} = [MIT] * \{MPI\} \quad (2.13)$$

onde  $\{MPI\}$  representa o diagrama de momentos de protensão no sistema fundamental, o qual, em qualquer ponto da estrutura e independente do sistema isostático escolhido, tem valor igual ao produto da força de protensão pela ordenada do cabo (em relação ao baricentro), naquele ponto.

Para viga protendida com força de protensão constante, a expressão 2.13 pode ser escrita de outra forma:

$$\{e\} = [MIT] * \{y\} \quad (2.14)$$

que relaciona a posição do cabo com a respectiva linha de pressão.

#### 2.4 - PROPRIEDADES DA MATRIZ $[MIT]$

A matriz  $[MIT]$  tem propriedades bastante importantes para o desenvolvimento deste trabalho, propriedades essas que decorrem dos princípios fundamentais da estática das estruturas. As mais importantes são discutidas a seguir:

Propriedade 1:  $DET [MIT] = 0$

A matriz  $[MIT]$  não tem inversa, ou seja, para uma estrutura qualquer, a cada diagrama de momentos do sistema

fundamental pode-se associar um e somente um diagrama de momentos hiperestáticos, mas a relação inversa não existe, pe-lo fato de que nem toda curva representa um diagrama de momentos hiperestáticos. A propriedade 1 pode ser facilmente demonstrada sabendo-se que  $\text{DET} [MI] = 0$ , pois a matriz  $[MI]$  possui colunas (referentes às coordenadas dos apoios internos) nulas.

como

$$\text{DET} [MIT] = \text{DET} [MI] \cdot \text{DET} [MT] = 0 \cdot \text{DET} [MI] = 0 \quad (2.15)$$

Propriedade 2:  $[MIT]^n = [MIT]$

O produto da matriz  $[MIT]$  por ela própria, "n" vezes, tem como resultado a própria matriz  $[MIT]$ . Essa propriedade advém do fato de que; se escolhermos como diagrama de momentos do sistema fundamental o próprio diagrama hiperestático associado, os hiperestáticos de protensão serão nulos. Ou seja, se  $\{MP\}$  é definido como um diagrama de momentos hiperestático:

$$\{MP\} = [MIT] * \{MP\} \quad (2.16)$$

e conseqüentemente:

$$\begin{aligned} \{Mp\} &= [MIT] * [MIT] * \{Mp\} \\ \{Mp\} &= \underbrace{[MIT] * [MIT] * \dots * [MIT]}_{\text{"n" vezes}} * \{Mp\} \end{aligned} \quad (2.17)$$

portanto, comparando-se as expressões 2.16 e 2.17, conclui-se a validade dessa propriedade. Na matemática, as matrizes que possuem essa propriedade são chamadas de **matrizes de projeção**.

As demais propriedades referem-se a produtos internos da matriz [MIT], e para discutí-las é necessário introduzir-se o conceito de sua partição. Da propriedade 1, viu-se que a matriz [MIT] possui determinante nulo, e portanto possui linhas ou colunas linearmente dependentes. Seja  $r$  o posto da matriz [MIT], ou seja, a maior ordem da matriz MIT, após reorganização de suas linhas e colunas, na qual  $\text{DET [MIT]}_{r \times r} \neq 0$ , ou de outra forma, o número máximo de linhas ou colunas linearmente independentes da matriz [MIT]. Chamando-se de NA o número de vínculos superabundantes da viga, e de N o número de seções de estudo previamente escolhidas pode-se determinar o posto da matriz [MIT] por:

$$r = N - NA \quad (2.18)$$

reordenando-se a matriz [MIT] e os vetores {MP} e {MPI} da expressão 2.13, permutando-lhes linhas e colunas, de maneira que, na parte inferior-direita da matriz [MIT] e inferior dos vetores {MP} e {MPI}, fiquem armazenados os termos correspondentes às linhas ou colunas linearmente dependentes, pode-se escrever a expressão 2.13 da seguinte forma:

$$\begin{array}{l} r \\ \left\{ \begin{array}{c} \text{MP}_1 \\ \text{---} \\ \text{MP}_2 \end{array} \right\} \\ r-n \end{array} = \begin{array}{cc} \overbrace{\quad}^r & \overbrace{\quad}^{r-n} \\ \left[ \begin{array}{cc} \text{MIT}_{11} & \text{MIT}_{12} \\ \text{---} & \text{---} \\ \text{MIT}_{21} & \text{MIT}_{22} \end{array} \right] & * \end{array} \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{c} \text{MPI}_1 \\ \text{---} \\ \text{MPI}_2 \end{array} \right\} \\ r \\ r-n \end{array} \quad (2.19)$$

onde o índice 1 representa as equações linearmente independentes e o índice 2, as linearmente dependentes. A singularidade da matriz [MIT] deve-se ao fato da matriz [MI] possuir colunas, referidas às coordenadas restritas do SGC, com todos os elementos nulos. Dessa maneira, as respectivas colunas da matriz [MIT] são linearmente dependentes das demais, ou seja, a partição de índice 2, dos vetores da ex-

pressão 2.19, está associada às coordenadas sobre apoios internos da viga. Fazendo-se o produto contido na expressão 2.12, após reorganização das linhas e colunas das matrizes envolvidas, tem-se:

$$\begin{array}{c}
 \left. \begin{array}{c} r \\ n-r \end{array} \right\} \begin{array}{|c|c|} \hline \text{MIT}_{11} & \text{MIT}_{12} \\ \hline \text{MIT}_{21} & \text{MIT}_{22} \\ \hline \end{array} \\
 \end{array} = \begin{array}{c}
 \left. \begin{array}{c} r \\ n-r \end{array} \right\} \begin{array}{|c|c|} \hline \text{MI}_{11} & \text{MI}_{12} \\ \hline \text{MI}_{21} & \text{MI}_{22} \\ \hline \end{array} * \\
 \end{array}$$

$$* \begin{array}{c}
 \left. \begin{array}{c} r \\ n-r \end{array} \right\} \begin{array}{|c|c|} \hline \text{MT}_{11} & \text{MT}_{12} \\ \hline \text{MT}_{21} & \text{MT}_{22} \\ \hline \end{array} \quad (2.20)$$

Observando-se o detalhamento da matriz  $[MI]$  da figura 2.3, é fácil observar que, após o reordenamento descrito acima, as partições  $[MI_{12}]$  e  $[MI_{22}]$  ficam totalmente constituídas de zeros. Assim, desenvolvendo-se o produto da expressão 2.20, tem-se:

$$[MIT_{11}] = [MI_{11}] * [MT_{11}] + [MI_{12}] * [MT_{21}] = [MI_{11}] * [MT_{11}] \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned}
 [MIT_{12}] &= [MI_{11}] * [MT_{12}] + [MI_{12}] * [MT_{22}] = \\
 &= [MI_{11}] * [MT_{12}] \quad (2.22)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [MIT_{21}] &= [MI_{21}] * [MT_{11}] + [MI_{22}] * [MT_{21}] = \\
 &= [MI_{21}] * [MT_{11}] \quad (2.23)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [MIT_{22}] &= [MI_{21}] * [MT_{12}] + [MI_{22}] * [MT_{22}] = \\
 &= [MI_{21}] * [MT_{12}] \qquad (2.24)
 \end{aligned}$$

Com base nas expressões 2.21 a 2.24, pode-se agora enunciar outras propriedades da matriz  $[MIT]$ .

$$\text{Propriedade 3: } [MIT_{22}] - [MIT_{21}] * [MIT_{11}]^{-1} * [MIT_{12}] = [\emptyset] \qquad (2.25)$$

Esse produto interno da matriz  $[MIT]$ , contendo todas as suas partições, pode aparentemente parecer destituído de significado, mas é na verdade uma identidade, a qual foi de grande valia durante a pesquisa, e será usada na demonstração da propriedade 5.

Sua demonstração é bastante simples. Substituindo-se as expressões 2.21 a 2.24 na expressão 2.25, tem-se:

$$\begin{aligned}
 [MI_{21}] * [MT_{12}] - ([MI_{21}] * [MT_{11}]) * ([MI_{11}] * [MT_{11}])^{-1} * \\
 * ([MI_{11}] * [MT_{12}]) = [\emptyset]
 \end{aligned}$$

que usando-se a propriedade associativa das matrizes,

$$\begin{aligned}
 [MI_{21}] * [MT_{12}] - [MI_{21}] * ([MT_{11}] * ([MI_{11}] * [MT_{11}])^{-1} * \\
 * ([MI_{11}]) * [MT_{12}]) = [\emptyset]
 \end{aligned}$$

como:

$$([MI_{11}] * [MT_{11}])^{-1} = [MT_{11}]^{-1} * [MI_{11}]^{-1}$$

pode-se escrever:

$$\begin{aligned}
 & [MI_{21}] * [MT_{12}] - [MI_{21}] * [I] * [I] * [MT_{12}] = \\
 & = [MI_{21}] * [MT_{12}] - [MI_{21}] * [MT_{12}] = [\emptyset]
 \end{aligned}$$

como se queria demonstrar.

$$\begin{aligned}
 \text{Propriedade 4: } \{MPI_1\} &= [MIT_{11}]^{-1} * (\{MP_1\} - [MIT_{12}] * \\
 & * \{MPI_2\}) \quad (2.26)
 \end{aligned}$$

Essa propriedade indica que, conhecido o momento de protensão ao longo da viga  $\{MP_1\}$ , a posição da curva de momentos do sistema fundamental  $\{MPI_1\}$  pode ser obtida como uma transformação linear do momento de protensão, arbitrando-se o ponto de passagem de  $\{MPI\}$  sobre os apoios internos  $\{MPI_2\}$ . Essa propriedade nada mais é do que a comprovação, para o processo discreto, da propriedade descrita na fig.1.2. Sua demonstração é bastante simples, e pode ser obtida do desenvolvimento do produto matricial dado na equação 2.19.

$$\{MP_1\} = [MIT_{11}] * \{MPI_1\} + [MIT_{12}] * \{MPI_2\} \quad (2.27)$$

$$\{MP_2\} = [MIT_{21}] * \{MPI_1\} + [MIT_{22}] * \{MPI_2\} \quad (2.28)$$

isolando-se o vetor  $\{MPI_1\}$  da expressão 2.27, tem-se:

$$\{MPI_1\} = [MIT_{11}]^{-1} * (\{MP_1\} - [MIT_{12}] * \{MPI_2\})$$

como se queria demonstrar. Deve-se lembrar que a matriz  $[MIT_{11}]$  sempre tem inversa, por sua própria definição.

$$\text{Propriedade 5: } \{MP_2\} = [MIT_{21}] * [MIT_{11}]^{-1} * \{MP_1\} \quad (2.29)$$



Essa propriedade define que a posição da curva-momento sobre os apoios internos  $\{MP_2\}$  só depende dos valores assumidos pela curva-momento no restante da viga  $\{MP_1\}$  ou seja, nem toda curva pode ser considerada como curva-momento fletor, somente aquelas que obedecerem a equação 2.29. Pode-se notar também que a equação 2.29 explicita que as equações de índice 2 (associadas aos apoios internos) são uma combinação linear das equações de índice 1 (associadas a pontos do SGC fora dos apoios internos), conforme anteriormente analisado na definição de posto da matriz  $[MIT]$ .

Essa propriedade também pode ser facilmente demonstrada utilizando-se as propriedades 3 e 4. Substituindo-se a expressão 2.26 na expressão 2.28, tem-se:

$$\begin{aligned} \{MP_2\} &= [MIT_{21}] * [MIT_{11}]^{-1} * (\{MP_1\} - [MIT_{12}] * \{MPI_2\}) \\ &+ [MIT_{22}] * \{MPI_2\} \end{aligned}$$

que, desenvolvendo-se algebricamente, obtém-se:

$$\begin{aligned} \{MP_2\} &= [MIT_{21}] * [MIT_{11}]^{-1} * \{MP_1\} - ([MIT_{22}] - [MIT_{21}] * \\ &* [MIT_{11}]^{-1} * [MIT_{12}]) * \{MPI_2\} \end{aligned} \quad (2.31)$$

Como se pode ver, a expressão contida no interior do parêntese no segundo termo da equação 2.31 é idêntica a expressão 2.27 e portanto igual a matriz nula, comprovando-se assim a equação 2.27.

## 2.5 - EXEMPLO DE OBTENÇÃO DAS MATRIZES $[MI]$ , $[MT]$ e $[MIT]$ PARA UMA VIGA DADA

As matrizes mostradas neste exemplo foram geradas por computador, através do programa descrito no anexo 2.

Foram utilizados poucos pontos para facilitar a visualização das matrizes e sua formação. Para a viga da fig. 2.5, tem-se:

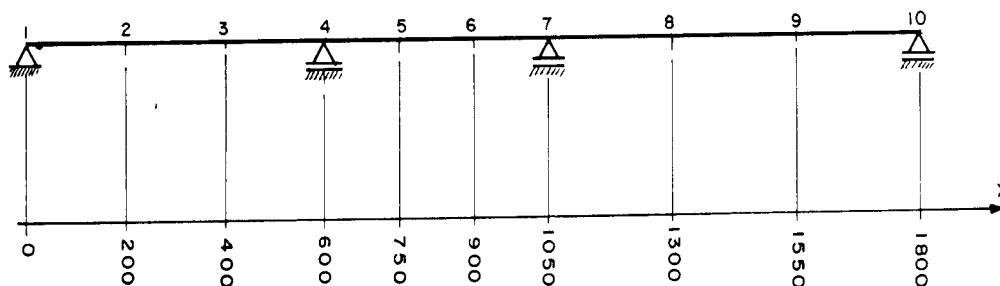


Fig. 2.5 - Viga utilizada no exemplo do item 2.5.

MATRIZ EMIT IJ

1.00000	-.305176E-06	.162509E-06	-.254313E-07	.506626E-07	-.152580E-07	-.152580E-07	.357639E-09
-.118250E-01	.933030	-.132302	-.897226E-01	-.310078E-01	.310078E-01	.155039E-01	.258396E-02
-.220501E-01	-.132297	.735001	-.179045	-.620155E-01	.620155E-01	.310077E-01	.516796E-02
-.199020E-01	-.119897	-.239793	.795347	-.139533	-.626073E-01	-.416405E-01	-.639056E-02
-.689060E-02	-.413438E-01	-.026873E-01	-.139535	.313954	-.253393	-.129129	-.215331E-01
.413436E-02	.248062E-01	.496124E-01	-.496124E-01	-.105039	.710594	-.144703	-.241167E-01
.205720E-02	.124031E-01	.248062E-01	-.248062E-01	-.775194E-01	-.144703	.927649	-.139503E-01
.536442E-02	.190735E-07	-.933674E-08	-.506626E-07	.254313E-07	.244141E-06	-.122070E-06	.160000

MATRIZ EMIT IJ

0.00000	-.101725E-07
-.152797	.248062E-01
-.305597	.496123E-01
-.283893	-.103137
-.109380	-.230792
.434100E-01	-.305597
.217054E-01	-.152797
.254313E-07	-.122070E-06

MATRIZ EMIT IJ

-.330751E-01	-.190450	-.396897	-.269767	-.730220E-01	.730220E-01	.469115E-01	.775180E-02
.620157E-02	.372093E-01	.744186E-01	-.744186E-01	-.232353	-.404129	-.217054	-.261760E-01

MATRIZ EMIT IJ

.541600	.744184E-01
.651162E-01	.541600

MATRIZ [EMI]

1.00000	-.305176E-04	9.00000	0.00000	-.301470E-05	0.00000	-.301470E-05	3.01470E-04	-.149012E-07
.567442	-115.673	44.6167	0.00000	7.53691	0.00000	-6.43992	0.00000	-.552592E-01
1.136834	-31.3068	80.2335	0.00000	15.4758	0.00000	-12.9199	0.00000	4.65116E-01
-.297673	52.9199	96.71499	0.00000	22.7986	0.00000	-19.2798	0.00000	-.697622E-01
-1.79845	31.9725	39.8336	0.00000	-20.8135	0.00000	17.2265	0.00000	-.920154E-01
-.628155E-01	11.9258	-12.7814	0.00000	-26.4186	0.00000	53.8329	0.00000	-.193799
-.533140E-01	-9.7234	12.4031	0.00000	33.9767	0.00000	98.4393	0.00000	-.323552
-.372075E-01	-3.61499	-8.16874	0.00000	12.7152	0.00000	-186.274	0.00000	1.16279
-.106047E-01	-3.38750	-4.13437	0.00000	8.99235	0.00000	-53.1869	0.00000	5.58140
.149012E-07	-.190733E-05	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-.305176E-04	0.00000	1.00000

MATRIZ [MT]

1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-.560000E-02	-.100000E-01	-.360000E-02	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	.500000E-02	-.100000E-02	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-.116667E-01	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-.666667E-02	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

MATRIZ [MIT]

1.00000	-.305176E-06	152508E-06	0.00000	-.254313E-07	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-.10250E-01	-.923958	-.132388	-.152799	-.097228E-01	-.310078E-01	-.104062E-01	-.104062E-01	-.152508E-07	0.00000	0.00000
.28501E-01	-.132299	.733481	-.305599	-.179745	-.630138E-01	-.496183E-01	-.496183E-01	152508E-07	0.00000	0.00000
-.336731E-01	-.190450	-.286399	.541582	-.265767	-.930234E-01	-.744184E-01	-.744184E-01	0.00000	0.00000	0.00000
-.192038E-01	-.119897	-.233793	-.828893	-.793349	-.193197	-.193197	-.193197	0.00000	0.00000	0.00000
-.659066E-02	-.415434E-01	-.826731E-01	-.107368	0.57981	-.260760	-.260760	-.260760	0.00000	0.00000	0.00000
.620157E-02	.372075E-01	.744186E-01	.631162E-01	-.744186E-01	-.232538	-.232538	-.232538	0.00000	0.00000	0.00000
-.413436E-02	-.248062E-01	-.496184E-01	-.496184E-01	-.496184E-01	-.155631	-.155631	-.155631	0.00000	0.00000	0.00000
-.296728E-02	-.124031E-01	-.248062E-01	-.217035E-01	-.248062E-01	-.302759	-.302759	-.302759	0.00000	0.00000	0.00000
-.536442E-03	-.190733E-07	-.9536674E-03	-.254313E-07	-.750826E-07	-.254313E-07	-.254313E-07	-.254313E-07	0.00000	0.00000	0.00000

NOTA 312/20/11  
26/03/80

### 3. A OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE CABOS

No ítem 1.2.2 verificou-se que, para uma viga ter possibilidade de ser protendida, é necessário satisfazer as condições de fuso limite "aberto". Essa condição é necessária mas insuficiente para se garantir uma solução. Assim, a seguir serão discutidas as restantes condições para que, de uma forma geral se possa garantir uma solução ótima. C.

#### 3.1 - CONDIÇÃO DE EXISTÊNCIA DE UMA CURVA-MOMENTO CONTIDA NUMA REGIÃO PLANA

Como foi visto no ítem 2.4 não se pode arbitrar o traçado de uma curva-momento para uma viga hiperestática. Tal curva deve possuir a propriedade de produzir hiperestáticos nulos, quando adotada como diagrama de momentos fletores do sistema fundamental associado, ou de outra forma, se  $M$  for uma curva - momento:

$$\delta_{io} = \int_l \frac{M \cdot M_i}{EI} \cdot dl = 0, \quad \forall M_i \quad (3.1)$$

onde  $M_i$  representa o diagrama de momento fletor produzido por ações unitárias na direção dos vínculos liberados no sistema fundamental. Seja FS e FI os limites superior e inferior de uma região contínua ao longo de uma viga. Qualquer curva momento  $M$  que esteja contida nesta região deverá satisfazer a equação 3.1. Supondo agora que a curva superior, FS, produz hiperestáticos negativos, quando tomada como dia

grama do sistema fundamental ou seja a curva-momento do sistema hiperestático estará totalmente abaixo de FS, e dessa maneira, adotando-se para  $X_i$  do sistema fundamental esforços unitários que produzam momentos positivos  $M_i$  (ver fig. 3.1) tem-se:

$$\int_{\ell} \frac{FS \cdot M_i}{EI} > \int_{\ell} \frac{M \cdot M_i}{EI} = 0 \quad \forall M_i, i=1, n \quad (3.2)$$

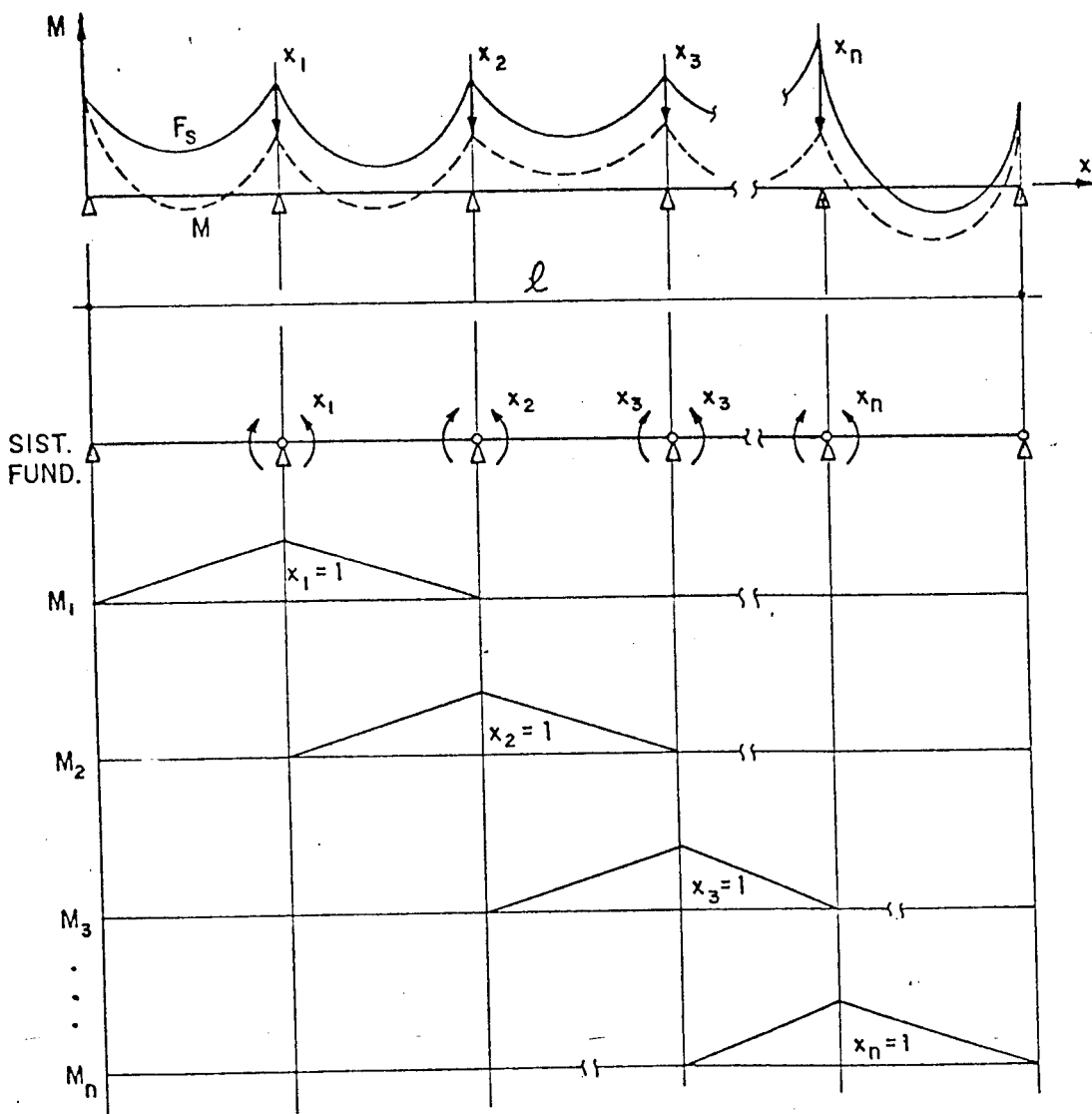


Fig. 3.1 - Representação gráfica dos hiperestáticos de tensão de FS.

Da mesma forma pode-se afirmar que, se FI produz hiperestáticos positivos quando tomada como curva-momento do sistema fundamental, então:

$$\int_{\ell} \frac{FI.M_i}{EI} < \int_{\ell} \frac{M.M_i}{EI} = 0 \quad VM_i \quad (3.3)$$

Qualquer curva Z acima de FS possuirá:

$$\delta_{io} = \int_{\ell} \frac{Z.M_i}{EI} > \int_{\ell} \frac{F_s.M_i}{EI} > 0 \quad VM_i \quad (3.3A)$$

e jamais poderá ser uma curva-momento, o mesmo acontecendo para qualquer curva W abaixo de FI:

$$\delta_{io} = \int_{\ell} \frac{W.M_i}{EI} < \int_{\ell} \frac{FI.M_i}{EI} < 0 \quad VM_i \quad (3.3B)$$

De modo inverso, pode-se afirmar que; se uma curva Z possuir todos os  $\delta_{io} > 0$  então seus hiperestáticos serão necessariamente negativos. Isso pode ser facilmente demonstrado entendendo-se que, se todos os  $\delta_{io} > 0$ , significa que a curva-momento do sistema hiperestático está completamente abaixo de Z, pois essa curva-momento possui todos os  $\delta_{io}$  iguais a 0, implicando necessariamente em hiperestáticos negativos (ver fig. 3.1). Dessa maneira existe uma relação inversa entre os sinais dos hiperestáticos de protensão e os de  $\delta_{io}$ , ou seja: se todos os hiperestáticos de protensão tiverem o mesmo sinal, os  $\delta_{io}$  correspondentes possuirão, todos, sinais contrários. Da mesma forma, se todos os  $\delta_{io}$  tiverem o mesmo sinal então todos os hiperestáticos terão sinal contrários. Deve-se ressaltar que essa regra só é válida quando todos os hiperestáticos tiverem, entre si, o mesmo sinal. O fato de somente um hiperestático

co trocar de sinal não implica necessariamente que o  $\delta_{i0}$  correspondente trocará também de sinal. Isso pode ser visto facilmente na Fig. 3.2, onde uma curva  $C$  assume três posições diferentes ( $C_a$ ,  $C_b$  e  $C_c$ ), através de transformação linear, e onde  $C_m$  representa a curva-momento associada a  $C$ . Para a curva  $C_a$ ,  $\delta_{10}^a > 0$ ,  $\delta_{20}^a > 0$ ,  $X_1^a < 0$  e  $X_2^a < 0$  pois  $C_a > C_m$  em toda viga, exceto nos apoios extremos, onde  $C_a = C_m$ . Para a curva  $C_b$ ,  $\delta_{10}^b > 0$ ,  $\delta_{20}^b > 0$ ,  $X_1^b < 0$  e  $X_2^b = 0$ , pois  $C_b > C_m$  exceto sobre os apoios 0, 2 e 3, onde  $C_b = C_m$ . Assim, pode-se imaginar que sempre existirá um  $X_2^c < 0$ , que transforme linearmente  $C_b$  em  $C_c$ , tal que  $\delta_{10}^c$  e  $\delta_{20}^c$  continuem positivos, confirmando o que foi dito anteriormente.

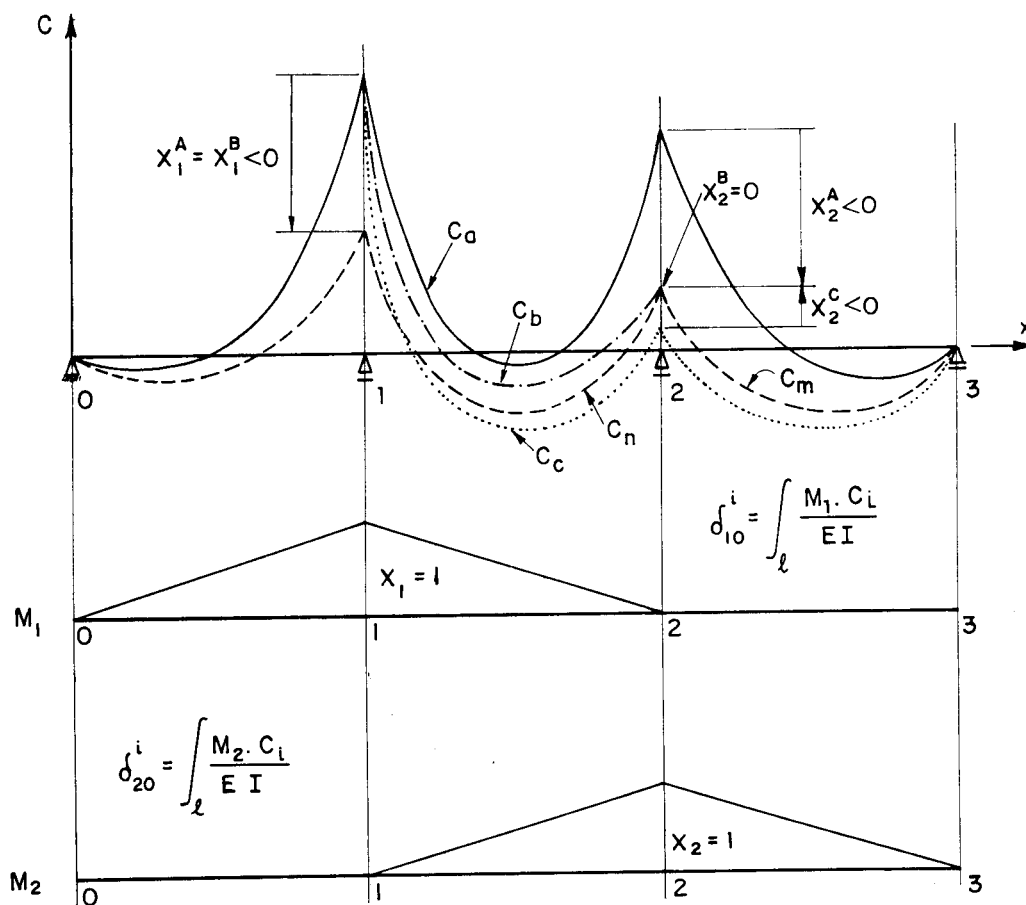


Fig. 3.2 - Variação de sinal dos hiperestáticos através de transformações lineares de uma curva  $C$ .

Das expressões (3.3A) e (3.3B) pode-se tirar uma condição de solução importante, qual seja: para que uma região tenha condição de alojar um curva-momento é necessário que os hiperestáticos associados ao contorno superior desta região tenham sinal negativo, e os associados ao contorno inferior, sinal positivo. Se esses hiperestáticos possuírem sinais iguais, é impossível a região conter curva-momento. Essa condição foi enunciada inicialmente por CHAUSSIN [4], usando-se, ao invés dos sinais dos hiperestáticos, os sinais de  $\delta_{i0}$ . Preferiu-se utilizar, neste trabalho, os sinais dos hiperestáticos, pelo fato de que, no algoritmo de determinação da curva-momento no interior de uma região utilizou-se basicamente o comportamento desses hiperestáticos. Deve-se também acrescentar que utilizando-se a matriz [MIT], é muito mais simples se determinar o valor dos hiperestáticos do que os valores de  $\delta_{i0}$ , como será visto no próximo item.

### 3.2 - DETERMINAÇÃO DE UMA CURVA-MOMENTO NO INTERIOR DE UMA REGIÃO

No item anterior, discutiu-se as condições para que uma região possa conter curvas-momento. É necessário agora encontrar um algoritmo que consiga determinar a posição de uma curva-momento no interior dessa região. Esse intento é particularmente complexo pelo fato de que normalmente existem infinitas possibilidades de solução. Dessa maneira, precisar-se-ia conseguir um algoritmo que conduzisse a melhor curva-momento para a solução do problema. No início da pesquisa adotou-se esse procedimento, o qual se mostrou infrutífero após inúmeras tentativas de estabelecimento de condições de contorno para o problema. Na maioria das tentativas chegaram-se a sistemas não lineares, de condições de solução muito particulares. O maior problema residia na dificuldade de impor à curva-momento a condição de estar contida numa região determinada. Mesmo o sentido



físico de "curva-momento ótima" não estava fácil de ser definido. Dessa maneira optou-se por dividir o problema em duas partes. A primeira delas seria encontrar um algoritmo que sempre conduzisse a uma curva-momento no interior de uma região pré-fixada e que, de uma maneira geral, conduzisse também a curvas com comportamento não muito diferente das curvas de contorno. A segunda seria encontrar algoritmos que otimizassem essa curva-momento mantendo-a no interior da região determinada. Para resolver a primeira parte do problema desenvolveu-se um algoritmo, de início iterativo, baseado no comportamento dos hiperestáticos de protensão das curvas de contorno. Para isso montou-se uma expressão que fornece a intensidade dos hiperestáticos ao longo da viga, mostrada na expressão 3.4, onde  $\{R\}$  representa o valor do hiperestático nos pontos de estudo.

$$\{R\} = [MIT]\{c\} - \{c\} = ([MIT] - [I])\{c\} \quad (3.4)$$

De tal forma que:

$$\{RS\} = ([MIT] - [I])\{FS\} \quad (3.5)$$

$$\{RI\} = ([MIT] - [I])\{FI\} \quad (3.6)$$

onde  $\{RS\}$  e  $\{RI\}$  representam respectivamente os hiperestáticos provocados pelo contorno  $\{FS\}$  e  $\{FI\}$ . Imaginou-se que, para cada seção  $i$  de estudo, haveria a possibilidade de se encontrar um ponto da curva-momento no entorno do ponto  $C_i$  da Fig. 3.3, ponto este associado a  $RC_i = 0$  e sempre no interior da região, devido a natureza dos sinais de  $RS_i$  e  $RI_i$ . Como para as seções 1 e  $n$ ,  $RS_1 = RI_1 = RS_n = RI_n = 0$ , adotou-se inicialmente  $C_1 = C_n = 0$  (ver expressão 3.7 e 3.8).

$$D_i = \left(1 - \frac{RS_i}{RS_i - RI_i}\right)FS_i - \left(1 + \frac{RS_i}{RS_i - RI_i}\right)FI_i, \quad i \neq 1 \quad \text{e} \quad i \neq n \quad (3.7)$$

$$C_i = FI_i + D_i \quad (3.8)$$

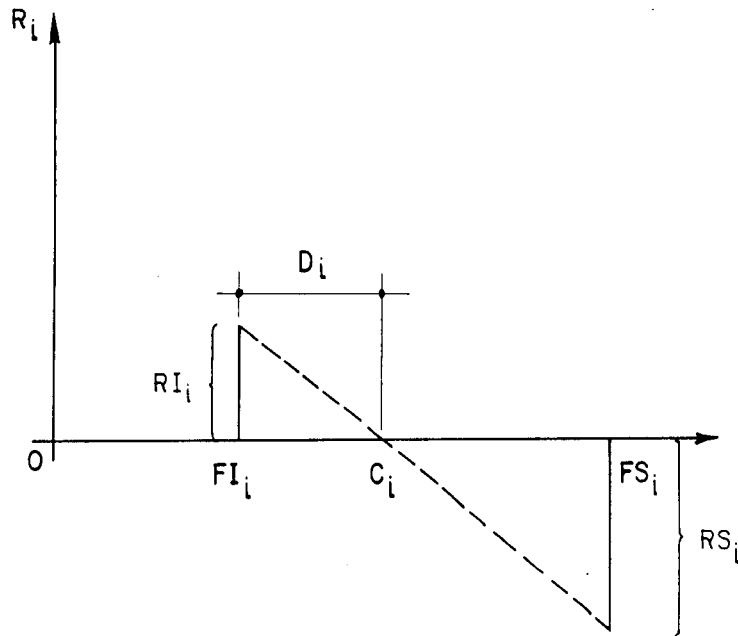


Fig. 3.3 - Determinação do ponto  $C_i$

A idéia inicial era obter uma primeira curva a qual, utilizando-se do mesmo processo, serviria como partida para nova interpolação e dessa maneira, iterativamente, se obter uma curva  $\{C\}$  com  $\{RC\} \approx \{0\}$ . Iniciou-se os testes desse algoritmo através de um programa preparado para iterar várias vezes sucessivas, fornecendo os valores de  $\{R\}$  a cada iteração. Verificou-se, nos exemplos calculados, que na primeira iteração  $\{R\} \approx \{0\}$  com resíduos numéricos inferiores a 2% em relação a média dos módulos de  $RS_i$  e  $RI_i$ . Imaginou-se que esse pequeno resíduo era motivado por ligeira imprecisão numérica da matriz  $[MIT]$  e que esse algoritmo conduzia a resposta correta, sendo então possível de se obter analiticamente a comprovação. Mas para se obter uma única solução de um problema com infinitas possibilidades era necessário se estabelecer condições de contorno de maneira a tornar o problema determinável. Novamente, inúmeras tentativas foram feitas sem sucesso. Paralelamente, desenvolveu-se um conjunto de experimentação numérica em um grande número de exemplos e verificou-se que os desvios de  $\{RC\}$  continuavam muito baixos (da ordem de 2%). Verificou-se também que, para vigas com apoios extremos não engastados, esses desvios eram maiores no primeiro e no último

vão, particularmente nos pontos próximos as seções 1 e n, justamente naquelas onde a interpolação não podia ser aplicada e que foram arbitrados valores nulos para  $C_1$  e  $C_n$ . Os desvios nesses pontos, em alguns casos, chegou próximo a 5%. Nos pontos contidos nos tramos internos, os desvios eram praticamente nulos, confundindo-se com a ordem de grandeza da precisão numérica do computador. Dessa maneira, concluiu-se que o algoritmo não conduzia a solução exata, mas possuía uma grande convergência. Decidiu-se então melhorar os valores de  $C_i$  próximos aos apoios extremos não engastados das vigas, utilizando-se para tanto, o fato de que se  $\{C\}$  for uma curva-momento então  $R_i = 0$  para qualquer ponto  $i$  da viga. Dessa maneira, montou-se um sistema de equações para os apoios internos do primeiro e último vão. Seja  $k$  e  $\ell$ , respectivamente, o número desses apoios, então:

$$R_k = 0 = MIT_{k1}C_1 + MIT_{k2}C_2 + \dots + MIT_{kk} \cdot C_k + \dots + MIT_{kn} \cdot C_n - C_k \quad (3.9)$$

$$R_\ell = 0 = MIT_{\ell 1}C_1 + MIT_{\ell 2}C_2 + \dots + MIT_{\ell \ell} \cdot C_\ell + \dots + MIT_{\ell n} \cdot C_n - C_\ell \quad (3.10)$$

sendo incógnitas do problema  $C_1$  e  $C_n$ . As equações 3.9 e 3.10 podem ser organizadas matricialmente:

$$\begin{bmatrix} MIT_{k1} & MIT_{kn} \\ MIT_{\ell 1} & MIT_{\ell n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_k - \left( \sum_{i=2}^{n-1} MIT_{ki} \cdot C_i \right) \\ C_\ell - \left( \sum_{i=2}^{n-1} MIT_{\ell i} \cdot C_i \right) \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

completando assim o algoritmo desejado. Esse algoritmo comportou-se com uma regularidade muito grande para vigas com qualquer número de tramos, mesmo em condições pouco usuais com grandes discrepâncias entre rigidezes de tramos consecutivos. No entanto, com todo o esforço empregado não se conseguiu uma demonstração analítica dessa grande convergência, e dessa maneira, deixou-se para próximas pesquisas sua demonstração.

Na solução da segunda parte do problema, referente à otimização da curva-momento já contida numa região pré-determinada, optou-se por dois procedimentos de cálculo distintos; um deles para solução de cabos contínuos com força de protensão constante e o outro para protensão com interpolação de cabos, os quais serão explanados nos itens a seguir.

### 3.3 - ALGORITMO GERAL PARA OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE CABOS CONTÍNUOS COM FORÇA DE PROTENSÃO CONSTANTE

Neste ítem serão aplicados os processos de cálculo desenvolvidos nos ítems 3.1 e 3.2, os quais até agora, foram abordados de uma forma mais geral. Serão também desenvolvidos algoritmos específicos para otimização de vigas com cabos contínuos.

#### 3.3.1 - Consideração de cabo contínuo com força constante

No capítulo 1, ítem 1.2.3, discutiram-se as condições preliminares para que uma viga possa ser protendida com cabo contínuo e força de protensão constante. Verificou-se que o fuso limite deve ter uma forma tal, que seja possível se obter uma seção longitudinal contínua do mesmo, ao longo de toda a viga, seção essa paralela ao plano formado pelo eixo dos momentos de protensão e pelo eixo baricêntrico da viga. O primeiro passo necessário no processo de otimização é verificar o intervalo possível de variação da força de protensão para que essa condição seja atendida. Para cada seção de estudo  $i$  é possível se obter a projeção no eixo  $P$  (eixo das forças de protensão) do paralelogramo formado pela seção transversal do fuso limite nesta seção (ver fig. 3.3).

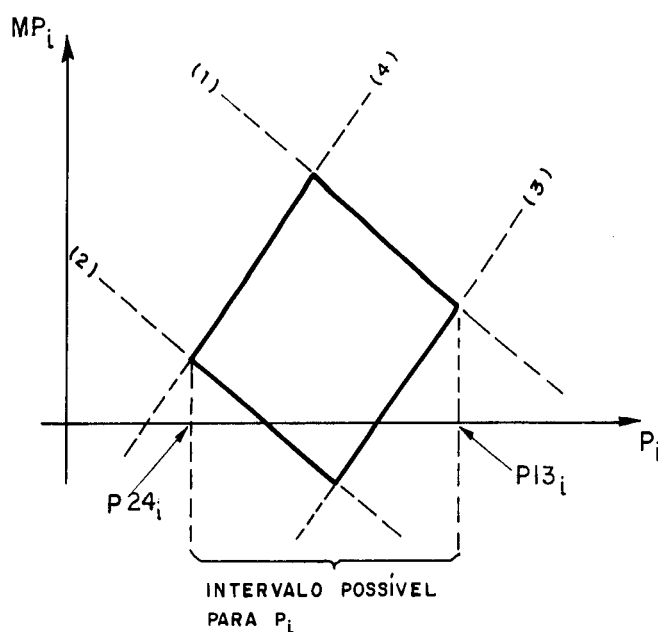


Fig. 3.3 - Intervalo possível para a força de protensão em uma seção genérica  $i$ .

O intervalo possível para  $P_i$  pode ser representado pela inequação 3.12:

$$P24_i \leq P_i \leq P13_i \quad (3.12)$$

onde  $P24_i$  e  $P13_i$  são definidos respectivamente pelas expressões 1.27 e 1.28, desenvolvidas no capítulo 1.

Para se obter o intervalo de variação de  $P$  possível para a viga como um todo, basta superpor os intervalos gerados para as diversas seções pela expressão 3.12, conforme mostrado na fig. 3.4. O resultado, quando possível, é um intervalo contínuo para a força de protensão  $P$ , o qual será chamado de intervalo solução. Qualquer "fatia" longitudinal do fuso, conforme já descrita anteriormente, para ser contínua, deverá necessariamente estar contida neste intervalo. Ao contorno superior da região plana formada, quando se "seccionar" o fuso limite, se chamará {FS}; o contorno inferior {FI}.

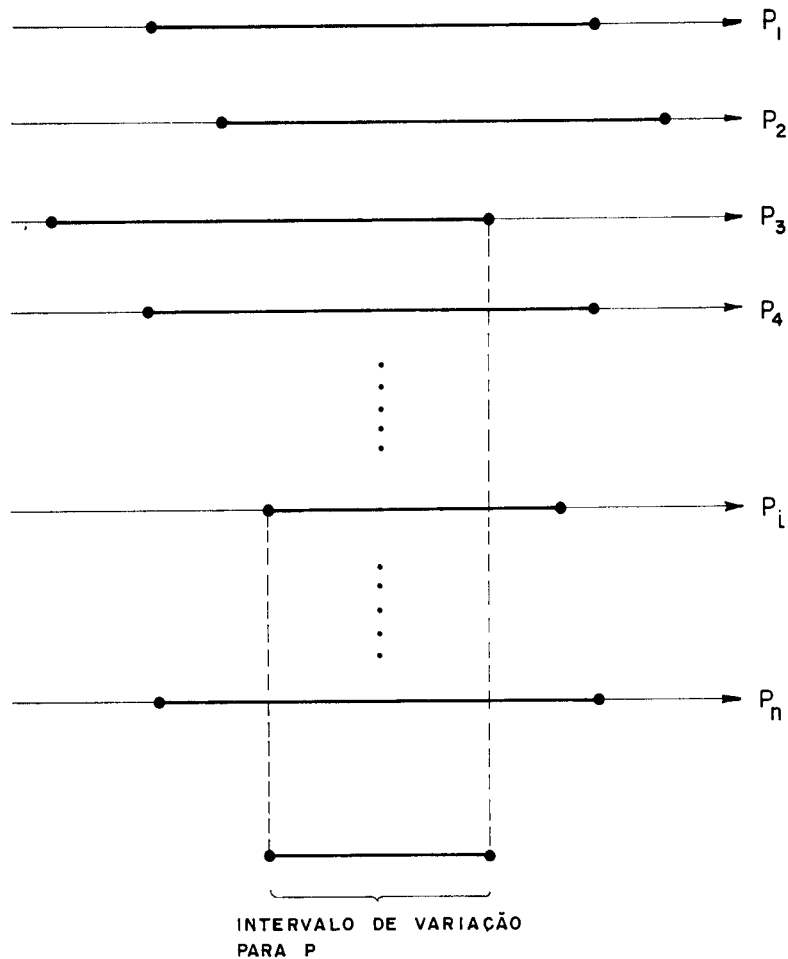


Fig. 3.4 - Determinação do intervalo possível de variação para  $P$ .

O intervalo solução de  $P$  para a viga, quando ele existir, estará contido no intervalo de variação mostrado na Fig. 3.4. Necessita-se encontrar o menor valor de  $P$  nesse intervalo solução e dessa maneira optou-se por dois tipos de procura. A primeira delas tem a finalidade de encontrar um ponto qualquer deste intervalo, através da divisão do intervalo de variação para  $P$  num certo número de valores. Um a um desses valores é testado, em ordem crescente, pelos algoritmos que serão descritos nos próximos itens. Ao se encontrar o primeiro valor solução, inicia-se novo procedimento de procura pelo processo da bi-partição, que consiste em

sempre se testar novo valor para P através do valor médio entre a última iteração solução e a última iteração não solução, conforme esquematizado na Fig. 3.5. O processo de procura termina quando se atingir uma precisão pré-fixada.

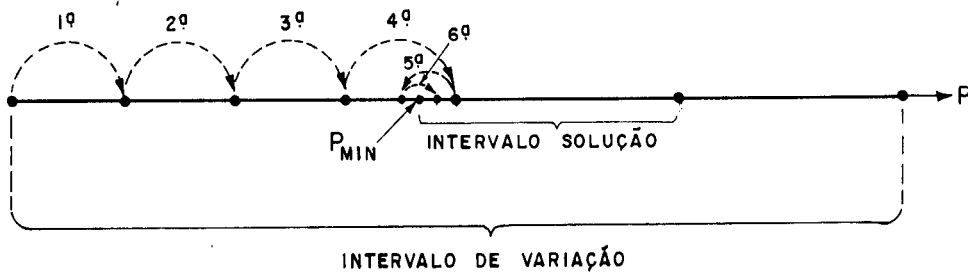
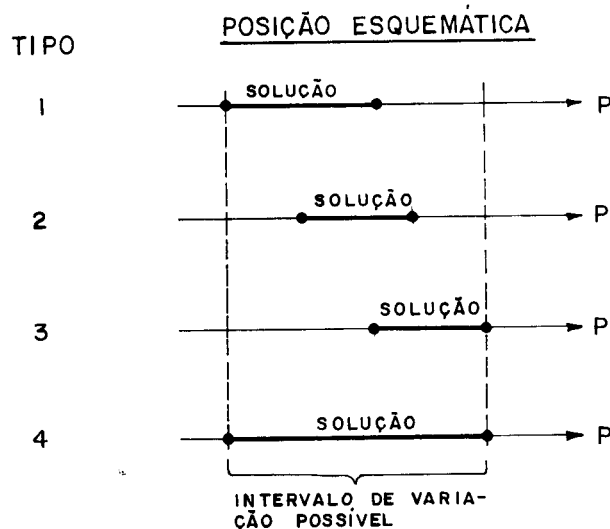


Fig. 3.5 - Exemplo esquemático do processo de procura de  $P_{\min}$  com 6 iterações.

Caso na primeira parte da procura não se encontrar algum valor de P solução é sinal que o intervalo solução é menor que o intervalo de procura, tornando-se necessário dividir novamente o intervalo de variação possível para P, num número maior de segmentos. O programa de computador desenvolvido nesta pesquisa admite procura num intervalo de até 1% do intervalo total de variação para P, além de informar a posição esquemática do intervalo solução em relação ao intervalo de variação, conforme código abaixo:



### 3.3.2 - Obtensão e otimização da curva-momento de protensão {MP}

Nesta fase do algoritmo é aplicado o processo descrito no ítem 3.1 e 3.2. Para cada região gerada pelo processo do ítem 3.3.1 é feito o teste do sinal dos hiperestáticos associados às curvas de seu contorno, através das expressões 3.5 e 3.6. Se todos os elementos de {RS} forem negativos e os de {RI} positivos, então a região pode conter curvas-momento, caso contrário será necessário incrementar o valor de P a fim de se produzir nova região para análise. Uma vez atendida essa premissa, aplicam-se as expressões 3.7, 3.8, e se a viga possuir apoios internos não engastados deve-se aplicar também a expressão 3.11, às curvas de contorno da região, a fim de se obter uma curva-momento no seu interior. Dessa maneira, obtém-se os pares ordenados  $(P, MP_i)$  para cada seção  $i$  de estudo (sendo P constante), contidos no interior da "fatia" do fuso limite, sob forma coplanar. É necessário que, um cabo alojado no interior da viga tenha condições de estar estaticamente associado a essa curva-momento {MP}. Conforme visto no capítulo 1 (Fig. 1.2), para que isso ocorra é necessário que {MP} e o momento do sistema fundamental {MPI} produzido pelo cabo sejam semelhantes, de tal forma que {MPI} possa ser obtida por uma transformação linear de {MP}, conforme indica a Fig. 3.6. Transformações lineares que alteram a posição do cabo sobre os apoios internos não influenciam na posição de {MP}, alterando somente o valor do hiperestático de protensão em cada seção, uma vez que modifica {MPI} ( $MPI_i = P \cdot y_i$ ). Para que um cabo {y} possa ser alojado no interior de uma viga, é necessário que sua flecha em cada seção seja menor que a altura da viga nesses pontos, descontados os cobrimentos construtivos. Dessa forma, fica claro que quanto menor forem as flechas de {MP}, menores serão as flechas de {MPI}, e portanto, menores as flechas do cabo, tornando-o mais fácil de ser colocado no interior da viga (ver fig. 3.7). É, então,



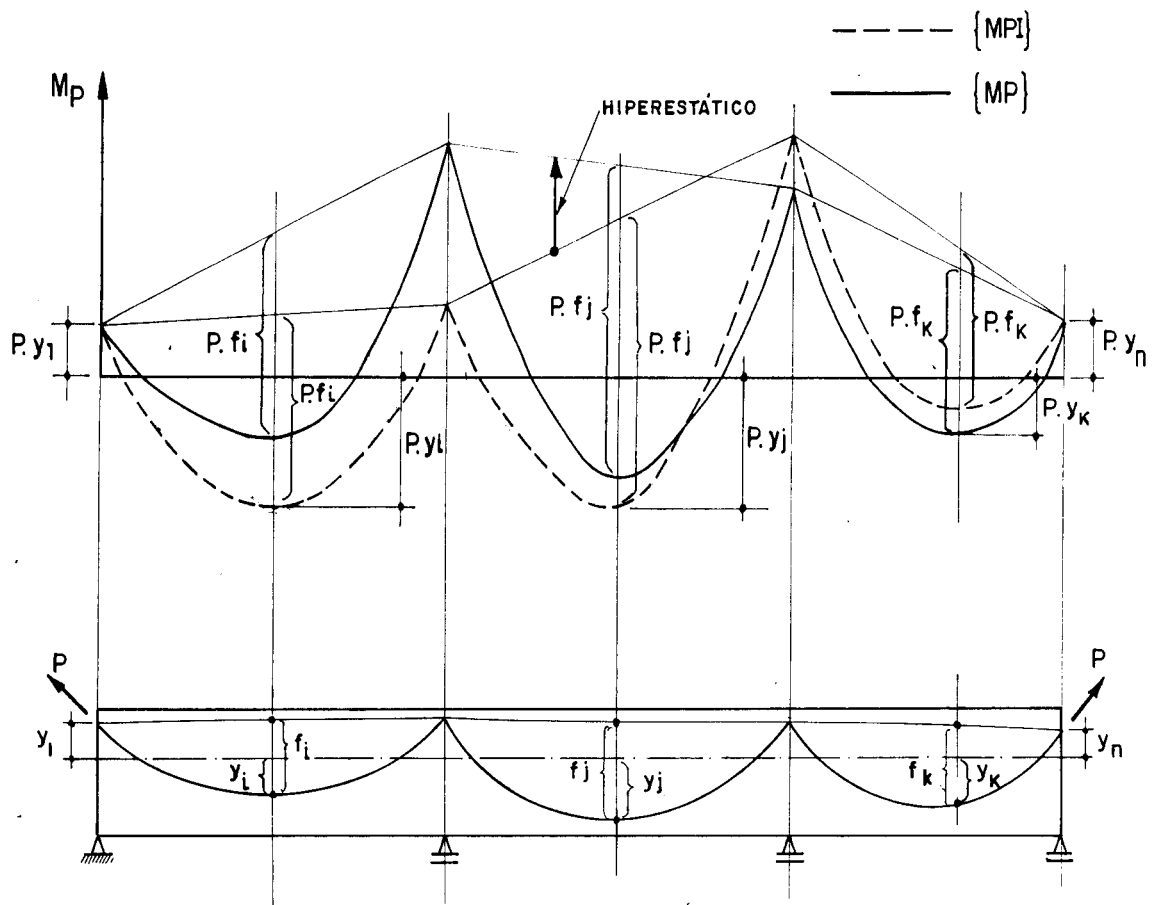


Fig. 3.6 - Representação esquemática do efeito do hiperestático de protensão produzido por um cabo com força de protensão constante  $P$ .

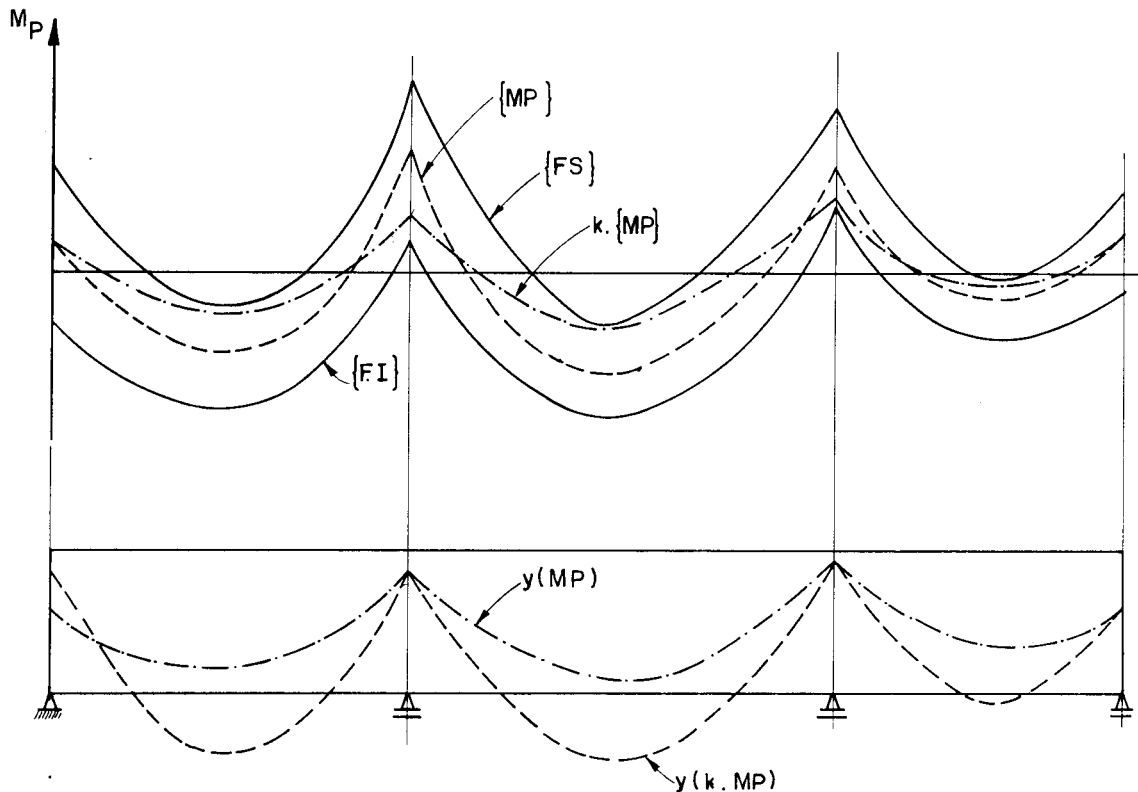


Fig. 3.7 - Influência do produto de  $\{MP\}$  por uma constante  $0 < k < 1$  na forma do cabo.

necessário que  $\{MP\}$  possua as menores flechas possíveis. Po-  
de-se diminuir as flechas de  $\{MP\}$  se existirem "folgas" entre  
seus pontos e o contorno da região do fuso que estiver sen-  
do analisada, de tal maneira que seja possível encontrar um  
coeficiente  $k$ ,  $0 < k < 1$ , que multiplicado pelos valores  
de  $\{MP\}$  gere uma nova curva semelhante, ainda dentro da re-  
gião analisada, ou seja:

$$\{FI\} < k.\{MP\} < \{FS\} \quad (3.13)$$

O coeficiente  $k$  provoca um achatamento da curva  
 $\{M_p\}$  até o limite, a partir do qual,  $k.\{MP\}$  estaria fora da  
região. Deve-se ressaltar que  $k.\{MP\}$  continua sendo uma  
curva momento, porque:

$$k.\{MP\} = k.\{MIT\}\{MP\} = \{MIT\}(k.\{MP\}) \quad (3.14)$$

Com a curva  $k.\{MP\}$  determinada, é necessário fa-  
zer as devidas transformações lineares de maneira a se de-  
terminar a posição do cabo. Esse procedimento é desenvolvi-  
do no próximo item.

### 3.3.3 - Determinação da posição do cabo de protensão

Conforme indica a expressão 2.27, conhecida a cur-  
va-momento ao longo da viga,  $\{MP_1\}$ , a posição da mesma no  
sistema fundamental  $\{MPI_1\}$  pode ser obtida de uma transfor-  
mação linear de  $\{MP\}$ , arbitrando-se o ponto de passagem de  
 $\{MPI\}$  sobre os apoios internos,  $\{MP_2\}$ . Necessita-se então  
determinar a posição de passagem do cabo sobre os apoios in-  
ternos, para depois obter sua posição ao longo da viga. No  
caso de vigas de pontes, onde as ações predominantes são ver-  
ticais, e de origem gravitacional, as envoltórias de momen-  
tos solicitantes, em qualquer de seus tramos, possuem conca-  
vidade negativa, ou seja, utilizando-se as convenções de re

apresentação gráfica adotadas nesse trabalho onde os momentos positivos são marcados acima do eixo das abscissas, as concavidades dessas curvas são dirigidas para baixo. Assim, as concavidades de {MP} e {MPI} são sempre dirigidas para cima, de maneira a se opor aos esforços provocados pelas ações transversais, motivando então concavidades também positivas para a posição do cabo. Para se aproveitar ao máximo a altura da viga é necessário então tomar, para a posição do cabo sobre os apoios internos, a distância entre a borda superior da viga e o eixo baricêntrico, descontado o cobrimento construtivo  $c$  da armadura. Assim se  $j$  for um apoio interno, então:

$$y_j = BS_j - c \quad (3.15)$$

onde  $BS_j$  é a distância da borda superior ao baricentro da seção  $j$ . Para essa mesma seção, o valor de  $MPI_j$  será:

$$MPI_j = P \cdot y_j \quad (3.16)$$

Feito isto para todos os apoios internos (índice 2 da expressão 2.26), pode-se então fazer a transformação linear para se determinar a posição de {MPI} ao longo da viga (índice 1) utilizando-se a expressão 2.26. Para a determinação da posição do cabo, basta dividir os valores de {MPI} pela força de protensão  $P$ :

$$y_i = \frac{MPI_i}{P} \quad (3.17)$$

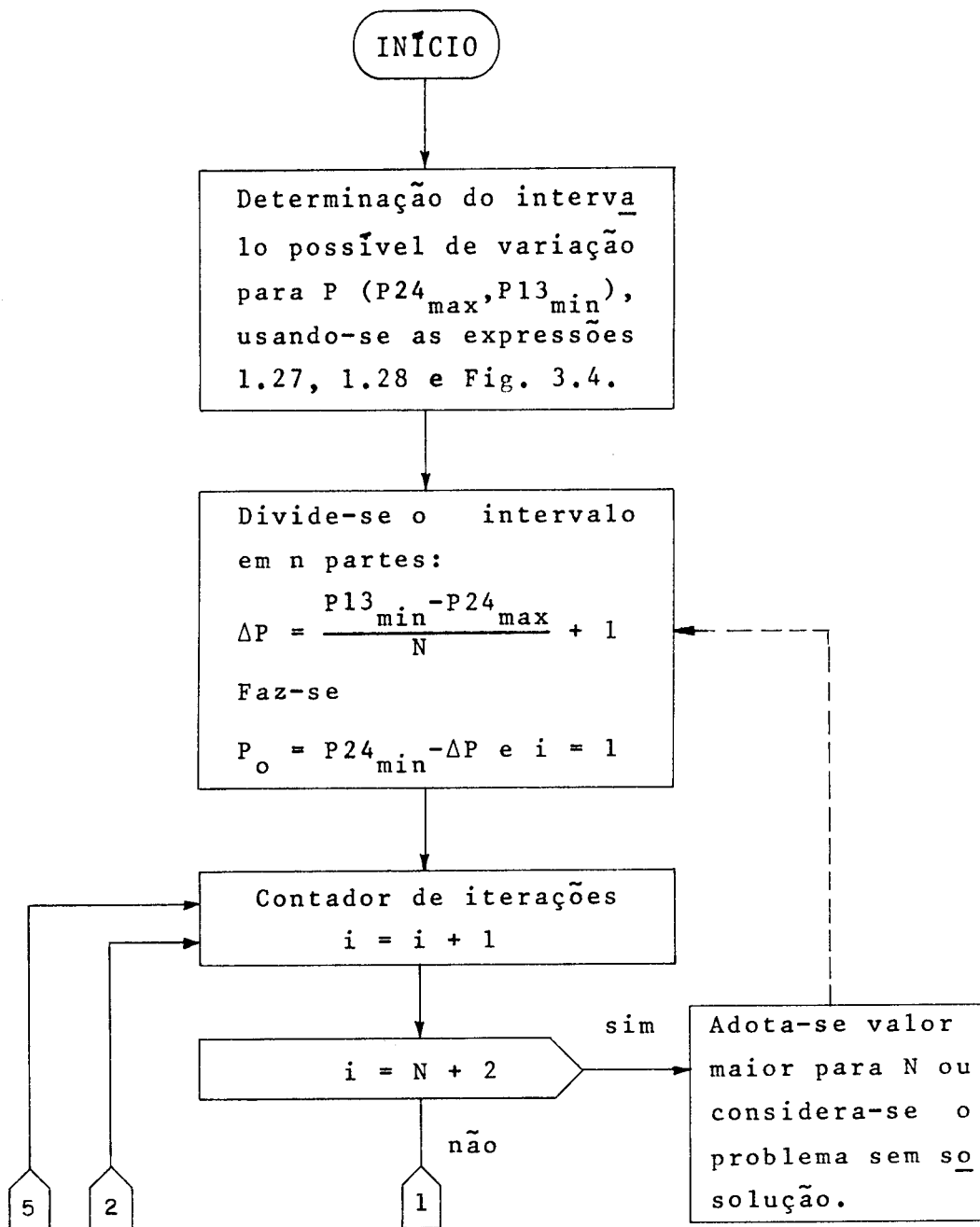
É necessário que o cabo encontrado esteja no interior da viga, ou seja:

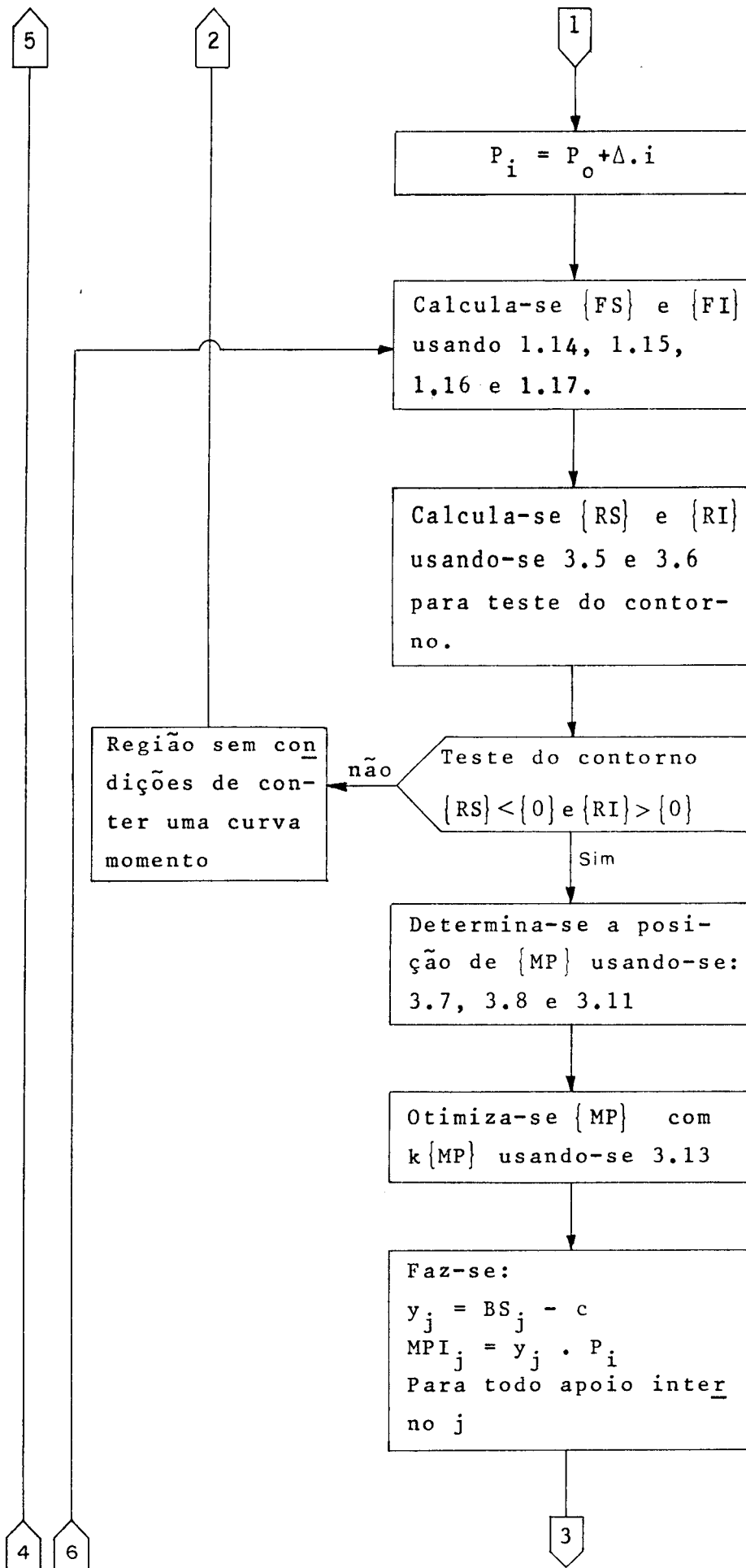
$$BI_i + c \leq y_i \leq BS_i - c \quad (3.18)$$

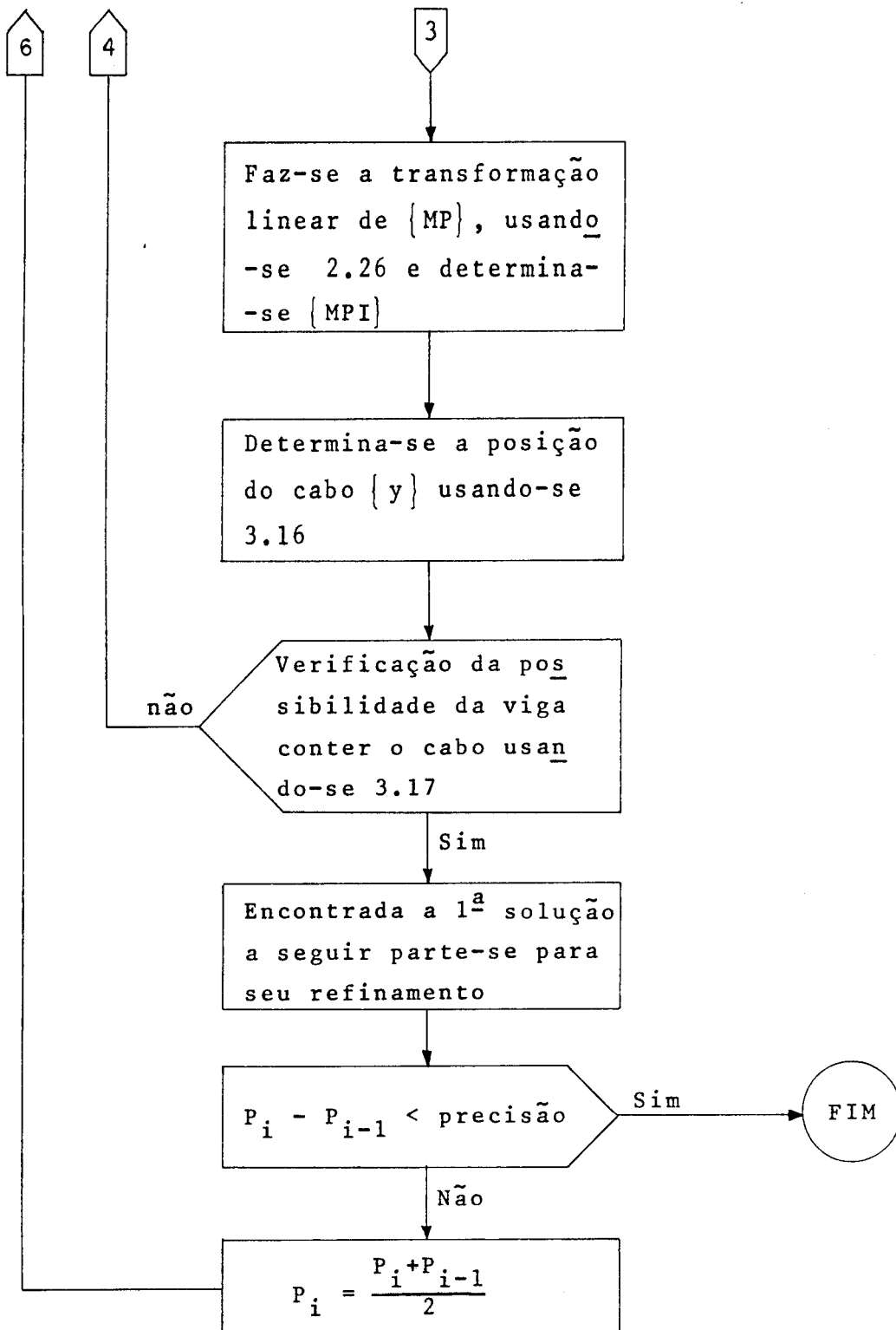
Caso contrário será necessário incrementar novo valor para a força de protensão e repetir toda a análise.

3.3.4 - Resumo esquemático do algoritmo

Para facilitar a visão global do algoritmo de otimização, a seguir é mostrado, de forma esquemática, seu fluxograma. Para isso, é suposto calculado a posição do fuso limite, e a matriz [MIT].







### 3.4 - ALGORITMO GERAL PARA OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE CABOS INTERROMPIDOS

A otimização do traçado de cabos não impondo, em princípio, sua continuidade do começo ao fim da viga, mostrou-se inicialmente de uma complexidade muito grande, da forma como inicialmente foi estudada. No início das pesquisas tentou-se estudar o comportamento estático de uma viga, submetida a esforços produzidos por um cabo de forma qualquer, tomando como parâmetros variáveis: seus pontos de ancoragem, sua posição de passagem em cada seção, etc. Estudando o problema desta forma, verificou-se que a interrelação entre os parâmetros possuía um comportamento muito complexo, mesmo quando se admitia uma forma pré-concebida, através da adoção de uma família de curvas para o seu traçado. O estudo do comportamento produzido por um conjunto de cabos, analisados dessa forma, evidenciou-se impraticável.

Após uma avaliação rigorosa em todos os modelos matemáticos estudados até então, chegou-se a conclusão de que se deveria abandonar o estudo do cabo em si, e ao invés disso, estudar a influência necessária da força de protensão em cada seção. Uma vez estudado a força de protensão necessária em cada seção é que haveria a preocupação de se estudar uma distribuição de cabos com a finalidade de produzir esse efeito. Procurou-se, então, estudar uma função que representasse o comportamento da força de protensão ao longo da viga, e outra que representasse a posição do cabo resultante.

Para facilitar a análise, decidiu-se que tais funções deveriam ser contínuas. Isso evitaria a introdução de esforços concentrados nos pontos onde as funções tivessem quebra de continuidade ou desvio de trajetória, simplificando o problema, entretanto provocaria uma restrição no lançamento dos cabos na viga; as interrupções dos cabos deveriam ser suficientemente diluídas ao longo da viga, de maneira que a curva real de intensidade da força de proten-

são, bem como a curva do cabo resultante não se afastassem muito da curva teórica adotada. Assim, o problema estava delineado. Procurava-se uma função  $P(x)$  tal que, a curva formada por  $(P(x), MP(y,P))$ , estivesse contida no fuso limite. A função otimizadora do problema deveria ser:

$$\int_{\ell} P(x) dx \rightarrow \text{mínima} \quad (3.19)$$

uma vez que a integral de  $P(x)$  poderia ser considerada diretamente proporcional a taxa de armadura da viga. Essa nova visão do problema, por um lado simplificou sua abordagem e facilitou seu delineamento, mas por outro conduziu novamente a um processo de solução com complexidade muito grande: estava-se diante de um problema variacional a duas variáveis com definição de domínio. Consultou-se diversos matemáticos e chegou-se a conclusão que a complexidade da formulação analítica era muito grande e nem sempre com solução possível. Para contornar essa situação, abandonou-se a formulação analítica do problema e partiu-se para uma formulação aproximada, utilizando-se novamente um processo discreto, o qual é exposto nos próximos itens.

#### 3.4.1 - Consideração de cabo resultante contínuo com força variável ao longo do seu comprimento por processo discreto

Pode-se reformular a colocação do problema discutido, abordando-o através do comportamento das variáveis num número finito de seções, de tal forma distribuídas na viga, que tenham condições de representar, com boa aproximação, o comportamento contínuo do problema. Assim, procura-se um conjunto de pares coordenados  $(P_i, MP_i)$ , tal que:



$$- MPI_i = P_i \cdot y_i \quad \forall i \quad (3.20)$$

$$- \{MP\} = \{MIT\} * \{MPI\}$$

-  $(P_i, MP_i)$  no interior do fuso

$$- U = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Delta x_i \rightarrow \text{mínima (função otimizada)} \quad (3.21)$$

onde:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_1 &= \frac{x_1}{2} \\ \Delta x_n &= \frac{x_n - x_{n-1}}{2} \\ \Delta x_i &= \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2}, \quad \forall i \neq 1 \text{ e } \neq n \end{aligned} \right\} \dots (3.22)$$

sendo  $x_i$  a abscissa referente a seção  $i$ .

#### 3.4.2 - Obtenção e otimização da curva-momento de protensão {MP}

Como foi visto anteriormente, qualquer conjunto de pontos  $(P_i, MP_i)$  que satisfaça as condições do ítem anterior exceto, é claro, a condição 3.21, é solução para a viga. Se satisfizer também a expressão 3.21, então é solução ótima. Como pode-se ver na Fig. 3.8, qualquer solução para a curva {MP}, em qualquer seção  $i$ , possui um intervalo solução para {P}. Pode-se notar também que, qualquer curva momento {MP} está contida entre as curvas {MP14} e {MP23}. Dessa maneira é necessário verificar ser possível, a região formada por tais curvas, conter curvas momento. ou seja:

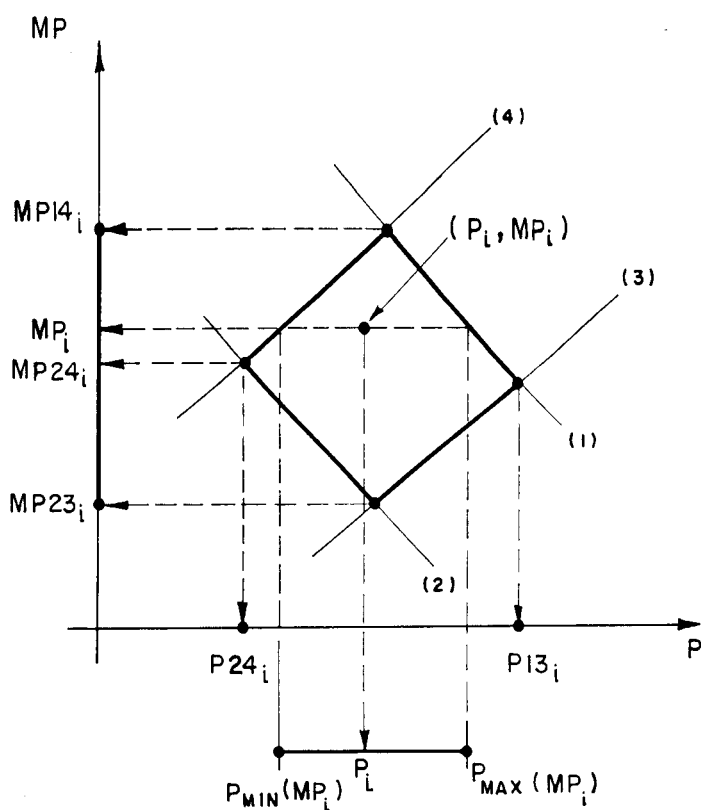


Fig. 3.8 - Intervalo de variação de  $P_i$  em função de  $MP_i$

$$\{R14\} = ([MIT] - [I])\{MP14\} > \{0\} \quad (3.23)$$

$$\{R23\} = ([MIT] - [I])\{MP23\} < \{0\} \quad (3.24)$$

Caso afirmativo, pode-se usar o algoritmo descrito no ítem 3.2 (expressões 3.7, 3.8 e 3.11) para se obter  $\{MP\}$ . Caso contrário a viga não possui solução possível.

É necessário então otimizar  $\{MP\}$ , de maneira a se obter a menor força de protensão em cada seção. Isso pode ser conseguido fazendo  $k.\{MP\}$  se aproximar ao máximo de  $\{MP24\}$ . Essa situação é diferente da descrita no ítem 3.3.2. Lá era necessário somente "achatar"  $k.\{MP\}$  até fazê-la tangenciar algum ponto do contorno da região analisada. Aqui, é necessário fazer, no conjunto,  $k.\{MP_i\}$  o mais próximo possível de  $MP24_i$ , em cada seção  $i$ , sendo inclusive permitido a

interseção das duas curvas, uma vez que {MP24} não pertence ao contorno da região analisada. Para tanto, foi utilizado o processo dos mínimos quadrados, minimizando a soma dos quadrados de  $(k.MP_i.\Delta x_i - MP24_i.\Delta x_i)$  em cada ponto. Foi usado  $\Delta x_i$  como um "peso" para que a influência da forma de discretizar a viga tivesse o menor efeito possível no resultado, ou seja, seções mais espaçadas, representando o comportamento das curvas num trecho de viga maior, possuissem a mesma influência por unidade de comprimento do que seções menos espaçadas. Assim:

$$V = \sum_{i=1}^n (k.MP_i.\Delta x_i - MP24_i.\Delta x_i)^2 \rightarrow \text{mínimo} \quad (3.25)$$

$$\frac{\partial V}{\partial k} = 2.k. \sum_{i=1}^n (MP_i^2.\Delta x_i^2) - 2 \sum_{i=1}^n (MP24_i.MP_i.\Delta x_i^2) = 0 \quad (3.26)$$

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n (MP24_i.MP_i.\Delta x_i^2)}{\sum_{i=1}^n (MP_i^2.\Delta x_i^2)} \quad (3.27)$$

### 3.4.3 - Determinação da curva {MPI}

Uma vez determinada a posição de  $k.\{MP\}$ , é possível obter o intervalo de variação para a força de protensão em cada seção de estudo, utilizando-se as expressões 1.14, 1.15, 1.16 e 1.17. Para cada seção  $i$ , será chamado  $P_{\min,i}$  e  $P_{\max,i}$ , respectivamente o menor e maior valor possível para a força de protensão naquela seção. Chamando de  $BS_i$  e  $BI_i$ , a borda superior e inferior da viga para uma seção  $i$ , e de  $c$  o cobrimento construtivo da armadura de protensão, pode-se saber o intervalo máximo de variação de  $MPI_i$  nesta seção, por:

$$MPI_{\max,i} = P_{\max,i} \cdot (BS_i - c) \quad (3.28)$$

$$MPI_{\min,i} = P_{\max,i} \cdot (BI_i + c) \quad (3.29)$$

Essas expressões formam, ao longo da viga, uma região contínua que deverá conter  $\{MPI\}$ , caso contrário a viga não tem solução (ver fig. 3.9). Entretanto, pode-se formar internamente a essa região, uma outra usando-se os valores de  $\{P_{\min}\}$ . Se  $\{MPI\}$  puder ser contida por essa região

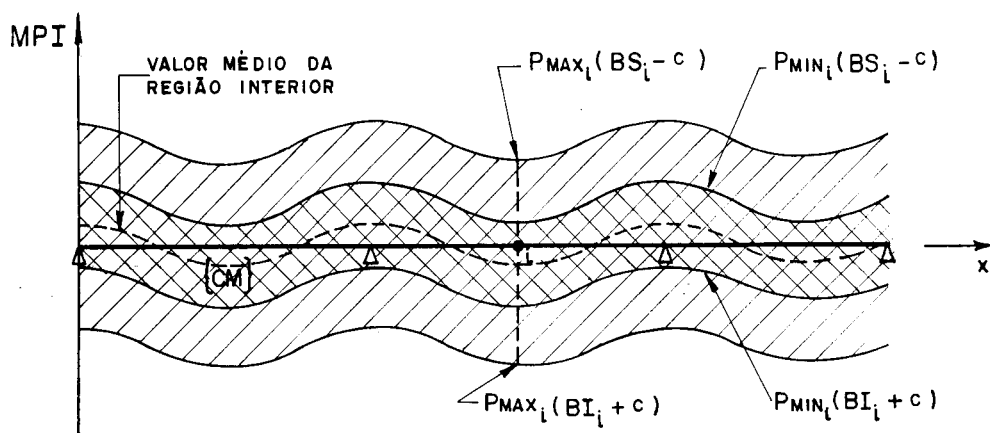


Fig. 3.9 - Região de variação possível de  $\{MPI\}$  ao longo da viga.

interna, o valor de  $P_i$  em cada seção será  $P_{\min,i}$  atendendo automaticamente a expressão 3.20 (função otimizadora). Caso contrário, a condição de máxima economia se dará quando  $\{MPI\}$  estiver "o mais contida possível" nessa região, ou de outra forma, o mais próxima possível da curva  $\{CM\}$ , média dos contornos dessa região interior.

$$CM_i = \frac{P_{\min,i} \cdot (BS_i + BI_i)}{2} \quad (3.30)$$

Isso pode ser feito através de transformação linear adequada da curva  $k.\{MP\}$ . Para vigas com apoios externos não engastados, o número de incógnitas dessa transformação deve ser igual ao número de apoios internos da mesma. Para vigas engastadas nos apoios externos, o número de incógnitas deverá ser igual ao número de apoios da mesma. A Fig. 3.10 indica a influência dessas incógnitas para um tramo genérico  $k$  de uma viga, onde cada variável significa:

$NE_k$  - apoio esquerdo do tramo  $k$  (número do nó correspondente)

$ND_k$  - apoio direito do tramo  $k$  (número do nó correspondente)

$$D_i = MP_i - CM_i \quad (3.31)$$

$S_k$  - incógnita da transformação linear referida ao apoio esquerdo do tramo  $k$

$S_{k+1}$  - incógnita da transformação linear referida ao apoio direito do tramo  $k$

$l_k$  - comprimento do tramo  $k$

$X_k$  - abscissa relativa contada a partir do apoio esquerdo do tramo  $k$

$$X_k = \frac{x - x_{NE_k}}{l_k} \quad (3.32)$$

$\Delta S_k^i$  - influência de  $S_k$  numa seção  $i$  do tramo  $k$

$$\Delta S_k^i = (1 - X_k) \cdot S_k \quad (3.33)$$

$\Delta S_{k+1}^i$  - influência de  $S_{k+1}$  numa seção  $i$  do tramo  $k$

$$\Delta S_{k+1}^i = X_k \cdot S_{k+1} \quad (3.34)$$

No intuito de simplificar os termos das expressões que serão desenvolvidas a seguir, será usado  $\sum_{\ell_k}^{ND_k}$  como equivalente a  $\sum_{NE_k+1}^{ND_k}$ , ou seja a somatória das parcelas referidas às seções de estudo no tramo k, do n.º (NE<sub>k</sub>+1) ao n.º ND<sub>k</sub>.

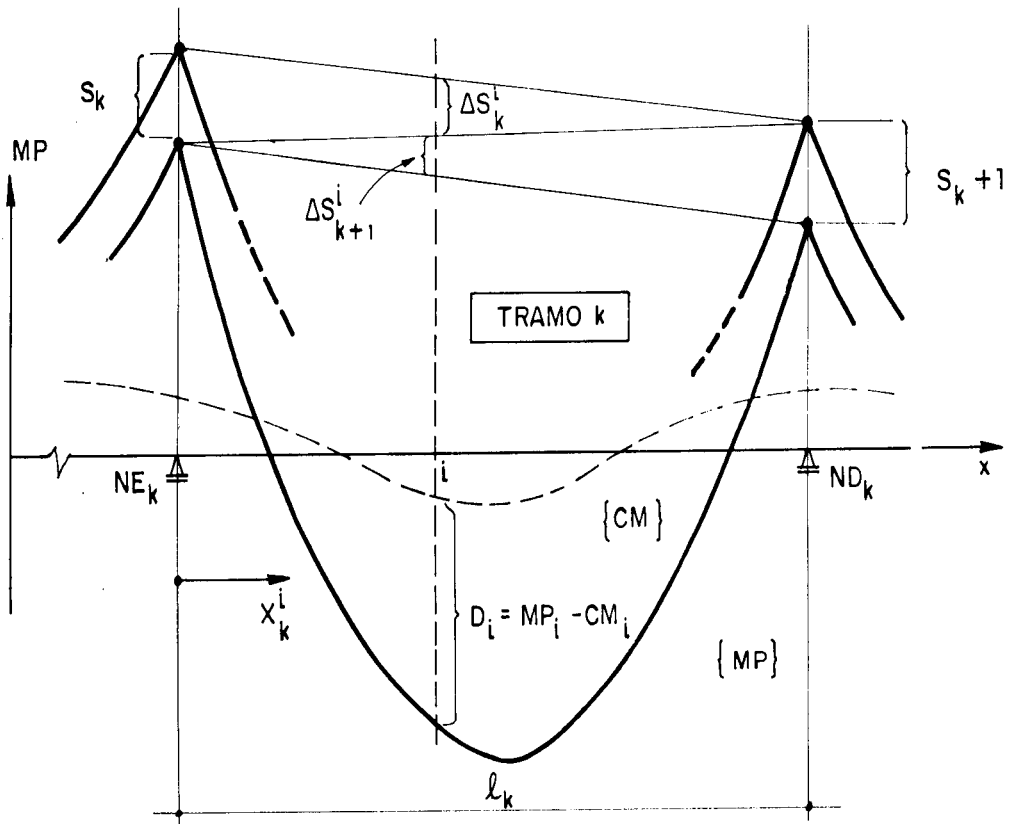
Para se resolver o problema, empregou-se novamente o processo dos mínimos quadrados, com os mesmos "pesos"  $\Delta x_i$  usados no ítem 3.4.2. Assim, para uma viga de n tramos:

$$\begin{aligned}
 U = & \sum_{\ell_1} \Delta x_i^2 \cdot (D_i + \Delta S_1^i + \Delta S_2^i)^2 + \sum_{\ell_2} \Delta x_i^2 \cdot (D_i + \Delta S_2^i + \Delta S_3^i)^2 + \dots \\
 & \dots + \sum_{\ell_{k-1}} \Delta x_i^2 \cdot (D_i + \Delta S_{k-1}^i + \Delta S_k^i)^2 + \sum_{\ell_k} \Delta x_i^2 \cdot (D_i + \Delta S_k^i + \Delta S_{k+1}^i)^2 + \dots \\
 & \dots + \sum_{\ell_{n-1}} \Delta x_i^2 \cdot (D_i + \Delta S_{n-1}^i + \Delta S_n^i)^2 + \sum_{\ell_n} \Delta x_i^2 \cdot (D_i + \Delta S_n^i + \Delta S_{n+1}^i)^2 \rightarrow \\
 & \rightarrow \text{mínima} \tag{3.35}
 \end{aligned}$$

se essa viga não for engastada nos apoios extremos, deve-se fazer, na expressão 3.35:

$$\Delta S_1^i = 0 \quad \text{e} \quad \Delta S_{n+1}^i = 0 \quad \forall i \tag{3.36}$$

Para se procurar o mínimo da expressão 3.35, deve-se derivar parcialmente U em relação a cada uma das variáveis, igualando cada uma dessas derivadas a zero. Dessa maneira, obter-se-á um sistema de equações lineares, tendo como incógnitas os valores das transformações lineares  $S_k$ . Deve-se ressaltar, que a influência de  $S_k$  se limita somente aos tramos adjacentes k-1 e k. Nos demais tramos sua influência é nula. Levando em conta que:



$$\frac{\partial}{\partial S_k} \Delta S_k = 1 - X_k \quad (\text{para o tramo } k) \quad (3.37)$$

$$\frac{\partial}{\partial S_k} \Delta S_k = X_k \quad (\text{para o tramo } k-1) \quad (3.38)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial S_1} = \sum_{\ell_1} 2 \cdot \Delta x_i^2 \cdot (D_i + \Delta S_1^i + \Delta S_2^i) \cdot (1 - X_1^i) &= \sum_{\ell_1} 2 \cdot \Delta x_i^2 \cdot [D_i + \\ &+ (1 - X_1^i) \cdot S_1 + X_1^i \cdot S_2] \cdot (1 - X_1^i) = 0 \end{aligned} \quad (3.39)$$

Desenvolvendo 3.39 e agrupando convenientemente as incôgnitas, obtem-se a primeira linha do sistema de equações:

$$\sum_{\ell_1} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_1^i)^2 \cdot S_1 + \sum_{\ell_1} \Delta x_i^2 \cdot X_1^i \cdot (1-X_1^i) \cdot S_2 + 0 \cdot S_3 + \dots + \dots + 0 \cdot S_{n+1} = - \sum_{\ell_1} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_1^i) \cdot D_i \quad (3.40)$$

Chamando de [A] a matriz dos coeficientes e de [B] o vetor dos termos independentes, de tal forma que:

$$[A] * \{S\} = [B] \quad (3.41)$$

pode-se dizer que:

$$A_{11} = \sum_{\ell_1} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_1^i)^2 \quad (3.42)$$

$$A_{12} = \sum_{\ell_1} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_1^i) \quad (3.43)$$

$$A_{13} = A_{14} = \dots = A_{1n} = 0 \quad (3.44)$$

$$B_1 = - \sum_{\ell_1} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_1^i) \cdot D_i \quad (3.45)$$

Para se obter uma linha k do sistema, tem-se:

$$\frac{\partial U}{\partial S_k} = \sum_{\ell_{k-1}} 2 \cdot \Delta x_i^2 \cdot (D_i + \Delta S_{k-1}^i + \Delta S_k^i) \cdot X_{k-1}^i + \sum_{\ell_k} 2 \cdot \Delta x_i^2 \cdot (D_i + \Delta S_k^i + \Delta S_{k+1}^i) \cdot (1-X_k^i) = 0 \quad (3.46)$$

Desenvolvendo e agrupando convenientemente as incógnitas, tem-se:



$$\begin{aligned}
& \sum_{\ell_{k-1}} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_{k-1}^i) \cdot X_{k-1}^i \cdot S_{k-1} + \sum_{\ell_{k-1}} \Delta x_i^2 \cdot X_{k-1}^{i^2} + \sum_{\ell_k} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_k^i)^2 \cdot S_k + \\
& + \sum_{\ell_k} \Delta x_i^2 \cdot X_k^i \cdot (1-X_k^i) \cdot S_{k+1} = - \sum_{\ell_{k-1}} \Delta x_i^2 \cdot X_{k-1}^i \cdot D_i - \\
& - \sum_{\ell_k} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_k^i) \cdot D_i \tag{3.47}
\end{aligned}$$

Desse modo, pode-se dizer que:

$$A_{k,k-1} = \sum_{\ell_{k-1}} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_{k-1}^i) \cdot X_{k-1}^i \tag{3.48}$$

$$A_{k,k} = \sum_{\ell_{k-1}} \Delta x_i^2 \cdot X_{k-1}^{i^2} + \sum_{\ell_k} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_k^i)^2 \tag{3.49}$$

$$A_{k,k+1} = \sum_{\ell_k} \Delta x_i^2 \cdot X_k^i \cdot (1-X_k^i) \tag{3.50}$$

$$A_{k,j} = 0 \quad \forall j \neq k-1, k, k+1 \tag{3.51}$$

$$B_k = - \sum_{\ell_{k-1}} \Delta x_i^2 \cdot X_{k-1}^i \cdot D_i - \sum_{\ell_k} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_k^i) \cdot D_i \tag{3.52}$$

sendo  $n$  o número de tramos da viga, a linha  $n+1$  pode ser conseguida fazendo-se:

$$\frac{\partial U}{\partial S_{n+1}} = \sum_{\ell_n} 2 \cdot \Delta x_i^2 \cdot (D_i + \Delta S_n^i + \Delta S_{n+1}^i) \cdot X_n^i = 0 \tag{3.53}$$

onde, agrupando convenientemente:

$$\begin{aligned}
& \sum_{\ell_n} \Delta x_i^2 \cdot (1-X_n^i) \cdot X_n^i \cdot S_n + \sum_{\ell_n} \Delta x_i^2 \cdot X_n^{i^2} \cdot S_{n+1} = - \sum_{\ell_n} \Delta x_i^2 \cdot D_i \\
& \tag{3.54}
\end{aligned}$$

Podendo-se dizer finalmente, que:

$$A_{n+1,n} = \sum_{\ell_n} \Delta x_i^2 (1 - X_n^i) X_n^i \quad (3.55)$$

$$A_{n+1,n+1} = \sum_{\ell_n} \Delta x_i^2 X_n^{i^2} \quad (3.56)$$

$$A_{n+1,j} = 0 \quad \forall j < n \quad (3.57)$$

$$B_{n+1} = - \sum_{\ell_n} \Delta x_i^2 D_i \quad (3.58)$$

Para vigas com algum apoio extremo não engastado, deve-se fazer a redução das respectivas linhas e colunas da matriz [A] correspondente a esse apoio.

A solução do sistema dado pela expressão (3.41) fornece os valores necessários da transformação linear, para as seções sobre esses apoios. Dessa maneira, os valores de {MPI} nesses pontos serão:

$$MPI_k = MP_k + S_k \quad (3.59)$$

Para se determinar o restante dos pontos de {MPI} basta aplicar a expressão 2.26.

#### 3.4.4 - Determinação da força de protensão e do cabo resultante ao longo da viga

Para qualquer seção i da viga, pode-se afirmar que:

$$MPI_i = P_i \cdot y_i \quad (3.60)$$

onde:

$$P13_{\min,i} \leq P_i \leq P24_{\max,i} \quad (3.61)$$

$$(BI_i + c) \leq y_i \leq (BS_i - c) \quad (3.62)$$

O objetivo é obter o menor valor de  $P_i$ , então:

$$y_i = \frac{MPI_i}{P13_{\min,i}} \quad (3.63)$$

A expressão 3.63 nem sempre pode satisfazer a expressão 3.62. Nesses casos:

$$P_i = \frac{MPI_i}{(BI_i + c)} \quad \text{se } MPI_i < 0 \quad (3.64)$$

ou

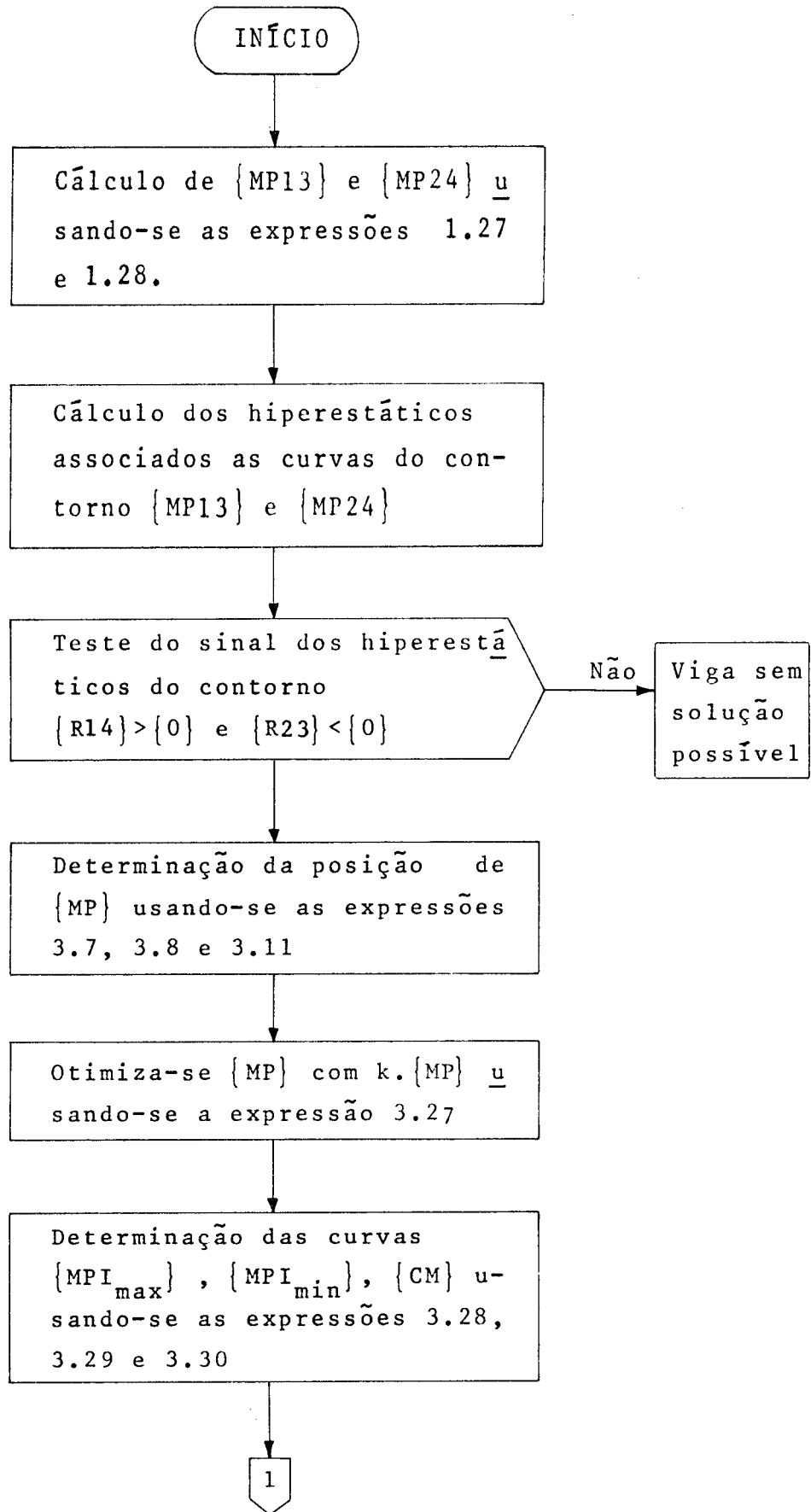
$$P_i = \frac{MPI_i}{(BS_i - c)} \quad \text{se } MPI_i > 0 \quad (3.65)$$

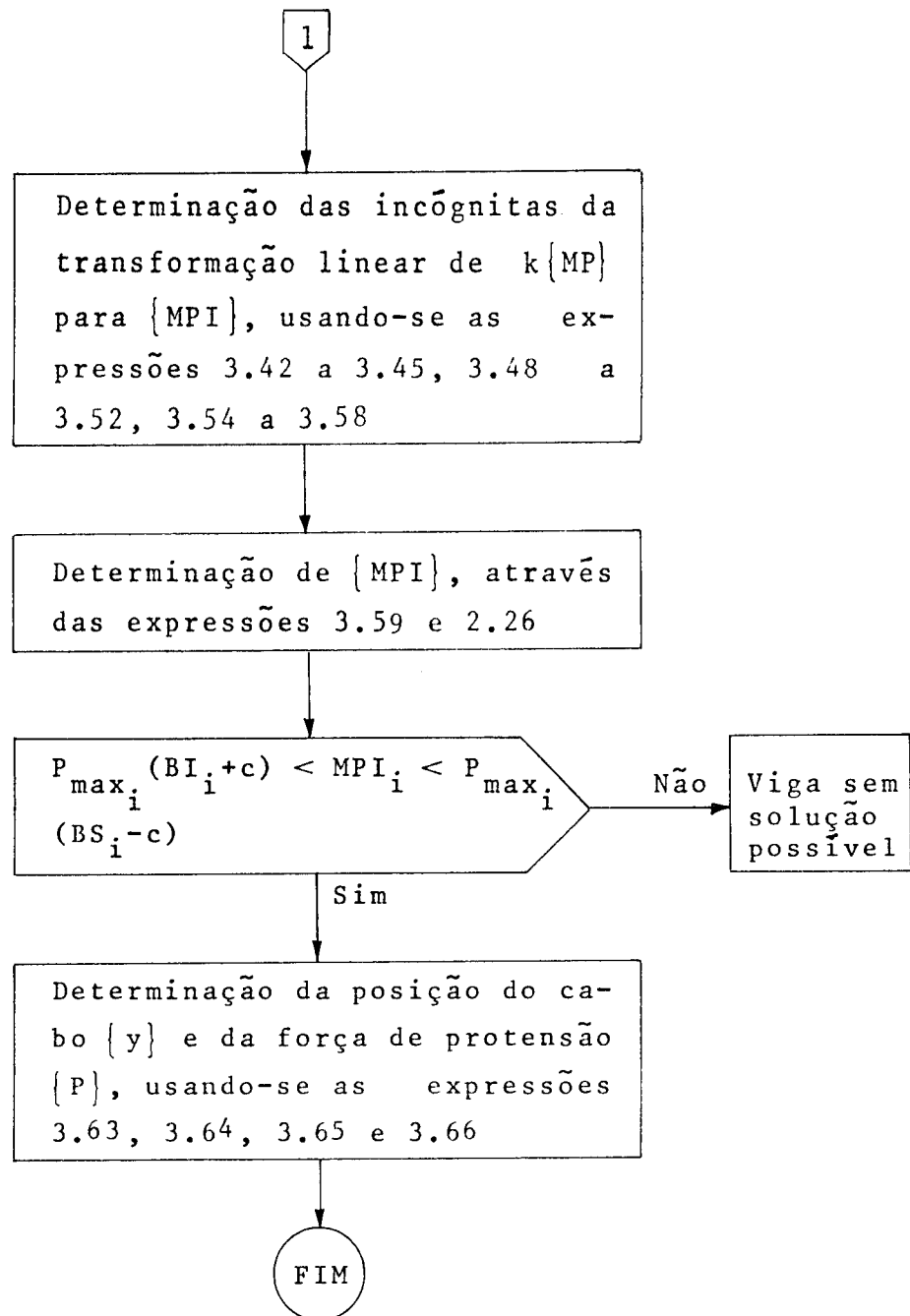
ou

$$P_i = P13_{\min,i} \quad \text{se } MPI = 0 \quad (3.66)$$

#### 3.4.5 - Resumo esquemático do algoritmo

A seguir, é mostrado de forma esquemática o algoritmo descrito no ítem 3.4, com o intuito de facilitar sua compreensão global.





### 3.4.6 - Utilização dos resultados fornecidos pelo algoritmo

O algoritmo fornece, basicamente, a posição do cabo resultante  $\{y\}$  e a intensidade da força de protensão  $\{P\}$  ao longo da viga. Essas informações deverão ser utilizadas no traçado dos cabos de protensão, além das hipóteses em que se baseou o desenvolvimento do algoritmo. Essas condições são resumidas abaixo:

- A intensidade da força de protensão está diretamente relacionada à quantidade de cabos necessários em cada seção. Como  $\{P\}$  não é constante, sua variação está associada à interrupção dos cabos de protensão ao longo da viga.
- O ponto de aplicação da resultante das forças que atuam em cada cabo deve coincidir com a posição de  $\{y\}$ , ao longo de toda viga.
- Os traçados dos cabos devem ser estudados de forma que as curvas  $\{P\}$  e  $\{y\}$  reais não se afastem significativamente das suas respectivas curvas do modelo, principalmente em seções onde acontecem interrupções de cabos. Nessas seções, quando a ancoragem é ativa, é necessário levar o cabo a borda da viga para ancorá-lo, e isso motiva, na maioria dos casos, seu afastamento do cabo resultante. Esse efeito deve ser compensado com afastamento, em sentido oposto, dos cabos restantes, de maneira a não haver alteração na posição da resultante. A própria interrupção do cabo provoca uma descontinuidade nas curvas  $\{P\}$  e  $\{y\}$ , e para que esse efeito não seja muito sensível, deve-se evitar interromper muitos cabos de uma única vez uma seção.

#### 4. INFLUÊNCIA DAS PERDAS DE PROTENSÃO NA OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE CABOS

Neste capítulo, não serão analisados os fenômenos de perdas de protensão em si, mas seus efeitos no processo de otimização do traçado de cabos. Para esse estudo, os fenômenos de perdas foram divididos em dois grupos. No primeiro deles encontra-se isolada a perda por atrito entre cabo e bainha, cujo efeito não provoca variação da força de protensão em qualquer seção da viga, ou seja as perdas acontecem durante a protensão dos cabos e uma vez terminada essa operação não há mais alteração da força de protensão devido a esse fenômeno. No segundo grupo encontram-se o restante dos fenômenos que provocam variação na força de protensão a pós a protensão. Essa variação pode ser "instantânea", como as provocadas pela acomodação da ancoragem e pela deformação imediata do concreto, ou dependerem do tempo de uso da estrutura, como a retração e deformação lenta do concreto e a relaxação do aço.

Para se levar em conta o efeito das perdas de protensão no processo de otimização, optou-se por processo iterativo, onde em cada nova iteração, os traçados dos cabos são determinados considerando-se as perdas de protensão calculadas com os traçados dos cabos da iteração anterior.

No Anexo I são mostrados os processos para cálculo de perdas utilizados no programa.

#### 4.1 - EFEITO DAS PERDAS DE PROTENSÃO POR ATRITO

Na análise do efeito desse tipo de perdas, é feita uma distinção de abordagem entre as vigas protendidas com cabos contínuos e as protendidas com cabos interrompidos. Nos próximos itens são analisadas as duas abordagens utilizadas.

##### 4.1.1 - Vigas com cabos contínuos

No Capítulo 3, ítem 3.3, discutiu-se um algoritmo de otimização da trajetória de cabos contínuos com força de protensão constante. Para o cálculo das perdas de protensão, deve-se utilizar os valores de  $P$  e  $\{y\}$  obtidos nesse algoritmo, como primeira aproximação. Feito isso, pode-se encontrar coeficiente  $0 < \beta_i < 1$ , para cada seção  $i$ , tal que:

$$P_i^* = \beta_i \cdot P \quad (4.1)$$

onde  $P_i^*$  representa a força de protensão na seção  $i$  após o efeito das perdas.

Para nova iteração utiliza-se o mesmo algoritmo contido no ítem 3.3, com três modificações. A primeira delas se refere a pesquisa do intervalo de variação possível para a força de protensão  $P_i$ , na qual a expressão (3.12) é modificada para:

$$P_{24_i} \leq \beta_i \cdot P_i \leq P_{13_i} \quad (4.2)$$

ou

$$\frac{P_{24_i}}{\beta_i} \leq P_i \leq \frac{P_{13_i}}{\beta_i} \quad (4.3)$$



A segunda delas acontece na obtenção de  $\{FS\}$  e  $\{FI\}$ , onde se deve usar  $\beta_i.P$  no lugar de  $P$  nas expressões 1.14 a 1.17.

A terceira modificação se dá na obtenção da posição do cabo de protensão, onde se deve usar  $\beta_i.P$  no lugar de  $P$  na expressão 3.16.

As demais etapas do algoritmo permanecem idênticas ao algoritmo do ítem 3.3.

Feito isto, é necessário reavaliar as perdas de protensão em cada seção, encontrando-se novos valores para  $\beta_i$  e fazendo-se nova iteração. Esses ciclos terminam quando a variação de  $\beta_i$ , em todas as seções tiver um valor percentual abaixo de uma precisão pré-estabelecida. Em diversos exemplos analisados, no caso de atrito, duas iterações foram suficientes para se obter uma variação máxima de  $\beta_i$  abaixo de 2%.

#### 4.1.2 - Vigas com interrupção de cabos

Para vigas com cabos interrompidos, a consideração de perdas é mais simples e só tem efeito no estudo da distribuição desses cabos. O algoritmo dado no ítem 3.4 fornece as curvas  $\{y\}$  e  $\{P\}$  que devem ser utilizadas nesse processo. Seja  $P_c$  a capacidade de protensão de cada cabo, ou de um conjunto de cabos. Se forem desprezados os efeitos das perdas, a interrupção dos cabos pode ser esquematizada como na Fig. 4.1, supondo atendidas as recomendações dadas no ítem 3.4.6.

Cada conjunto de cabos produz um retângulo de altura  $P_c$ , cujo comprimento "C" representa sua região de atuação. Deve-se dispor esses retângulos, ao longo da viga, da melhor maneira possível, de maneira que possam representar aproximadamente, a curva  $\{P\}$ . Pode-se notar que, quanto menor for  $P_c$  mais fácil é a representação de  $\{P\}$  através de retângulos.

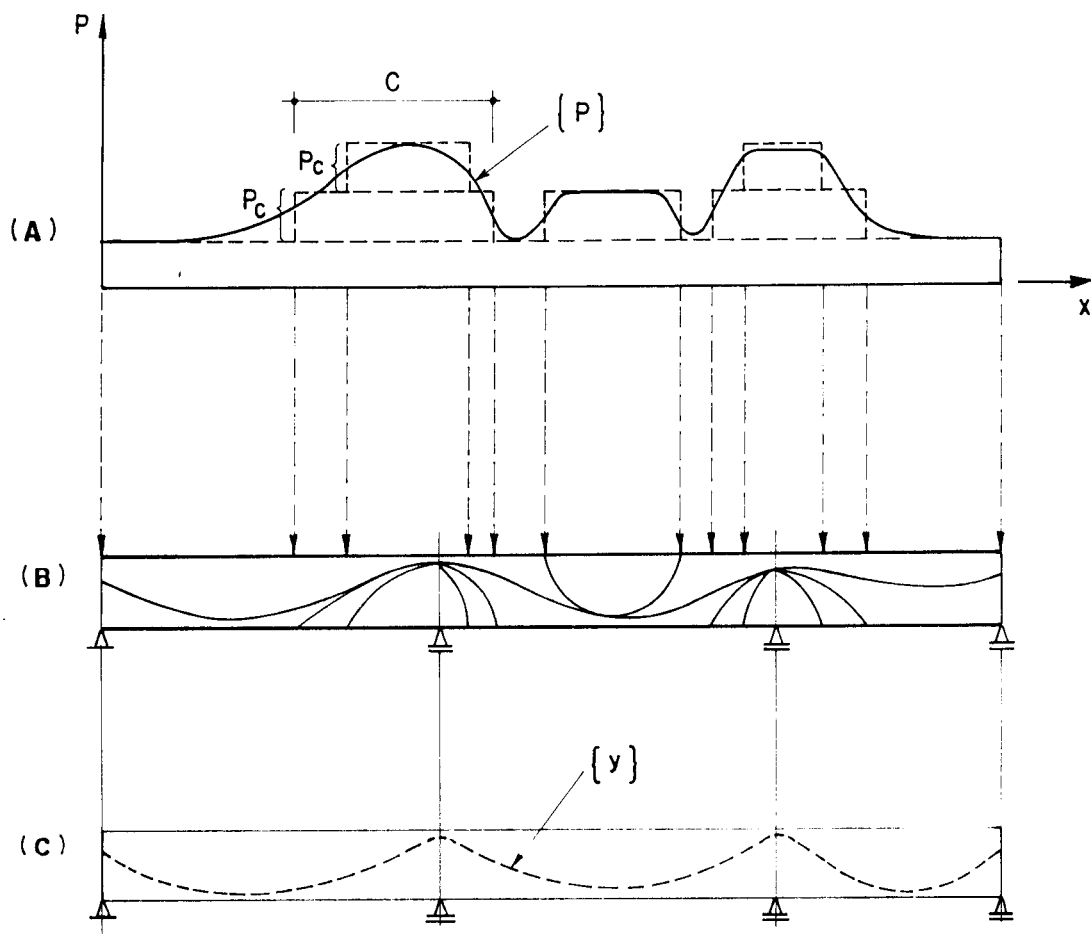


Fig. 4.1 - Esquema geral da interrupção de cabos sem consideração de perdas, para cabos com duas ancoragens ativas.

Ao se considerar perdas de protensão por atrito, o valor da força de protensão de cada cabo (ou grupo de cabos) não é mais constante ao longo de seu trecho de atuação, "deformando" os retângulos da Fig. 4.1(A). Esse efeito pode ser esquematizado como na Fig. 4.2.

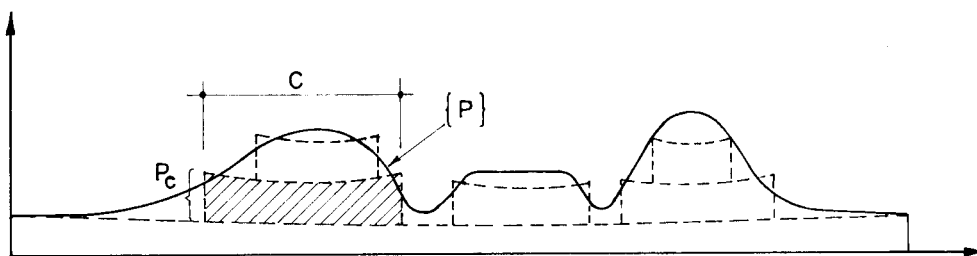


Fig. 4.2 - Efeito das perdas de protensão por atrito em cabos interrompidos.

Pode-se notar um efeito de "abatimento" nos retângulos, provocando "sobras" sensíveis entre a curva  $\{P\}$  e seu contorno superior. Para resolver esse problema é neces-

sário dispor mais "retângulos deformados" sobre os existentes, ou mesmo alocá-los de forma distinta. Esse procedimento pode parecer a primeira vista dificultoso mas para facilitar a análise, basta estudar um cabo (ou grupo de cabos) de cada vez, verificando a seguir as "sobras" a serem absorvidas pelos cabos seguintes. Também, para simplificar, pode-se estimar as perdas que um grupo de cabos terá numa região, através da trajetória do cabo resultante nessa mesma região. Esse procedimento, de forma mais ilustrativa do que prática, foi desenvolvido no programa TRESA e TRESB listado no anexo II.

#### 4.2 - EFEITO DAS PERDAS DE PROTENSÃO QUE PROVOCAM VARIAÇÃO NA FORÇA DE PROTENSÃO

Este tipo de perda difere da anterior pelo fato de provocar uma diminuição da força de protensão, em cada seção, instantaneamente ou ao longo do tempo. A diminuição da força de protensão provoca alterações no momento de protensão e pode causar a migração do par  $(P_i, MP_i)$  de uma seção  $i$  qualquer, de dentro para fora do fuso limite. Deve-se então estudar um traçado de cabos com forças de protensão adequadas de maneira a manter a viga atendendo aos critérios de segurança usados em seu projeto, ao longo de sua vida útil, ou seja, que os pontos  $(P_i, MP_i)$  de uma viga, estejam dispostos de tal forma que as perdas de protensão não provoquem sua saída do interior do fuso limite. Para a otimização do traçado de cabos sob efeito dessas perdas é necessário novamente recorrer-se a processo iterativo.

Chamando-se de  $\Delta P_i$  a perda final da força de protensão numa seção  $i$ , de tal forma que:

$$MP_i^* = y_i \cdot (P_i - \Delta P_i) = y_i \cdot P_i - y_i \cdot \Delta P_i = MP_i - \Delta MP_i \quad (4.4)$$

ou de forma matricial:

$$\{MP_i^*\} = \{MP_i\} - \{\Delta MP_i\} \quad (4.5)$$

a variação do momento de protensão pode ser dado por:

$$\begin{aligned} \{MP^*\} &= [MIT]*\{MPI^*\} = [MIT]*(\{MPI\} - \{\Delta MPI\}) = \\ &= [MIT]*\{MPI\} - [MIT]*\{\Delta MPI\} = \{MP\} - \{\Delta MP\} \end{aligned} \quad (4.6)$$

tendo como:

$$\{\Delta MP\} = [MIT]*\{\Delta MPI\} \quad (4.7)$$

O sinal de  $\Delta P_i$  é sempre negativo, mas  $MP_i$  também pode assumir sinal positivo.  $\Delta P_i$  e  $\Delta MP_i$  formam um vetor, aqui chamado de vetor de migração  $VM_i$ , que representa o deslocamento dos pontos  $(P_i, MP_i)$ , contidos no interior do fuso limite, para a posição  $(P_i^*, MP_i^*)$ , após o efeito das perdas. A Fig. 4.3 mostra a influência de  $VM_i$  nos pontos pertencentes ao fuso limite para diversas situações. Pode-se afirmar que os pontos contidos nos paralelogramos pontilhados da Fig. 4.3 não são deslocados para fora do fuso após o efeito das perdas. Isso equivale a se definir um novo fuso, contido no interior do fuso limite, cujos pontos possuem a propriedade de não ultrapassarem o contorno do fuso limite, após o efeito das perdas. O contorno desse fuso interno pode ser obtido combinando-se convenientemente as expressões 1.14 a 1.17 com as expressões abaixo enumeradas:

$$MP + \Delta MP < - \frac{ws}{A} \cdot (P + \Delta P) - ws \cdot \sigma_{c adm} - M_{max} \quad (1^*) \quad (4.8)$$

$$MP + \Delta MP > - \frac{ws}{A} \cdot (P + \Delta P) - ws \cdot \sigma_{t adm} - M_{min} \quad (2^*) \quad (4.9)$$

$$MP + \Delta MP > - \frac{wi}{A} \cdot (P + \Delta P) - wi \cdot \sigma_{c adm} - M_{min} \quad (3^*) \quad (4.10)$$

$$MP + \Delta MP < - \frac{wi}{A} \cdot (P + \Delta P) - wi \cdot \sigma_{t adm} - M_{max} \quad (4^*) \quad (4.11)$$

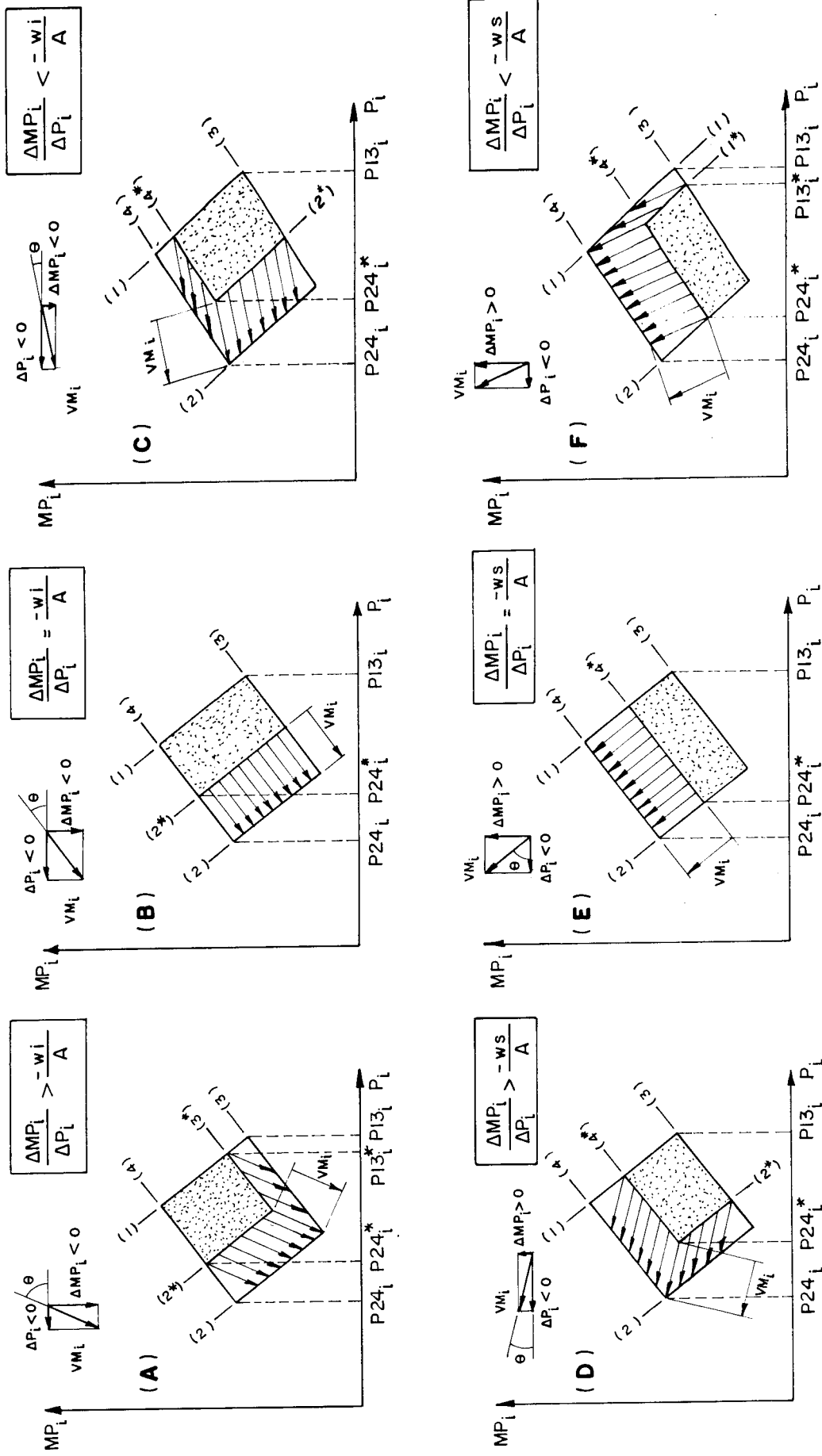


Fig. 4.3 - Influência de  $VM_i$  numa seção qualquer com formação do fuso interior.

Dessa combinação pode-se definir os parâmetros des se fusão interno que são usados nos algoritmos de otimização, os quais são formulados a seguir:

$$A) \Delta MP_i > 0$$

$$A.1) \boxed{\frac{\Delta MP_i}{\Delta P_i} < \frac{-ws}{A}} \quad \text{que podem ser obtidos pela interseção das retas (1*), (4*), (2), (3), conforme a Fig. 4.3-f.}$$

$$P^{*24} = -A \left[ \sigma_{tadm} - \frac{M_{\max} - M_{\min}}{ws - wi} - \frac{MP}{ws - wi} - \frac{wi \cdot P}{A(ws - wi)} \right]$$

$$P^{*13} = -A \left[ \sigma_{cadm} + \frac{M_{\max} - M_{\min}}{ws - wi} + \frac{\Delta MP}{ws - wi} + \frac{ws \cdot \Delta P}{A(ws - wi)} \right] \quad (4.13)$$

$$MP^{*14} = \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}} - M_{\max} - \Delta MP \quad (4.14)$$

$$MP^{*23} = MP_{23} = - \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} - M_{\min} \quad (4.15)$$

$$MP^{*24} = \frac{M_{\max} + \Delta MP}{wi \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} - \frac{M_{\min}}{ws \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} + \frac{\Delta P}{A \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} \quad (4.16)$$

$$A.2) \boxed{\frac{\Delta MP_i}{\Delta P_i} = \frac{-ws}{A}} \quad \text{Que podem ser obtidos pela interseção das retas (1), (3), (2), (4*), conforme a Fig. 4.3e.}$$

$$P^{*24} = -A \left[ \sigma_{tadm} - \frac{M_{\max} - M_{\min}}{ws - wi} - \frac{\Delta MP}{ws - wi} - \frac{wi \cdot \Delta P}{A(ws - wi)} \right] \quad (4.17)$$

$$P^{*13} = P_{13} = -A \left[ \sigma_{cadm} + \frac{M_{\max} - M_{\min}}{ws - wi} \right] \quad (4.18)$$

$$MP^*_{14} = \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} - M_{\max} + \frac{\Delta MP}{w_i \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} + \frac{\Delta P}{A \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} \quad (4.19)$$

$$MP^*_{23} = MP_{23} = - \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} - M_{\min} \quad (4.20)$$

$$MP^*_{24} = \frac{M_{\max} + \Delta MP}{w_i \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} - \frac{M_{\min}}{w_s \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} + \frac{\Delta P}{A \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} \quad (4.21)$$

A.3)  $\boxed{\frac{\Delta MP_i}{\Delta P_i} > \frac{-w_s}{A}}$  Que podem ser obtidos pela interseção das retas (1), (3), (2\*), (4\*), conforme a Fig. 4.3d.

$$P^*_{24} = -A \left[ \sigma_{tadm} - \frac{M_{\max} - M_{\min}}{w_s - w_i} + \frac{\Delta P}{A} \right] \quad (4.22)$$

$$P^*_{13} = P_{13} = -A \left[ \sigma_{cadm} + \frac{M_{\max} - M_{\min}}{w_s - w_i} \right] \quad (4.23)$$

$$MP^*_{14} = \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} - M_{\max} + \frac{\Delta MP}{w_i \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} + \frac{\Delta P}{A \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} \quad (4.24)$$

$$MP^*_{23} = - \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} - M_{\min} - \frac{\Delta MP}{w_s \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} - \frac{\Delta P}{A \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} \quad (4.25)$$

$$MP^*_{24} = \frac{M_{\max}}{w_i \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} - \frac{M_{\min}}{w_s \left(\frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i}\right)} - \Delta MP \quad (4.26)$$

B)  $MP_i < 0$

B.1)  $\boxed{\frac{\Delta MP_i}{\Delta P_i} < \frac{-w_i}{A}}$  Que podem ser obtidos pela interseção das retas (1), (3), (2\*), (4\*), conforme a Fig. 4.3c.

$$P^{*24} = -A \left[ \sigma_{tadm} - \frac{M_{\max} - M_{\min}}{ws - wi} + \frac{\Delta P}{A} \right] \quad (4.27)$$

$$P^{*13} = P_{13} = -A \left[ \sigma_{cadm} + \frac{M_{\max} - M_{\min}}{ws - wi} \right] \quad (4.28)$$

$$MP^{*14} = \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} - M_{\max} + \frac{\Delta MP}{wi \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} + \frac{\Delta P}{A \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} \quad (4.29)$$

$$MP^{*23} = - \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} - M_{\min} - \frac{\Delta MP}{ws \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} - \frac{\Delta P}{A \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} \quad (4.30)$$

$$MP^{*24} = \frac{M_{\max}}{wi \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} - \frac{M_{\min}}{ws \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} - \Delta MP \quad (4.31)$$

B.2)  $\boxed{\frac{\Delta MP_i}{\Delta P_i} = \frac{-wi}{A}}$  Que podem ser obtidos pela interseção das retas (1), (4), (2\*), (3), conforme a Fig. 4.3b.

$$P^{*24} = -A \left[ \sigma_{tadm} - \frac{M_{\max} - M_{\min}}{ws - wi} + \frac{\Delta MP}{ws - wi} + \frac{ws \cdot \Delta P}{A(ws - wi)} \right] \quad (4.32)$$

$$P^{*13} = P_{13} = -A \left[ \sigma_{cadm} + \frac{M_{\max} - M_{\min}}{ws - wi} \right]$$

$$MP^{*14} = MP_{14} = MP_{14} = \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} - M_{\max} \quad (4.33)$$

$$MP^{*23} = - \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} - M_{\min} - \frac{\Delta MP}{ws \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} - \frac{\Delta P}{A \left(\frac{1}{ws} - \frac{1}{wi}\right)} \quad (4.34)$$



$$MP^*_{24} = \frac{M_{\max}}{w_i \left( \frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i} \right)} - \frac{M_{\min} + \Delta MP}{w_s \left( \frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i} \right)} - \frac{\Delta P}{A \left( \frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i} \right)} \quad (4.35)$$

B.3)  $\boxed{\frac{\Delta MP_i}{\Delta P_i} > \frac{-w_i}{A}}$  Que podem ser obtidos pela interseção das retas (1), (4), (2\*), (3\*), conforme a Fig. 4.3A.

$$P^*_{24} = -A \left[ \sigma_{tadm} - \frac{M_{\max} - M_{\min}}{w_s - w_i} + \frac{\Delta MP}{w_s - w_i} + \frac{w_s \cdot \Delta P}{A(w_s - w_i)} \right] \quad (4.36)$$

$$P^*_{13} = -A \left[ \sigma_{cadm} + \frac{M_{\max} - M_{\min}}{w_s - w_i} - \frac{\Delta MP}{w_s - w_i} - \frac{w_i \cdot \Delta P}{A(w_s - w_i)} \right] \quad (4.37)$$

$$MP^*_{14} = MP_{14} = \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left( \frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i} \right)} - M_{\max} \quad (4.38)$$

$$MP^*_{23} = - \frac{\sigma_{tadm} - \sigma_{cadm}}{\left( \frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i} \right)} - M_{\min} - \Delta MP \quad (4.39)$$

$$M^*_{24} = \frac{M_{\max}}{w_i \left( \frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i} \right)} - \frac{M_{\min} + \Delta MP}{w_s \left( \frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i} \right)} - \frac{\Delta P}{A \left( \frac{1}{w_s} - \frac{1}{w_i} \right)} \quad (4.40)$$

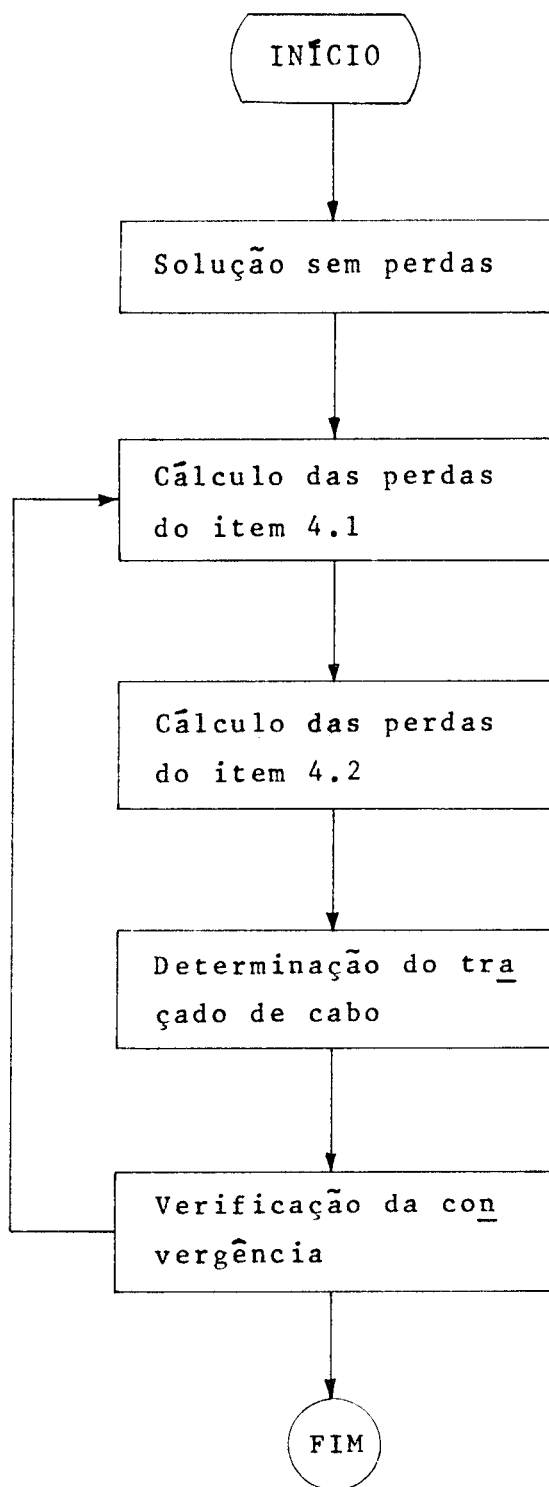
Uma vez obtido o fuso interior, os algoritmos de otimização permanecem idênticos aos do capítulo 3, tanto para cabos contínuos como para cabos interrompidos. Nas expressões associadas a cada algoritmo deve-se utilizar  $P^*_{24}$ ,  $P^*_{13}$ ,  $MP^*_{14}$ ,  $MP^*_{23}$  e  $MP^*_{24}$  no lugar de  $P_{24}$ ,  $P_{13}$ ,  $MP_{14}$ ,  $MP_{23}$  e  $MP_{24}$ . Ao final de cada iteração deve-se recalcular o valor das perdas de protensão e compará-las com as perdas utilizadas nesse ciclo. As iterações terminam quando a diferença entre o valor das perdas em cada seção, entre duas iterações sucessivas, for menor que uma precisão pré-estabelecida.

### 4.3 - EFEITO CONJUNTO DOS DOIS TIPOS DE PERDAS

Para a análise conjunta dos dois tipos de perdas é necessário se valer de processo iterativo, composto pela soma dos algoritmos descritos nos itens 4.1 e 4.2. Para isso, deve-se considerar como ponto de partida o traçado sem considerações de perdas. Um novo traçado deve ser obtido através da soma das perdas, calculadas isoladamente, no traçado anterior. Este ciclo deve-se repetir até que a posição dos cabos de duas iterações sucessivas seja, dentro de uma tolerância pré-determinada, praticamente a mesma.

No caso de vigas com interrupções de cabos, pode-se reduzir o esforço de cálculo admitindo-se ser sempre possível representar de forma eficiente a curva  $\{P\}$ , através da soma de "retângulos abatidos" (ver item 4.1.2 - Fig. 4.2), de tal maneira que as perdas por atrito de cada cabo isolado não interfira na análise do traçado do cabo resultante. Dessa maneira, a cada iteração é necessário somente se calcular as perdas do item 4.2. Uma vez obtido o traçado final, deve-se representar a curva  $\{P\}$  e  $\{y\}$  através de "retângulos abatidos", da melhor maneira possível, de maneira que essa simplificação seja válida.

É representado a seguir o fluxograma esquemático do processo descrito neste item.



## 5. EXEMPLOS RESOLVIDOS

Nesse capítulo são aplicados, através do programa de computador descrito no anexo 2, os algoritmos discutidos nos capítulos 3 e 4 em dois exemplos. O primeiro deles é constituído de uma viga contínua de 3 tramos, simétrica e de inércia constante na qual é principalmente mostrado a estabilidade numérica do processo. O segundo exemplo é constituído de uma viga de 3 tramos não simétrica onde se pretende mostrar, entre outras coisas, a eficácia da aplicação do processo em vigas com relação entre vãos bastante diferentes.

### 5.1 - EXEMPLO 1

Sejam determinar o traçado do cabo resultante e a força de protensão da viga indicada na fig. 5.1 para as hipóteses de cabo contínuo e cabos interrompidos ao longo da viga.

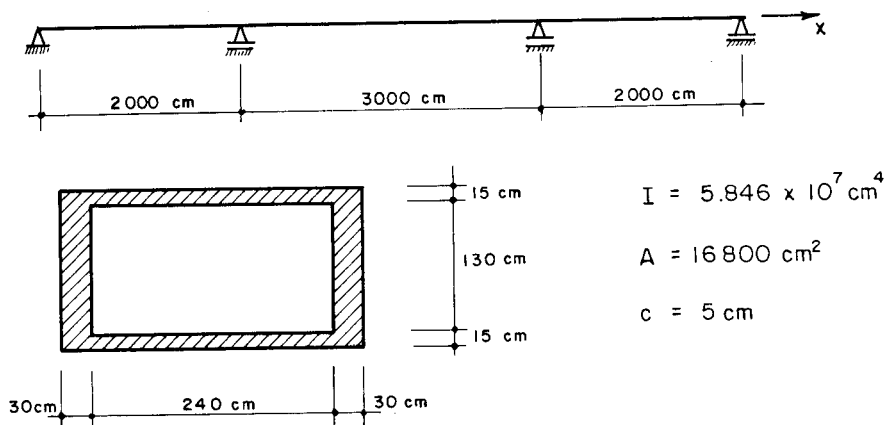


Fig. 5.1 - Esquema estático da viga e característica da seção.

A envoltória de momentos solicitantes bem como a discretização da viga em elementos de barra estão indicados na fig. 5.2 e na tabela 1.

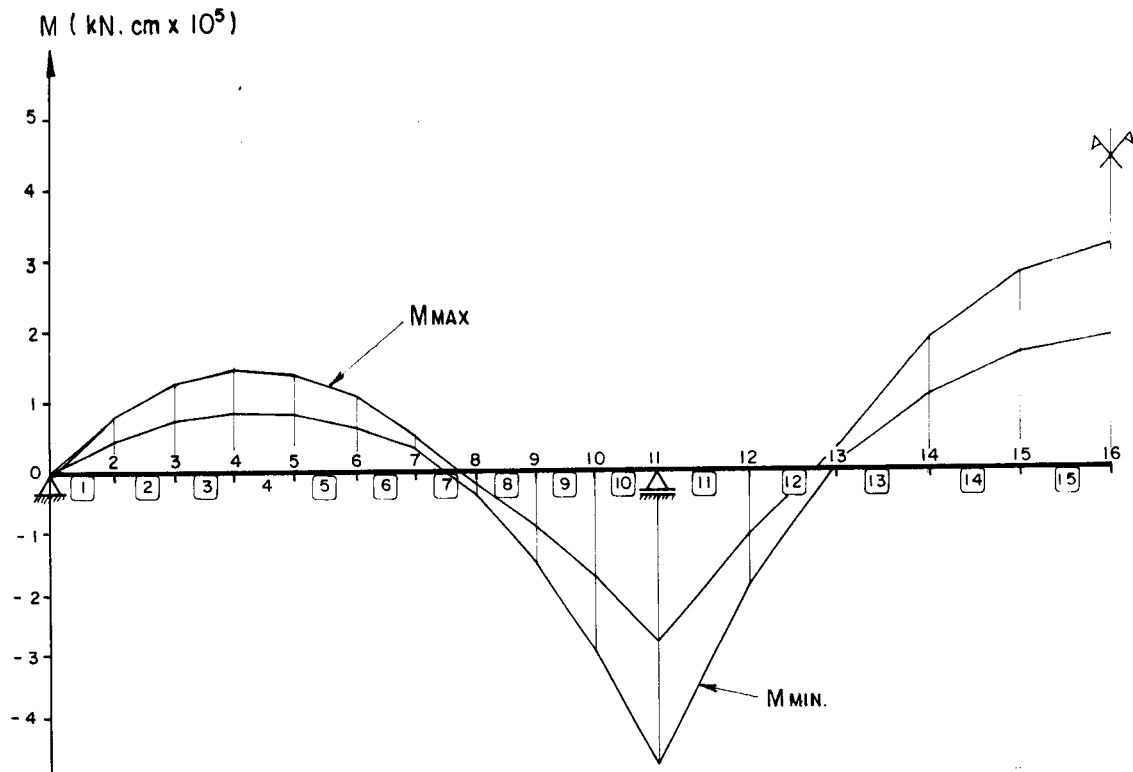


Fig. 5.2 - Envoltória de momentos solicitantes e discretização da viga.

TABELA 1

SEÇÃO	M MAX (kN.cm)	M MIN (kN.cm)	M <sub>g</sub> (kN.cm)
01			
02	81138	47330	47330
03	133477	77862	77862
04	157015	91592	91592
05	151754	88523	88523
06	117692	68654	68654
07	54831	31985	31985
08	- 21485	- 36831	- 21485
09	- 91754	-157292	- 91754
10	-178823	-306554	-178823
11	-282692	-484615	-282693
12	-112592	-193015	-112592
13	33785	19708	19708
14	195785	114208	114208
15	292985	170908	170908
16	325385	189808	189802

### 5.1.1 - Arquivo de dados do programa

Conforme mostrado no anexo 2, é listado abaixo o arquivo de dados VIGPRO.DAT, do exemplo.

```

1: 2,
2: EXEMPLO 1
3: UNIDADES UTILIZADAS : KN e cm
4: 30,4,0,5,3,.01,30,
5: 2.5,0.,.6,2,.9,
6: .3,.00573,3.72,21E3,131.7,6,
7: 1,200,16800,.5846E8,80,80,0,3.2E3,
8: 2,200,
9: 3,200,
10: 4,200,
11: 5,200,
12: 6,200,
13: 7,200,
14: 8,200,
15: 9,200,
16: 10,200,
17: 11,300,
18: 12,300,
19: 13,300,
20: 14,300,
21: 15,300,
22: 16,300,
23: 17,300,
24: 18,300,
25: 19,300,
26: 20,300,
27: 21,200,
28: 22,200,
29: 23,200,
30: 24,200,
31: 25,200,
32: 26,200,
33: 27,200,
34: 28,200,
35: 29,200,
36: 30,200,
37: 1,1,
38: 11,1,
39: 21,1,
40: 31,1,
41: 1,0.,0.,0.,
42: 2,81138.5,47330.8,47330.7,
43: 3,133476.9,77861.5,77861.6,
44: 4,157015.4,91592.3,91591.9,
45: 5,151753.9,88523.1,88522.8,
46: 6,117692.3,68653.8,68653.6,

```

47: 7,54830.8,31984.6,31984.5,  
48: 8,-21484.6,-36830.8,-21484.8,  
49: 9,-91753.8,-157292.3,-91754.1,  
50: 10,-178823.1,-306553.9,-178823.3,  
51: 11,-282692.3,-484615.4,-282692.5,  
52: 12,-112592.3,-193015.4,-112592.1,  
53: 13,33784.6,19707.7,19708.5,  
54: 14,195784.6,114207.7,114207.4,  
55: 15,292984.6,170907.7,170908.5,  
56: 16,325384.6,189807.7,189807.0,  
57: 17,292984.6,170907.7,170908.5,  
58: 18,195784.6,114207.7,114207.4,  
59: 19,33784.6,19707.7,19708.5,  
60: 20,-112592.3,-193015.4,-112592.1,  
61: 21,-282692.3,-484615.4,-282692.5,  
62: 22,-178823.1,-306553.9,-178823.3,  
63: 23,-91753.8,-157292.3,-91754.1,  
64: 24,-21484.6,-36830.8,-21484.8,  
65: 25,54830.8,31984.6,31984.5,  
66: 26,117692.3,68653.8,68653.6,  
67: 27,151753.9,88523.1,88522.8,  
68: 28,157015.4,91592.3,91591.9,  
69: 29,133476.9,77861.5,77861.6,  
70: 30,81138.5,47330.8,47330.7,  
71: 31,0,0,0,

## 5.1.2 - Relatórios fornecidos pelo programa e gráficos explicativos

### A) Análise para cabos contínuos

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO  
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS  
 DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS  
 TRACADO ECONOMICO DE CABOS EM VIGAS CONTINUAS PROTENDIDAS  
 LUIZ HENRIQUE CEOTTO  
 EXEMPLO 1

UNIDADES UTILIZADAS : KN e cm

NUMERO DE BARRAS.....	30
NUMERO DE NOS COM APOIO RIGIDO.....	4
NUMERO DE NOS COM APOIO ELASTICO....	0
COBRIMENTO DO CABO.....	5.000
FCK.....	2.500
FTK.....	0.000
COEFICIENTE DE ATRITO.....	.300
ONDULACAO PARASITA.....	.006
FYP.....	131.700
SECAO TRANSVERSAL DE UM CABO.....	3.720
CAPACIDADE DE UM CABO.....	489.924
MODULO ELAST. ACO PROTENSAO.....	21000.000
PERDA POR RELAXACAO DO ACO.....	6.000
T0 (meses).....	2.000
UMIDADE RELATIVA MEDIA.....	.600
COEF. CORRECAO DIM. MIN. VIGA.....	.900
TOLERANCIA.....	.010
NUMERO MAXIMO DE ITERACOES.....	30

PROPRIEDADES DAS BARRAS

BAR	COMP	AREA	MOM INERCIA	HI	HS	YR	MOD ELAST
1	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
2	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
3	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
4	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
5	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
6	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
7	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
8	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
9	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
10	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
11	300.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
12	300.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
13	300.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
14	300.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
15	300.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
16	300.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
17	300.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
18	300.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
19	300.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
20	300.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
21	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
22	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
23	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
24	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
25	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
26	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
27	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
28	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
29	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04
30	200.00	16800.00	.584600E+08	80.00	80.00	0.00	.320000E+04



## RESTRICIONES NODAIS

NO	COORD.X	RESTR.Y	RESTR.G
1	0.00	1	0
2	200.00	0	0
3	400.00	0	0
4	600.00	0	0
5	800.00	0	0
6	1000.00	0	0
7	1200.00	0	0
8	1400.00	0	0
9	1600.00	0	0
10	1800.00	0	0
11	2000.00	1	0
12	2300.00	0	0
13	2600.00	0	0
14	2900.00	0	0
15	3200.00	0	0
16	3500.00	0	0
17	3800.00	0	0
18	4100.00	0	0
19	4400.00	0	0
20	4700.00	0	0
21	5000.00	1	0
22	5200.00	0	0
23	5400.00	0	0
24	5600.00	0	0
25	5800.00	0	0
26	6000.00	0	0
27	6200.00	0	0
28	6400.00	0	0
29	6600.00	0	0
30	6800.00	0	0
31	7000.00	1	0

## ENVOLTORIA DE MOMENTOS SOLICITANTES

NO	MMAX	MMIN	MG
1	0.000	0.000	0.000
2	81138.500	47330.801	47330.699
3	133476.906	77861.500	77861.602
4	157015.406	91592.297	91591.898
5	151753.906	88523.102	88522.797
6	117692.297	68653.797	68653.602
7	54830.801	31984.600	31984.500
8	-21484.600	-36830.801	-21484.801
9	-91753.797	-157292.297	-91754.102
10	-178823.094	-306553.906	-178823.297
11	-282692.312	-484615.406	-282692.500
12	-112592.297	-193015.406	-112592.102
13	33784.602	19707.699	19708.500
14	195784.594	114207.703	114207.398
15	292984.594	170907.703	170908.500
16	325384.594	189807.703	189807.000
17	292984.594	170907.703	170908.500
18	195784.594	114207.703	114207.398
19	33784.602	19707.699	19708.500
20	-112592.297	-193015.406	-112592.102
21	-282692.312	-484615.406	-282692.500
22	-178823.094	-306553.906	-178823.297
23	-91753.797	-157292.297	-91754.102
24	-21484.600	-36830.801	-21484.801
25	54830.801	31984.600	31984.500
26	117692.297	68653.797	68653.602
27	151753.906	88523.102	88522.797
28	157015.406	91592.297	91591.898
29	133476.906	77861.500	77861.602
30	81138.500	47330.801	47330.699
31	0.000	0.000	0.000

PROPRIEDADES GEOMETRICAS DA VIGA NOS PONTOS NODAIS

NO	HI	HS	YR	IZ	A
1	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
2	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
3	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
4	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
5	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
6	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
7	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
8	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
9	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
10	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
11	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
12	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
13	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
14	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
15	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
16	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
17	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
18	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
19	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
20	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
21	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
22	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
23	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
24	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
25	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
26	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
27	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
28	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
29	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
30	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00
31	80.00	80.00	0.00	.584600E+08	16800.00

ANALISE DA VIGA COM CABO CONTINUO

PRIMEIRA PARTE - SEM INFLUENCIA DAS PERDAS DE PROTENSAO

INTERVALO MAXIMO DE PESQUISA PARA A FORCA DE PROTENSAO

PMIN= 2321.11 PMAX= 18678.89

CONVERGENCIA DA SOLUCAO

ITERACAO	P
1	10500.000
2	6410.557
3	4365.835
4	3343.475
5	3854.655
6	3599.065
7	3726.860
8	3662.963
9	3631.014
10	3646.988

INTERVALO SOLUCAO TIPO 3

FORCA DE PROTENSAO MINIMA ..... P= 3646.99 ( 7 CABOS)

## VERIFICACAO DO LUGAR GEOMETRICO DO DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR

NO	LIM. MAX.	LIM. MIN.	MP	[MIT]*MP
1	158633.14	-158633.14	-6937.54	-6937.67
2	77494.64	-205963.94	-58282.54	-58281.09
3	25156.23	-236494.64	-93384.53	-93383.60
4	1617.73	-250225.44	-109168.93	-109168.33
5	6879.23	-247156.25	-105640.99	-105640.10
6	40940.84	-227286.94	-82805.55	-82805.37
7	103802.34	-190617.73	-40655.95	-40654.11
8	180117.73	-121802.34	21174.05	21174.23
9	250386.94	-1340.84	103172.93	103173.42
10	337456.25	147920.77	204775.62	204776.06
11	441325.47	325982.28	325982.47	325982.53
12	271225.44	34382.27	127490.92	127492.09
13	124040.54	-178340.84	-26541.93	-26536.02
14	-37151.45	-272840.84	-135157.23	-135149.09
15	-134351.45	-329540.84	-200326.39	-200316.12
16	-166751.45	-340440.84	-222048.34	-222035.50
17	-134351.45	-329540.84	-200325.58	-200314.11
18	-37151.45	-272840.84	-135155.42	-135145.05
19	124040.54	-178340.84	-26540.25	-26532.63
20	271225.44	34382.27	127492.59	127496.73
21	441325.47	325982.28	325982.28	325982.22
22	337456.25	147920.77	204775.48	204776.03
23	250386.94	-1340.84	103171.77	103171.57
24	180117.73	-121802.34	21173.32	21173.29
25	103802.34	-190617.73	-40658.44	-40657.73
26	40940.84	-227286.94	-82805.20	-82804.62
27	6879.23	-247156.25	-105647.46	-105649.15
28	1617.73	-250225.44	-109174.50	-109175.55
29	25156.23	-236494.64	-93395.33	-93396.53
30	77494.64	-205963.94	-58296.84	-58296.72
31	158633.14	-158633.14	-6698.60	-6698.66

## TRACADO DO CABO DE FORCA DE PROTENSAO MINIMA

## VERIFICACAO DAS TENSOES NO CONCRETO PARA T= SEM PERD

NO	FORCA PROTENSAO	ORDENADA CABO	TENSAO BORDA SUPERIOR MAX.	TENSAO BORDA SUPERIOR MIN.	TENSAO BORDA INFERIOR MAX.	TENSAO BORDA INFERIOR MIN.
1	3646.988	-1.982	-.208	-.208	-.227	-.227
2	3646.988	-17.421	-.202	-.240	-.186	-.232
3	3646.988	-28.485	-.196	-.272	-.162	-.238
4	3646.988	-34.253	-.193	-.283	-.152	-.241
5	3646.988	-34.725	-.194	-.280	-.154	-.241
6	3646.988	-29.903	-.198	-.265	-.169	-.236
7	3646.988	-19.786	-.205	-.236	-.198	-.229
8	3646.988	-4.271	-.196	-.217	-.218	-.239
9	3646.988	16.773	-.143	-.233	-.201	-.291
10	3646.988	43.193	-.078	-.253	-.182	-.356
11	3646.988	75.000	-.000	-.276	-.158	-.434
12	3646.988	20.561	-.127	-.237	-.197	-.307
13	3646.988	-21.676	-.208	-.227	-.207	-.226
14	3646.988	-51.459	-.188	-.300	-.134	-.246
15	3646.988	-69.328	-.177	-.344	-.090	-.257
16	3646.988	-75.285	-.173	-.358	-.076	-.261
17	3646.988	-69.329	-.177	-.344	-.090	-.257
18	3646.988	-51.459	-.188	-.300	-.134	-.246
19	3646.988	-21.676	-.208	-.227	-.207	-.226
20	3646.988	20.561	-.127	-.237	-.197	-.307
21	3646.988	75.000	.000	-.276	-.158	-.434
22	3646.988	43.192	-.078	-.253	-.182	-.356
23	3646.988	16.772	-.143	-.233	-.201	-.291
24	3646.988	-4.272	-.196	-.217	-.218	-.239
25	3646.988	-19.787	-.205	-.236	-.198	-.229
26	3646.988	-29.904	-.198	-.265	-.169	-.236
27	3646.988	-34.727	-.194	-.280	-.154	-.241
28	3646.988	-34.254	-.193	-.283	-.152	-.241
29	3646.988	-28.488	-.196	-.272	-.162	-.238
30	3646.988	-17.425	-.202	-.240	-.186	-.232
31	3646.988	-1.837	-.208	-.208	-.226	-.226

## SEGUNDA PARTE - COM INFLUENCIA DAS PERDAS DE PROTENSÃO

ITERACAO PERDAS	INTERVALO PMIN	SOLUCAO PARA P PMAX	ITERACAO PROCESSO	FORÇA PROTENSÃO
1	3719.62	20874.44	1	12297.03
			2	8008.32
			3	5863.97
			4	4791.79
			5	5327.08
			6	5595.93
			7	5729.93
			8	5662.94
			9	5629.43
			10	5646.18
2	3876.96	20820.60	1	12348.78
			2	8112.87
			3	5994.92
			4	4935.94
			5	5465.43
			6	5730.17
			7	5862.54
			8	5796.36
			9	5829.45
3	3906.16	20829.75	1	12367.95
			2	8137.05
			3	6021.60
			4	4963.88
			5	5492.74
			6	5757.17
			7	5889.39
			8	5823.28
			9	5856.34

INTERVALO SOLUCAO TIPO 3

FORÇA DE PROTENSÃO MINIMA ..... P= 5856.34 ( 11 CABOS)

VERIFICACAO DO LUGAR GEOMETRICO DO DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR

NO	LIM. MAX.	LIM. MIN.	MP	[MIT]*MP
1	222482.41	-224774.12	-8307.69	-8307.83
2	131295.58	-277424.87	-63758.24	-63756.67
3	71133.08	-310602.72	-101739.67	-101738.65
4	42667.87	-324064.16	-118769.78	-118769.16
5	45867.33	-317827.16	-114875.55	-114874.55
6	80707.69	-291910.25	-90080.66	-90080.43
7	147153.23	-246308.81	-44389.09	-44387.10
8	229879.69	-165654.05	22499.64	22499.84
9	309314.50	-30331.98	110990.60	110991.16
10	406816.59	130032.59	220556.80	220557.25
11	509732.00	350918.91	350949.84	350949.94
12	307793.37	34402.16	137517.52	137519.66
13	135877.73	-196953.06	-28208.08	-28201.71
14	-44988.33	-303602.12	-145244.94	-145236.20
15	-154698.06	-366146.41	-215337.30	-215326.28
16	-194056.72	-383997.47	-238559.70	-238545.91
17	-154729.36	-366113.47	-215335.33	-215323.00
18	-45017.55	-303571.31	-145242.23	-145231.12
19	135847.77	-196922.09	-28206.02	-28197.83
20	307762.72	34433.16	137519.31	137523.73
21	509700.91	350949.66	350949.66	350949.59
22	406784.78	130063.50	220556.16	220556.77
23	309282.66	-30301.06	110980.54	110980.32
24	229847.98	-165622.66	22498.25	22498.24
25	147121.12	-246277.36	-44392.72	-44391.93
26	80676.20	-291878.22	-90080.37	-90079.73
27	45833.80	-31795.62	-114884.95	-114886.77
28	42634.64	-324032.69	-118770.04	-118779.19
29	71098.09	-310571.66	-101755.76	-101757.09
30	131259.77	-277394.50	-63779.21	-63779.89
31	222550.56	-224706.66	-7795.70	-7795.80

## TRACADO DO CABO DE FORÇA DE PROTENSÃO MINIMA

## VERIFICACAO DAS TENSOES NO CONCRETO PARA T= INFINITO

NO	FORÇA PROTENSÃO	ORDENADA CABO	TENSAO BORDA SUPERIOR		TENSAO BORDA INFERIOR	
			MAX.	MIN.	MAX.	MIN.
1	5141.231	-1.616	-.296	-.296	-.316	-.316
2	5086.878	-13.320	-.292	-.339	-.267	-.313
3	5027.369	-21.829	-.286	-.362	-.237	-.313
4	4967.640	-26.324	-.281	-.370	-.221	-.310
5	4907.523	-26.668	-.278	-.364	-.220	-.306
6	4846.958	-22.711	-.276	-.343	-.234	-.301
7	4785.479	-14.291	-.276	-.308	-.262	-.293
8	4723.081	-1.164	-.257	-.278	-.284	-.305
9	4657.617	16.960	-.193	-.283	-.271	-.361
10	4557.953	40.492	-.113	-.288	-.255	-.430
11	4146.677	75.000	-.000	-.276	-.217	-.494
12	4067.109	23.976	-.141	-.251	-.233	-.343
13	3987.718	-17.108	-.231	-.250	-.225	-.244
14	3910.505	-47.377	-.217	-.328	-.137	-.249
15	3833.885	-66.608	-.206	-.373	-.083	-.250
16	3741.838	-74.455	-.199	-.385	-.061	-.246
17	3833.147	-66.623	-.206	-.373	-.083	-.250
18	3909.815	-47.391	-.217	-.328	-.137	-.249
19	3987.017	-17.119	-.231	-.250	-.225	-.244
20	4066.401	23.969	-.141	-.251	-.233	-.343
21	4145.966	75.000	0.000	-.276	-.217	-.494
22	4557.232	40.487	-.113	-.288	-.255	-.430
23	4656.896	16.953	-.193	-.283	-.271	-.361
24	4722.356	-1.173	-.257	-.278	-.284	-.305
25	4784.749	-14.301	-.276	-.308	-.262	-.293
26	4846.227	-22.720	-.276	-.343	-.234	-.301
27	4906.775	-26.678	-.278	-.364	-.220	-.306
28	4966.896	-26.333	-.281	-.370	-.221	-.310
29	5026.610	-21.837	-.286	-.362	-.237	-.313
30	5086.118	-13.327	-.292	-.339	-.267	-.313
31	5141.239	-1.516	-.297	-.297	-.315	-.315

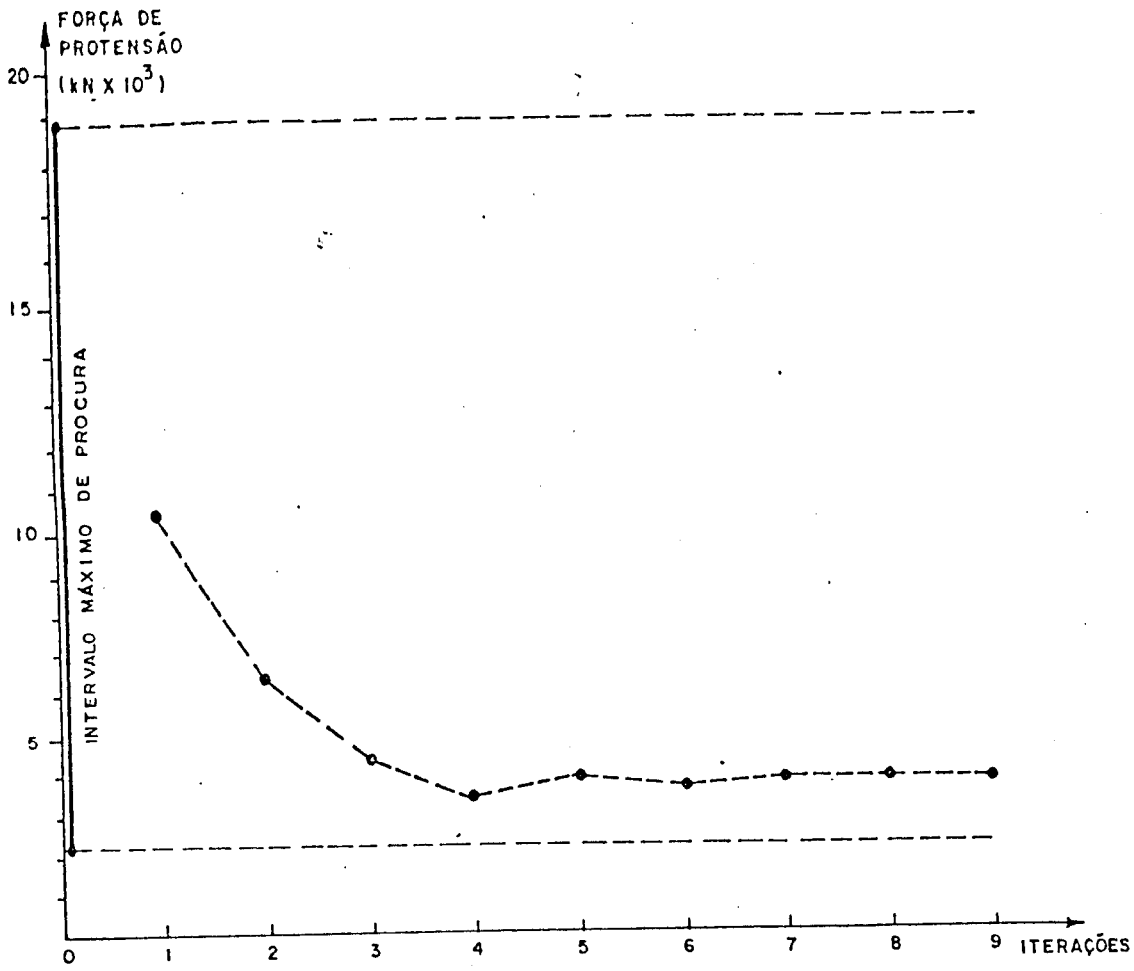
## TRACADO DO CABO DE FORÇA DE PROTENSÃO MINIMA

## VERIFICACAO DAS TENSOES NO CONCRETO PARA T= T0

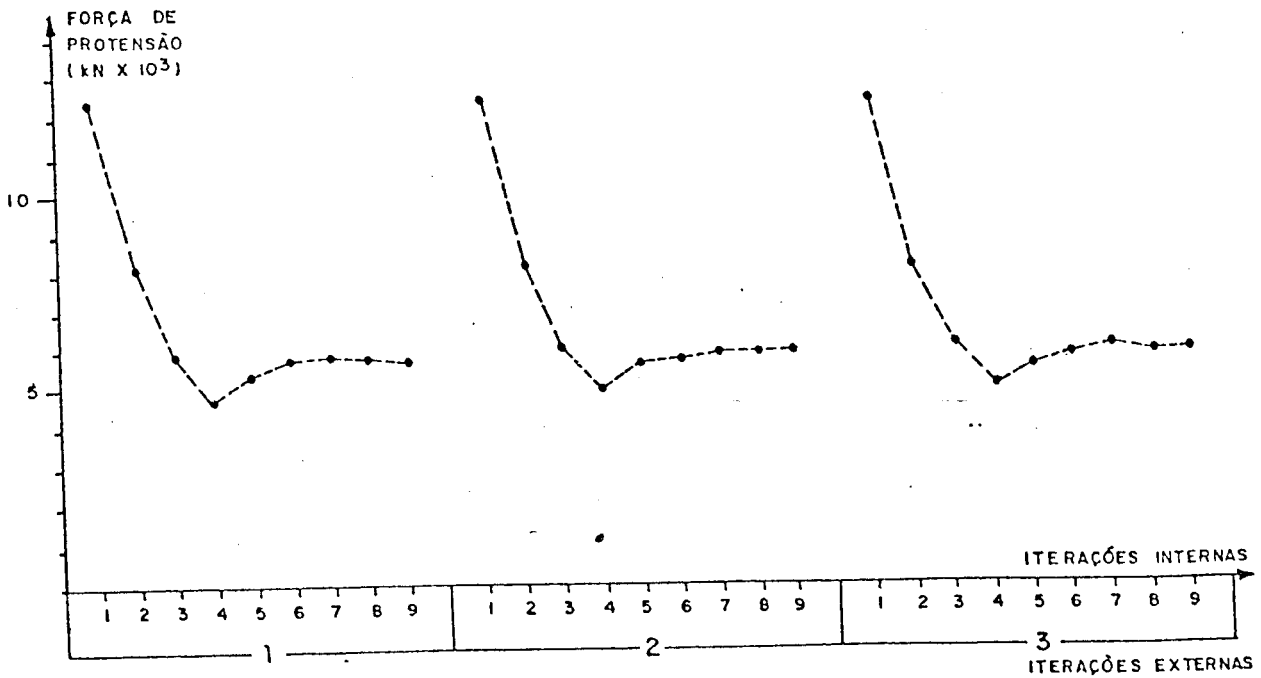
NO	FORÇA PROTENSÃO	ORDENADA CABO	TENSAO BORDA SUPERIOR		TENSAO BORDA INFERIOR	
			MAX.	MIN.	MAX.	MIN.
1	5056.336	-1.616	-.337	-.337	-.360	-.360
2	5793.486	-13.320	-.322	-.369	-.321	-.367
3	5724.460	-21.829	-.308	-.384	-.297	-.373
4	5655.118	-26.324	-.299	-.389	-.284	-.374
5	5585.390	-26.668	-.296	-.383	-.282	-.369
6	5515.205	-22.711	-.299	-.366	-.291	-.358
7	5443.910	-14.291	-.307	-.338	-.310	-.341
8	5371.262	-1.164	-.300	-.321	-.318	-.339
9	5295.152	16.960	-.252	-.342	-.289	-.379
10	5176.970	40.492	-.190	-.365	-.251	-.426
11	4699.237	75.000	-.097	-.373	-.186	-.463
12	4610.771	23.976	-.199	-.309	-.240	-.350
13	4520.435	-17.108	-.257	-.277	-.261	-.281
14	4431.144	-47.377	-.221	-.333	-.195	-.306
15	4341.950	-66.608	-.198	-.365	-.152	-.319
16	4235.674	-74.455	-.185	-.371	-.133	-.319
17	4341.115	-66.623	-.198	-.365	-.152	-.319
18	4430.360	-47.391	-.221	-.333	-.195	-.306
19	4519.641	-17.119	-.257	-.277	-.261	-.281
20	4609.968	23.969	-.198	-.309	-.240	-.350
21	4690.431	75.000	-.097	-.373	-.186	-.463
22	5176.140	40.487	-.190	-.365	-.251	-.426
23	5294.328	16.953	-.252	-.341	-.289	-.379
24	5370.434	-1.173	-.300	-.321	-.318	-.339
25	5443.074	-14.301	-.307	-.338	-.310	-.341
26	5514.370	-22.720	-.299	-.366	-.290	-.350
27	5584.533	-26.678	-.296	-.383	-.282	-.368
28	5654.260	-26.333	-.299	-.389	-.284	-.374
29	5723.591	-21.837	-.308	-.384	-.297	-.373
30	5792.615	-13.327	-.322	-.369	-.321	-.367
31	5856.336	-1.516	-.338	-.338	-.359	-.359

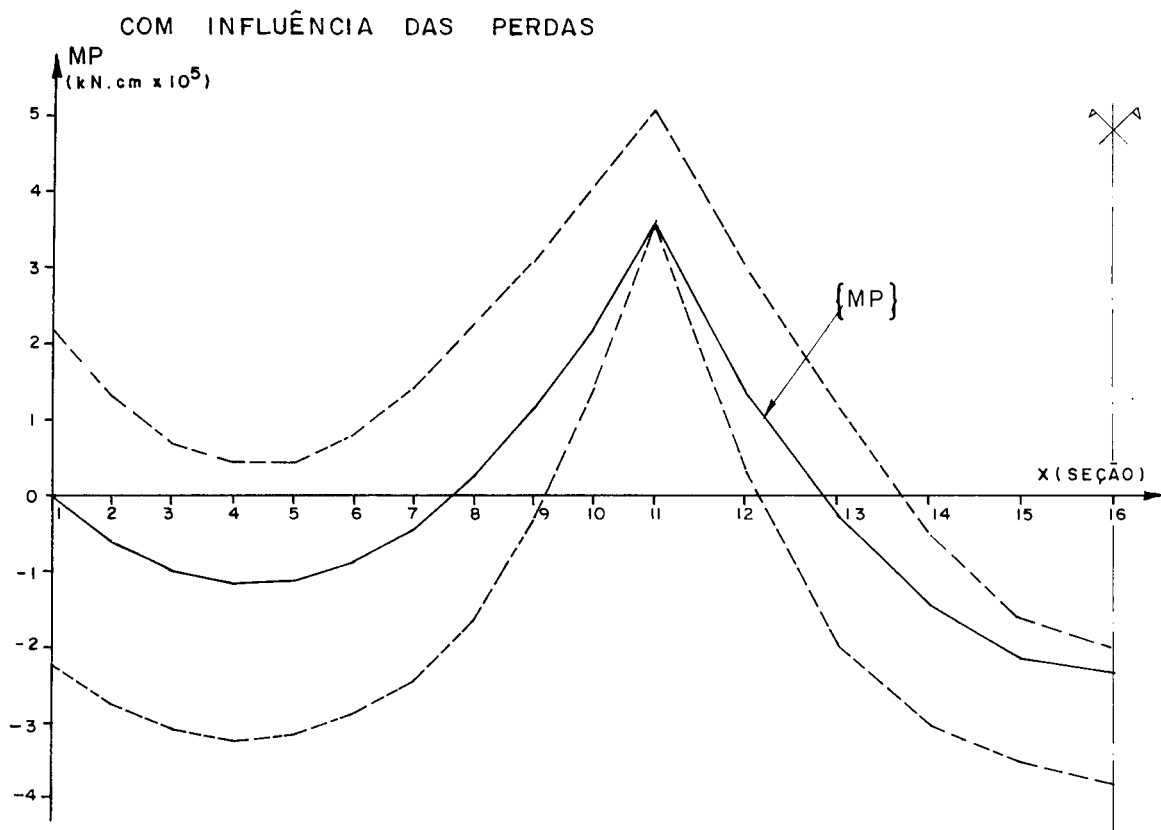
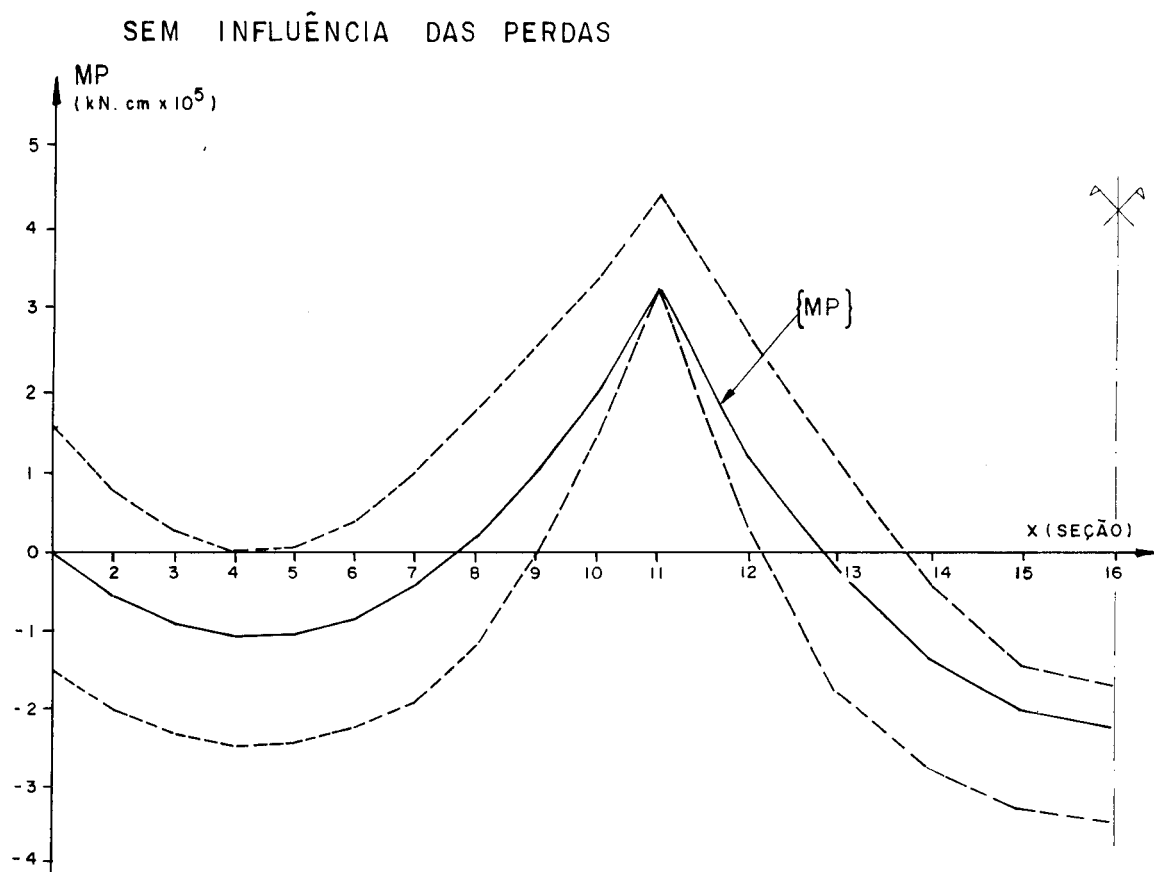
A.1) Verificação gráfica da convergência

SEM INFLUÊNCIA DAS PERDAS

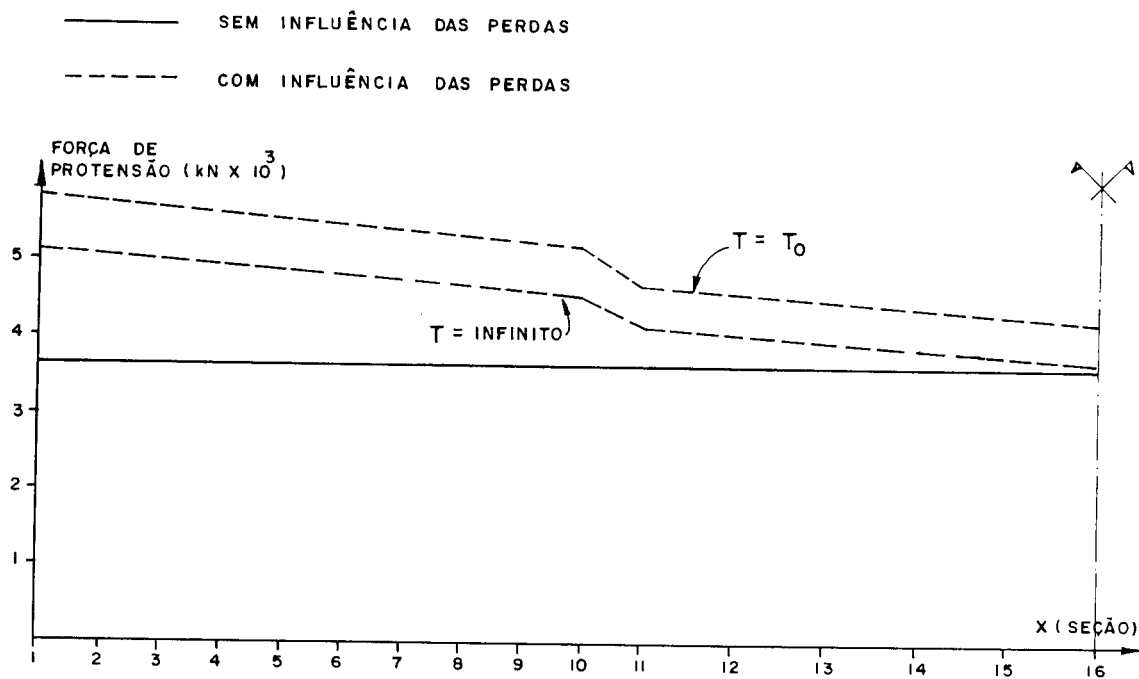
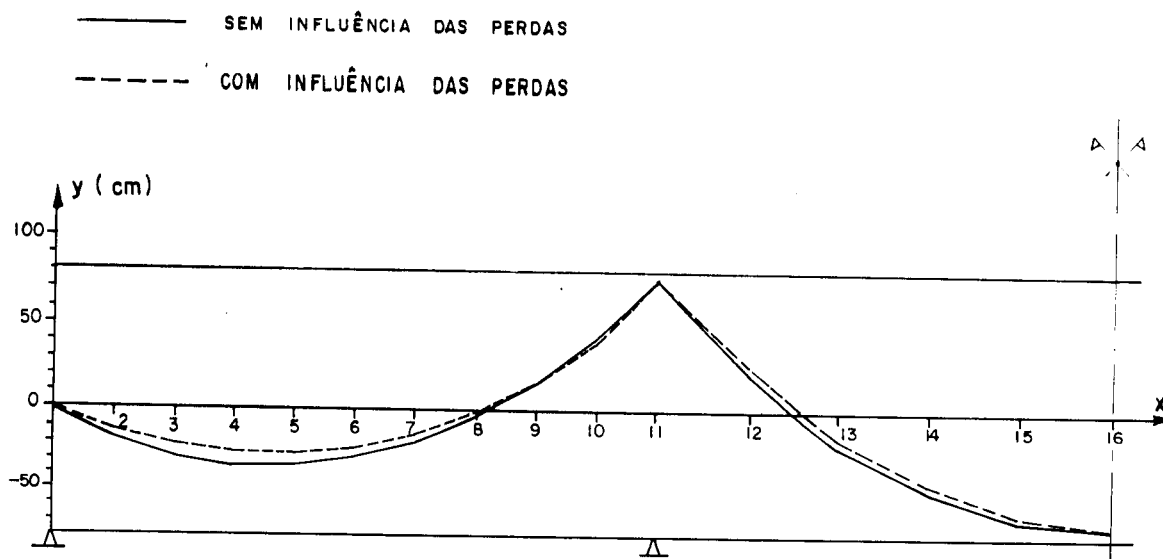


COM INFLUÊNCIA DAS PERDAS



A.2) Posicionamento de [MP] na seção longitudinal do fuso

A.3) Traçado do cabo resultante





B) Análise para cabos interrompidos

## ANALISE COM INTERRUPTAO DE CABOS

## PRIMEIRA PARTE - SEM INFLUENCIA DAS PERDAS DE PROTENSAO

## NUCLEO LIMITE PARA T= SEM PERD

NO	P24/MP24	P13/MP13	P23/MP23	P14/MP14
1	.000000E+01 .000000E+01	.210000E+05 .000000E+01	.105000E+05 -.456719E+06	.105000E+05 .456719E+06
2	.388621E+03 -.642347E+05	.206114E+05 -.642347E+05	.105000E+05 -.504050E+06	.105000E+05 .375580E+06
3	.639301E+03 -.105669E+06	.203607E+05 -.105669E+06	.105000E+05 -.534580E+06	.105000E+05 .323242E+06
4	.752041E+03 -.124304E+06	.202480E+05 -.124304E+06	.105000E+05 -.548311E+06	.105000E+05 .299703E+06
5	.726041E+03 -.120139E+06	.202732E+05 -.120139E+06	.105000E+05 -.545242E+06	.105000E+05 .304965E+06
6	.563699E+03 -.931730E+05	.204363E+05 -.931730E+05	.105000E+05 -.525373E+06	.105000E+05 .339026E+06
7	.262618E+03 -.434077E+05	.207374E+05 -.434077E+05	.105000E+05 -.488703E+06	.105000E+05 .401888E+06
8	.176405E+03 .291577E+05	.208236E+05 .291577E+05	.105000E+05 -.419888E+06	.105000E+05 .478203E+06
9	.753368E+03 .124523E+06	.202466E+05 .124523E+06	.105000E+05 -.299426E+06	.105000E+05 .548473E+06
10	.146827E+04 .242688E+06	.195317E+05 .242688E+06	.105000E+05 -.150165E+06	.105000E+05 .635542E+06
11	.232111E+04 .383654E+06	.186789E+05 .383654E+06	.105000E+05 .278967E+05	.105000E+05 .739411E+06
12	.924467E+03 .152804E+06	.200755E+05 .152804E+06	.105000E+05 -.263703E+06	.105000E+05 .569311E+06
13	.161815E+03 -.267462E+05	.208382E+05 -.267462E+05	.105000E+05 -.476426E+06	.105000E+05 .422934E+06
14	.937730E+03 -.154996E+06	.200623E+05 -.154996E+06	.105000E+05 -.570926E+06	.105000E+05 .260934E+06
15	.140328E+04 -.231946E+06	.195967E+05 -.231946E+06	.105000E+05 -.627626E+06	.105000E+05 .163734E+06
16	.155846E+04 -.257596E+06	.194415E+05 -.257596E+06	.105000E+05 -.646526E+06	.105000E+05 .131334E+06
17	.140328E+04 -.231946E+06	.195967E+05 -.231946E+06	.105000E+05 -.627626E+06	.105000E+05 .163734E+06
18	.937730E+03 -.154996E+06	.200623E+05 -.154996E+06	.105000E+05 -.570926E+06	.105000E+05 .260934E+06
19	.161815E+03 -.267462E+05	.208382E+05 -.267462E+05	.105000E+05 -.476426E+06	.105000E+05 .422934E+06
20	.924467E+03 .152804E+06	.200755E+05 .152804E+06	.105000E+05 -.263703E+06	.105000E+05 .569311E+06
21	.232111E+04 .383654E+06	.186789E+05 .383654E+06	.105000E+05 .278967E+05	.105000E+05 .739411E+06
22	.146827E+04 .242688E+06	.195317E+05 .242688E+06	.105000E+05 -.150165E+06	.105000E+05 .635542E+06
23	.753368E+03 .124523E+06	.202466E+05 .124523E+06	.105000E+05 -.299426E+06	.105000E+05 .548473E+06

24	.176405E+03 .291577E+05	.208236E+05 .291577E+05	.105000E+05 -.419888E+06	.105000E+05 .478203E+06
25	.262618E+03 -.434077E+05	.207374E+05 -.434077E+05	.105000E+05 -.408703E+06	.105000E+05 .401888E+06
26	.563699E+03 -.931730E+05	.204363E+05 -.931730E+05	.105000E+05 -.525373E+06	.105000E+05 .339026E+06
27	.726841E+03 -.120139E+06	.202732E+05 -.120139E+06	.105000E+05 -.545242E+06	.105000E+05 .304965E+06
28	.752041E+03 -.124304E+06	.202480E+05 -.124304E+06	.105000E+05 -.548311E+06	.105000E+05 .299703E+06
29	.639301E+03 -.105669E+06	.203607E+05 -.105669E+06	.105000E+05 -.534500E+06	.105000E+05 .323242E+06
30	.388621E+03 -.642347E+05	.206114E+05 -.642347E+05	.105000E+05 -.504050E+06	.105000E+05 .375580E+06
31	.000000E+01 .000000E+01	.210000E+05 .000000E+01	.105000E+05 -.456719E+06	.105000E+05 .456719E+06

FORCA DE PROTENSÃO MEDIA = 1875.58

VERIFICACAO DO LUGAR GEOMETRICO DA CURVA-MOMENTO FLETOR PARA T= SEM PERD

NO	VECTOR MPI	MP/[MITJ]*MP	REG. OTIMA	REG. LIMITE	FMIN/FMAX
1	-7201.97	-7201.97 -7202.12	12418.04 -12418.04	1562581.87 -1562581.87	165.57 20834.43
2	-66341.72	-67563.55 -67561.90	34886.45 -34886.45	1540113.62 -1540113.62	465.15 20534.05
3	-106357.94	-108801.61 -108800.55	53348.67 -53348.67	1521651.37 -1521651.37	711.32 20289.69
4	-123680.36	-127345.87 -127345.20	61648.32 -61648.32	1513351.75 -1513351.75	821.98 20178.02
5	-118313.78	-123201.12 -123200.07	59793.79 -59793.79	1515206.25 -1515206.25	797.25 20202.75
6	-90263.08	-96372.27 -96372.08	47793.75 -47793.75	1527206.25 -1527206.25	637.25 20362.75
7	-39521.72	-46852.74 -46850.62	25636.48 -25636.48	1549363.62 -1549363.62	341.82 20658.10
8	34022.91	25470.04 25470.21	19588.87 -19588.87	1555411.25 -1555411.25	261.18 20738.02
9	130536.64	120761.96 120762.48	62987.64 -62987.64	1512012.25 -1512012.25	839.84 20160.16
10	249832.33	238835.77 238836.20	116763.40 -116763.40	1458236.62 -1458236.62	1556.85 19443.15
11	391910.00	379691.62 379691.59	180915.45 -180915.45	1394084.62 -1394084.62	2412.21 18587.79
12	161240.64	149022.20 149024.48	75855.54 -75855.54	1499144.50 -1499144.50	1011.41 19988.59
13	-18052.91	-30271.42 -30264.55	18214.56 -18214.56	1556785.37 -1556785.37	242.86 20757.14
14	-145660.12	-157878.67 -157869.20	75299.92 -75299.92	1499700.00 -1499700.00	1004.00 19996.00
15	-222223.84	-234442.45 -234430.48	109550.17 -109550.17	1465449.87 -1465449.87	1460.67 19539.33
16	-247743.37	-259962.00 -259947.05	120963.96 -120963.96	1454036.12 -1454036.12	1612.85 19387.15
17	-222222.66	-234441.36 -234428.00	109548.28 -109548.28	1465451.62 -1465451.62	1460.64 19539.36

18	-145657.81	-157876.58 -157864.58	75296.32 -75296.32	1499703.75 -1499703.75	1003.95 19996.05
19	-18050.94	-30269.74 -30260.88	18211.66 -18211.66	1556788.37 -1556788.37	242.02 20757.18
20	161242.98	149024.11 149028.87	75852.25 -75852.25	1499147.87 -1499147.87	1011.36 19988.64
21	391910.25	379691.31 379691.25	180915.98 -180915.98	1394084.12 -1394084.12	2412.21 18587.79
22	249832.66	238835.61 238836.19	116763.66 -116763.66	1458236.37 -1458236.37	1556.85 19443.15
23	130535.87	120760.72 120760.43	62989.79 -62989.79	1512010.25 -1512010.25	839.06 20160.14
24	34022.61	25469.35 25469.27	19590.05 -19590.05	1555409.87 -1555409.87	261.20 20738.80
25	-39523.91	-46855.27 -46854.51	25640.84 -25640.84	1549359.25 -1549359.25	341.08 20650.12
26	-98262.53	-96371.99 -96371.36	47793.27 -47793.27	1527206.75 -1527206.75	637.24 20362.76
27	-118320.53	-123208.10 -123210.09	59805.82 -59805.82	1515194.12 -1515194.12	797.41 20202.59
28	-123686.30	-127351.98 -127353.23	61658.85 -61658.85	1513341.25 -1513341.25	822.12 20177.00
29	-106369.39	-108813.17 -108814.59	53368.60 -53368.60	1521631.37 -1521631.37	711.58 20208.42
30	-66356.09	-67578.01 -67577.87	34911.37 -34911.37	1540088.62 -1540088.62	465.48 20534.52
31	-6958.51	-6958.51 -6958.58	11998.25 -11998.25	1563001.75 -1563001.75	159.98 20840.02

TRACADO DO CABO RESULTANTE E VERIF. DAS TENSOES PARA T= SEM PERD

NO	FORÇA PROT	QUANT CABOS	ORDENADA CABO RES	TENSAO MAX	BORDA SUP MIN	TENSAO MAX	BORDA INF MIN
1	165.574	1	-43.497	0.000	0.000	-.020	-.020
2	884.556	1	-75.000	-.025	-.071	-.034	-.080
3	1418.106	2	-75.000	-.042	-.118	-.051	-.127
4	1649.071	3	-75.000	-.049	-.139	-.058	-.147
5	1577.517	3	-75.000	-.046	-.133	-.055	-.141
6	1203.508	2	-75.000	-.034	-.101	-.042	-.110
7	526.956	1	-75.000	-.011	-.042	-.020	-.052
8	453.639	1	75.000	-.011	-.032	-.022	-.043
9	1740.489	3	75.000	-.034	-.143	-.064	-.154
10	3331.098	6	75.000	-.106	-.200	-.116	-.291
11	5225.467	10	75.000	-.167	-.444	-.178	-.455
12	2149.075	4	75.000	-.068	-.178	-.078	-.188
13	242.861	1	-74.334	0.000	-.019	-.010	-.029
14	1942.135	3	-75.000	-.056	-.167	-.064	-.175
15	2962.985	6	-75.000	-.089	-.256	-.096	-.263
16	3303.245	6	-75.000	-.101	-.286	-.107	-.293
17	2962.969	6	-75.000	-.089	-.256	-.096	-.263
18	1942.104	3	-75.000	-.056	-.167	-.064	-.175
19	242.822	1	-74.338	0.000	-.019	-.010	-.029
20	2149.906	4	75.000	-.068	-.178	-.078	-.188
21	5225.470	10	75.000	-.167	-.444	-.178	-.455
22	3331.102	6	75.000	-.106	-.200	-.116	-.291
23	1740.478	3	75.000	-.054	-.143	-.064	-.154
24	453.635	1	75.000	-.011	-.032	-.022	-.043
25	526.985	1	-75.000	-.011	-.042	-.020	-.052
26	1203.500	2	-75.000	-.034	-.101	-.042	-.110
27	1577.607	3	-75.000	-.046	-.133	-.055	-.141
28	1649.151	3	-75.000	-.049	-.139	-.058	-.147
29	1418.259	2	-75.000	-.042	-.118	-.051	-.127
30	884.748	1	-75.000	-.025	-.071	-.034	-.080
31	159.977	1	-43.497	.000	.000	-.019	-.019

SEGUNDA PARTE - COM INFLUENCIA DAS PERDAS DE PROTENSAO

CONVERGENCIA DA SOLUCAO

ITERACAO	P MEDIO
1	2051.362
2	2066.116

PERDAS DE PROTENSAO

NO	DP	DMP
1	-19.458	846.409
2	-103.741	7988.926
3	-170.464	13201.797
4	-200.336	15650.827
5	-191.103	15166.904
6	-143.450	11801.527
7	-61.027	5828.180
8	-51.357	-2391.031
9	-210.561	-14123.612
10	-431.456	-30482.154
11	-726.496	-52401.500
12	-264.811	-17775.406
13	-27.810	4170.544
14	-239.455	20043.619
15	-381.000	30659.143
16	-430.473	34369.195
17	-380.997	30658.762
18	-239.450	20042.912
19	-27.806	4170.047
20	-264.816	-17776.061
21	-726.496	-52401.437
22	-431.457	-30482.166
23	-210.559	-14123.343
24	-51.357	-2391.729
25	-61.031	5828.646
26	-143.449	11801.433
27	-191.117	15168.311
28	-200.348	15651.978
29	-170.486	13203.765
30	-103.767	7991.112
31	-18.912	822.611

NUCLEO LIMITE PARA T= INFINITO

NO	P24/MP24	P13/MP13	P23/MP23	P14/MP14
1	.194587E+02 -.846397E+03	.210000E+05 -.124512E-01	.105000E+05 -.456719E+06	.105195E+05 .455872E+06
2	.532324E+03 -.704853E+05	.205714E+05 -.659729E+05	.105000E+05 -.504050E+06	.106037E+05 .367591E+06
3	.876288E+03 -.115977E+06	.202942E+05 -.108563E+06	.105000E+05 -.534500E+06	.106705E+05 .310040E+06
4	.103212E+04 -.136486E+06	.201602E+05 -.127720E+06	.105000E+05 -.548311E+06	.107003E+05 .284053E+06
5	.996736E+03 -.131878E+06	.201944E+05 -.123566E+06	.105000E+05 -.545242E+06	.106911E+05 .289790E+06
6	.771083E+03 -.102194E+06	.203724E+05 -.959540E+05	.105000E+05 -.525373E+06	.106434E+05 .327225E+06
7	.360127E+03 -.476490E+05	.207009E+05 -.449945E+05	.105000E+05 -.488703E+06	.105610E+05 .396060E+06

8	.229570E+03 .314706E+05	.208218E+05 .292367E+05	.105514E+05 -.417496E+06	.105000E+05 .478203E+06
9	.102100E+04 .136164E+06	.201896E+05 .127005E+06	.107106E+05 -.285303E+06	.105000E+05 .548473E+06
10	.203439E+04 .267313E+06	.193971E+05 .248546E+06	.109315E+05 -.119683E+06	.105000E+05 .635542E+06
11	.328672E+04 .425655E+06	.184398E+05 .394054E+06	.112265E+05 .802982E+05	.105000E+05 .739411E+06
12	.126120E+04 .167451E+06	.200036E+05 .155932E+06	.107648E+05 -.245928E+06	.105000E+05 .569311E+06
13	.223660E+03 -.294362E+05	.208041E+05 -.282266E+05	.105000E+05 -.476426E+06	.105278E+05 .418764E+06
14	.128786E+04 -.170226E+06	.199516E+05 -.159810E+06	.105000E+05 -.570926E+06	.107395E+05 .240891E+06
15	.194621E+04 -.255562E+06	.194348E+05 -.238990E+06	.105000E+05 -.627626E+06	.108810E+05 .133075E+06
16	.216877E+04 -.284143E+06	.192617E+05 -.265419E+06	.105000E+05 -.646526E+06	.109305E+05 .969650E+05
17	.194620E+04 -.255562E+06	.194348E+05 -.238989E+06	.105000E+05 -.627626E+06	.108810E+05 .133075E+06
18	.128785E+04 -.170225E+06	.199516E+05 -.159810E+06	.105000E+05 -.570926E+06	.107395E+05 .240891E+06
19	.223653E+03 -.294359E+05	.208042E+05 -.282264E+05	.105000E+05 -.476426E+06	.105278E+05 .418764E+06
20	.126121E+04 .167451E+06	.200036E+05 .155933E+06	.107648E+05 -.245927E+06	.105000E+05 .569311E+06
21	.328672E+04 .425655E+06	.184398E+05 .394054E+06	.112265E+05 .802981E+05	.105000E+05 .739411E+06
22	.203439E+04 .267313E+06	.193971E+05 .248546E+06	.109315E+05 -.119683E+06	.105000E+05 .635542E+06
23	.102100E+04 .136164E+06	.201896E+05 .127005E+06	.107106E+05 -.285303E+06	.105000E+05 .548473E+06
24	.229576E+03 .314705E+05	.208218E+05 .292366E+05	.105514E+05 -.417496E+06	.105000E+05 .478203E+06
25	.360134E+03 -.476494E+05	.207009E+05 -.449947E+05	.105000E+05 -.488703E+06	.105610E+05 .396059E+06
26	.771082E+03 -.102194E+06	.203724E+05 -.939540E+05	.105000E+05 -.525373E+06	.106434E+05 .327225E+06
27	.996759E+03 -.131879E+06	.201944E+05 -.123566E+06	.105000E+05 -.545242E+06	.106911E+05 .209797E+06
28	.103214E+04 -.136487E+06	.201602E+05 -.127773E+06	.105000E+05 -.548311E+06	.107003E+05 .284051E+06
29	.076322E+03 -.115979E+06	.202942E+05 -.108563E+06	.105000E+05 -.534580E+06	.106705E+05 .310038E+06
30	.532363E+03 -.704870E+05	.205714E+05 -.659734E+05	.105000E+05 -.504050E+06	.106038E+05 .367589E+06
31	.189118E+02 -.022607E+03	.210000E+05 -.381470E-02	.105000E+05 -.456719E+06	.105189E+05 .455896E+06

FORÇA DE PROTENSÃO MÉDIA = 2066.12

VERIFICAÇÃO DO LUGAR GEOMÉTRICO DA CURVA-MOMENTO FLETOR PARA T= INFINITO

NO	VETOR MPI	MP/[MITJ]*MP	REG. OTIMA	REG. LIMITE	PMIN/PMAX
1	-8239.57	-8239.57 -8239.74	12747.71 -12747.71	1559333.62 -1559333.62	189.43 20810.57
2	-72802.35	-74150.67 -74148.84	32469.37 -32469.37	1526969.50 -1526969.50	536.67 20463.33
3	-116825.81	-119522.48 -119521.34	49070.90 -49070.90	1500359.50 -1500359.50	824.74 20175.26
4	-135934.05	-139979.02 -139978.28	56445.05 -56445.05	1488504.62 -1488504.62	952.94 20047.06
5	-130046.06	-135439.34 -135438.22	54743.98 -54743.98	1491590.50 -1491590.50	921.02 20078.90
6	-99193.66	-105935.27 -105935.04	43933.94 -43933.94	1509548.75 -1509548.75	729.24 20270.77
7	-43509.42	-51599.36 -51597.06	23771.59 -23771.59	1542074.37 -1542074.37	377.98 20622.02
8	36960.97	27522.69 27522.87	20173.70 -20173.70	1547122.75 -1547122.75	320.34 20679.66
9	143101.52	132314.87 132315.47	67420.18 -67420.18	1475995.62 -1475995.62	1109.50 19890.50
10	275243.53	263108.56 263109.03	127469.91 -127469.91	1382811.75 -1382811.75	2131.06 18868.95
11	433873.53	420390.25 420390.34	201094.20 -201094.20	1264931.37 -1264931.37	3407.75 17592.25
12	176965.91	163482.55 163485.03	81571.56 -81571.56	1453707.00 -1453707.00	1352.43 19647.57
13	-20097.06	-33580.45 -33572.85	16729.09 -16729.09	1554099.50 -1554099.50	250.86 20749.14
14	-160360.91	-173844.34 -173833.87	72390.95 -72390.95	1470813.12 -1470813.12	1204.67 19850.30
15	-245077.59	-258561.11 -258547.87	112219.13 -112219.13	1419577.25 -1419577.25	1877.26 19308.70
16	-273402.37	-286885.94 -286869.37	125642.80 -125642.80	1402302.62 -1402302.62	2105.71 19127.84
17	-245075.97	-258559.62 -258544.80	112221.00 -112221.00	1419579.62 -1419579.62	1877.28 19308.73
18	-160357.97	-173841.67 -173828.33	72394.30 -72394.30	1470817.25 -1470817.25	1204.71 19850.35
19	-20094.59	-33578.35 -33568.52	16726.33 -16726.33	1554102.62 -1554102.62	250.82 20749.18
20	176968.77	163484.97 163490.31	81568.52 -81568.52	1453709.12 -1453709.12	1352.40 19647.61
21	433873.72	420389.84 420389.87	201094.03 -201094.03	1264931.00 -1264931.00	3407.76 17592.24
22	275243.87	263108.37 263109.09	127470.27 -127470.27	1382811.37 -1382811.37	2131.06 18868.94
23	143100.42	132313.33 132313.06	67422.38 -67422.38	1475993.07 -1475993.07	1109.52 19890.48

24	36960.56	27521.85 27521.82	20174.97 -20174.97	1547121.37 -1547121.37	320.36 20679.64
25	-43512.12	-51602.42 -51601.53	23776.06 -23776.06	1542069.25 -1542069.25	378.05 20621.96
26	-99192.94	-105934.88 -105934.14	43933.44 -43933.44	1509549.37 -1509549.37	729.23 20270.77
27	-130054.25	-135447.80 -135449.94	54756.12 -54756.12	1491576.37 -1491576.37	921.20 20078.80
28	-135941.25	-139986.41 -139987.75	56455.81 -56455.81	1488492.00 -1488492.00	953.09 20046.91
29	-116839.50	-119536.26 -119537.80	49091.20 -49091.20	1500335.75 -1500335.75	825.04 20174.96
30	-72819.62	-74168.00 -74167.84	32495.47 -32495.47	1526939.50 -1526939.50	537.04 20462.96
31	-7983.92	-7983.92 -7983.99	12347.92 -12347.92	1559815.25 -1559815.25	183.55 20016.45

## TRACADO DO CABO RESULTANTE E VERIF. DAS TENSOES PARA T= INFINITO

NO	FORÇA PROT	QUANT CABOS	ORDENADA CABO RES	TENSAO BORDA MAX	SUP MIN	TENSAO BORDA MAX	INF MIN
1	169.969	1	-43.497	0.000	0.000	-.020	-.020
2	866.957	1	-75.000	-.026	-.072	-.031	-.077
3	1387.214	3	-75.000	-.044	-.120	-.045	-.122
4	1612.118	3	-75.000	-.051	-.141	-.051	-.141
5	1542.844	3	-75.000	-.048	-.135	-.049	-.135
6	1179.132	2	-75.000	-.035	-.102	-.038	-.105
7	519.099	1	-75.000	-.012	-.043	-.019	-.050
8	441.456	1	75.000	-.010	-.031	-.021	-.042
9	1697.459	3	75.000	-.048	-.137	-.065	-.155
10	3238.458	7	75.000	-.092	-.266	-.119	-.294
11	5058.485	11	75.000	-.142	-.418	-.184	-.461
12	2094.735	4	75.000	-.060	-.170	-.079	-.189
13	240.151	1	-75.000	-.001	-.020	-.008	-.020
14	1898.690	4	-75.000	-.059	-.170	-.056	-.167
15	2886.701	6	-75.000	-.094	-.261	-.083	-.250
16	3214.892	7	-75.000	-.106	-.291	-.092	-.277
17	2886.682	6	-75.000	-.094	-.261	-.083	-.250
18	1898.656	4	-75.000	-.059	-.170	-.056	-.167
19	240.121	1	-75.000	-.001	-.020	-.008	-.020
20	2094.768	4	75.000	-.060	-.170	-.079	-.189
21	5058.487	11	75.000	-.142	-.418	-.184	-.461
22	3238.461	7	75.000	-.092	-.266	-.119	-.294
23	1697.446	3	75.000	-.048	-.137	-.065	-.155
24	441.451	1	75.000	-.010	-.031	-.021	-.042
25	519.131	1	-75.000	-.012	-.043	-.019	-.050
26	1179.124	2	-75.000	-.035	-.102	-.038	-.105
27	1542.940	3	-75.000	-.048	-.135	-.049	-.135
28	1612.202	3	-75.000	-.051	-.141	-.051	-.141
29	1387.374	3	-75.000	-.044	-.120	-.045	-.122
30	867.161	1	-75.000	-.026	-.072	-.031	-.077
31	164.639	1	-43.497	0.000	0.000	-.020	-.020

## TRACADO DO CABO RESULTANTE E VERIF. DAS TENSOES PARA T= T0

NO	FORÇA PROT	QUANT CABOS	ORDENADA CABO RES	TENSAO BORDA MAX	SUP MIN	TENSAO BORDA MAX	INF MIN
1	189.428	1	-43.497	.000	.000	-.023	-.023
2	978.698	1	-75.000	-.021	-.067	-.048	-.094
3	1557.677	3	-75.000	-.036	-.112	-.074	-.150
4	1812.454	3	-75.000	-.042	-.131	-.085	-.174
5	1733.940	3	-75.000	-.039	-.126	-.081	-.167
6	1322.582	2	-75.000	-.020	-.095	-.063	-.130
7	500.126	1	-75.000	-.008	-.039	-.030	-.061
8	492.813	1	75.000	-.017	-.038	-.021	-.042

9	1900.020	3	75.000	-.079	-.169	-.058	-.140
10	3669.914	7	75.000	-.159	-.334	-.103	-.278
11	5784.980	11	75.000	-.256	-.533	-.156	-.432
12	2359.545	4	75.000	-.100	-.210	-.071	-.181
13	267.961	1	-75.000	.003	-.016	-.016	-.035
14	2138.146	4	-75.000	-.046	-.157	-.097	-.209
15	3267.701	6	-75.000	-.075	-.242	-.147	-.314
16	3645.365	7	-75.000	-.084	-.270	-.164	-.350
17	3267.680	6	-75.000	-.075	-.242	-.147	-.314
18	2138.106	4	-75.000	-.046	-.157	-.097	-.209
19	267.920	1	-75.000	.003	-.016	-.016	-.035
20	2359.583	4	75.000	-.100	-.210	-.071	-.181
21	5784.983	11	75.000	-.256	-.533	-.156	-.432
22	3669.918	7	75.000	-.159	-.334	-.103	-.278
23	1900.006	3	75.000	-.079	-.169	-.058	-.148
24	492.807	1	75.000	-.017	-.038	-.021	-.042
25	580.162	1	-75.000	-.008	-.039	-.030	-.061
26	1322.573	2	-75.000	-.028	-.095	-.063	-.130
27	1734.057	3	-75.000	-.039	-.126	-.081	-.167
28	1812.550	3	-75.000	-.042	-.131	-.085	-.174
29	1557.860	3	-75.000	-.036	-.112	-.074	-.150
30	970.928	1	-75.000	-.021	-.067	-.048	-.095
31	183.551	1	-43.497	.000	.000	-.022	-.022

ANALISE PRELIMINAR DE LANÇAMENTO DE CABOS

/----- CABO 1-----/			/----- CABO 2-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
1	489.924	-16.818	1	0.000	0.000
2	464.516	1.477	2	489.924	-75.000
3	461.737	-55.778	3	486.993	-55.778
4	458.975	-71.016	4	484.080	-71.016
5	456.229	-65.502	5	481.184	-65.502
6	453.499	-67.020	6	478.305	-67.020
7	359.960	-58.828	7	379.649	-58.828
8	289.164	62.209	8	304.981	62.209
9	287.434	55.654	9	303.156	55.654
10	285.714	62.629	10	301.343	62.629
11	284.005	69.906	11	299.540	69.906
12	246.656	59.172	12	260.147	59.172
13	210.396	-46.489	13	221.905	-46.489
14	208.511	-31.239	14	219.916	-31.239
15	206.643	-72.501	15	217.946	-72.501
16	204.791	-71.356	16	215.993	-71.356
17	206.643	-72.500	17	217.946	-72.500
18	208.511	-31.232	18	219.916	-31.232
19	210.396	-46.483	19	221.905	-46.483
20	246.656	59.178	20	260.147	59.178
21	284.005	69.907	21	299.540	69.907
22	285.714	62.629	22	301.343	62.629
23	287.434	55.652	23	303.156	55.652
24	289.164	62.208	24	304.981	62.208
25	359.960	-58.831	25	379.649	-58.831
26	453.499	-67.019	26	478.305	-67.019
27	456.229	-65.508	27	481.184	-65.508
28	458.974	-71.020	28	484.080	-71.020
29	461.737	-55.787	29	486.993	-55.787
30	464.516	1.440	30	489.924	-75.000
31	489.924	-16.296	31	0.000	0.000



/----- CABO 3-----/			/----- CABO 4-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
2	489.924	-75.000	2	0.000	0.000
3	486.993	-55.778	3	489.924	-75.000
4	484.080	-71.016	4	486.993	-71.016
5	486.993	-65.502	5	489.924	-75.000
6	489.924	-75.000	6	0.000	0.000
/----- CABO 5-----/			/----- CABO 6-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
9	489.924	75.000	9	489.924	75.000
10	486.993	62.629	10	486.993	62.629
11	485.534	69.906	11	485.534	69.906
12	489.924	75.000	12	489.924	75.000
/----- CABO 7-----/			/----- CABO 8-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
9	489.924	75.000	9	0.000	0.000
10	486.993	62.629	10	489.924	75.000
11	485.534	69.906	11	486.993	69.906
12	489.924	75.000	12	489.924	75.000
/----- CABO 9-----/			/----- CABO 10-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
10	489.924	75.000	10	489.924	75.000
11	489.924	75.000	11	489.924	75.000
/----- CABO 11-----/			/----- CABO 12-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
10	489.924	75.000	10	0.000	0.000
11	489.924	75.000	11	489.924	75.000
/----- CABO 13-----/			/----- CABO 14-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
11	489.924	75.000	11	489.924	75.000
/----- CABO 15-----/			/----- CABO 16-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
11	489.924	75.000	11	0.000	0.000
14	0.000	0.000	14	489.924	-75.000
15	0.000	0.000	15	485.534	-72.501
16	0.000	0.000	16	481.184	-71.356
17	0.000	0.000	17	485.534	-72.500
18	0.000	0.000	18	489.924	-75.000
/----- CABO 17-----/			/----- CABO 18-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
14	489.924	-75.000	14	489.924	-75.000
15	485.534	-72.501	15	485.534	-72.501
16	481.184	-71.356	16	481.184	-71.356
17	485.534	-72.500	17	485.534	-72.500
18	489.924	-75.000	18	489.924	-75.000

/----- CABO 19-----/			/----- CABO 20-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
14	489.924	-75.000	14	0.000	0.000
15	485.534	-72.501	15	489.924	-75.000
16	481.184	-71.356	16	485.534	-71.356
17	485.534	-72.500	17	489.924	-75.000
18	489.924	-75.000	18	0.000	0.000

/----- CABO 21-----/			/----- CABO 22-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
15	489.924	-75.000	15	0.000	0.000
16	485.534	-71.356	16	489.924	-75.000
17	489.924	-75.000	17	0.000	0.000

/----- CABO 23-----/			/----- CABO 24-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
20	489.924	75.000	20	489.924	75.000
21	485.534	69.907	21	485.534	69.907
22	486.993	62.629	22	486.993	62.629
23	489.924	75.000	23	489.924	75.000

/----- CABO 25-----/			/----- CABO 26-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
20	489.924	75.000	20	489.924	75.000
21	485.534	69.907	21	486.993	69.907
22	486.993	62.629	22	489.924	75.000
23	489.924	75.000	23	0.000	0.000

/----- CABO 27-----/			/----- CABO 28-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
21	489.924	75.000	21	489.924	75.000
22	489.924	75.000	22	489.924	75.000

/----- CABO 29-----/			/----- CABO 30-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
21	489.924	75.000	21	489.924	75.000
22	489.924	75.000	22	0.000	0.000

/----- CABO 31-----/			/----- CABO 32-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
21	489.924	75.000	21	489.924	75.000

/----- CABO 33-----/			/----- CABO 34-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
21	489.924	75.000	21	0.000	0.000
26	0.000	0.000	26	489.924	-75.000
27	0.000	0.000	27	486.993	-65.500
28	0.000	0.000	28	484.000	-71.000
29	0.000	0.000	29	486.993	-55.707
30	0.000	0.000	30	489.924	-75.000

/----- CABO 35-----/		
SECAO	P	Y
27	489.924	-75.000
28	486.993	-71.000
29	489.924	-75.000

## VERIFICACAO DAS TENSOES PARA TRACADO PRELIMINAR COM T= T0

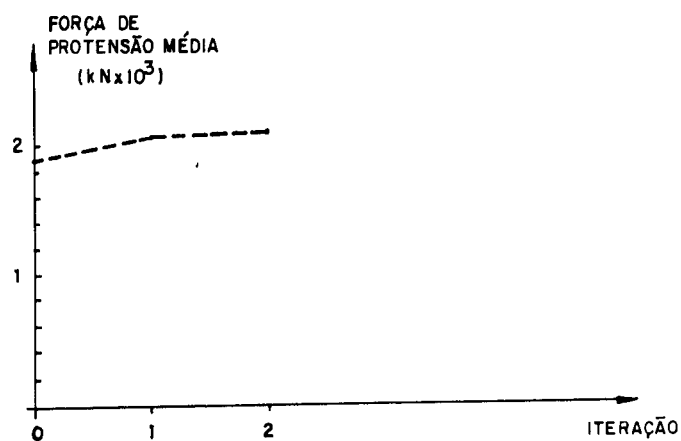
NO	FORCA PROT	QUANT CABOS	ORDENADA CABO RES	TENSAO BORDA SUP MAX	TENSAO BORDA SUP MIN	TENSAO BORDA INF MAX	TENSAO BORDA INF MIN
1	489.924	1	-43.497	.000	.000	-.058	-.058
2	1444.364	3	-75.000	-.001	-.047	-.125	-.171
3	1925.647	4	-75.000	-.021	-.097	-.133	-.209
4	1914.127	4	-75.000	-.038	-.128	-.100	-.190
5	1914.329	4	-75.000	-.033	-.119	-.109	-.195
6	1421.728	3	-75.000	-.025	-.092	-.077	-.144
7	739.609	2	-75.000	-.003	-.034	-.054	-.085
8	594.145	2	75.000	-.035	-.056	-.014	-.035
9	2060.362	5	75.000	-.107	-.197	-.049	-.138
10	4007.732	9	75.000	-.217	-.392	-.085	-.260
11	5956.608	13	75.000	-.288	-.564	-.145	-.421
12	2466.499	6	75.000	-.121	-.231	-.063	-.173
13	432.301	2	-75.000	.007	-.013	-.039	-.058
14	2388.123	6	-75.000	-.038	-.150	-.134	-.246
15	3346.573	8	-75.000	-.075	-.242	-.157	-.324
16	3806.511	9	-75.000	-.081	-.266	-.187	-.372
17	3346.573	8	-75.000	-.075	-.242	-.157	-.324
18	2388.123	6	-75.000	-.038	-.150	-.134	-.246
19	432.301	2	-75.000	.007	-.013	-.039	-.058
20	2466.499	6	75.000	-.121	-.231	-.063	-.173
21	5956.608	13	75.000	-.288	-.564	-.145	-.421
22	4007.732	9	75.000	-.217	-.392	-.085	-.260
23	2060.362	5	75.000	-.107	-.197	-.049	-.138
24	594.145	2	75.000	-.035	-.056	-.014	-.035
25	739.609	2	-75.000	-.003	-.034	-.054	-.085
26	1421.728	3	-75.000	-.025	-.092	-.077	-.144
27	1914.329	4	-75.000	-.033	-.119	-.109	-.195
28	1914.127	4	-75.000	-.038	-.128	-.100	-.190
29	1925.647	4	-75.000	-.021	-.097	-.133	-.209
30	1444.364	3	-75.000	-.001	-.047	-.125	-.171
31	489.924	1	-43.497	.000	.000	-.058	-.058

## VERIFICACAO DAS TENSOES PARA TRACADO PRELIMINAR COM T= INFINITO

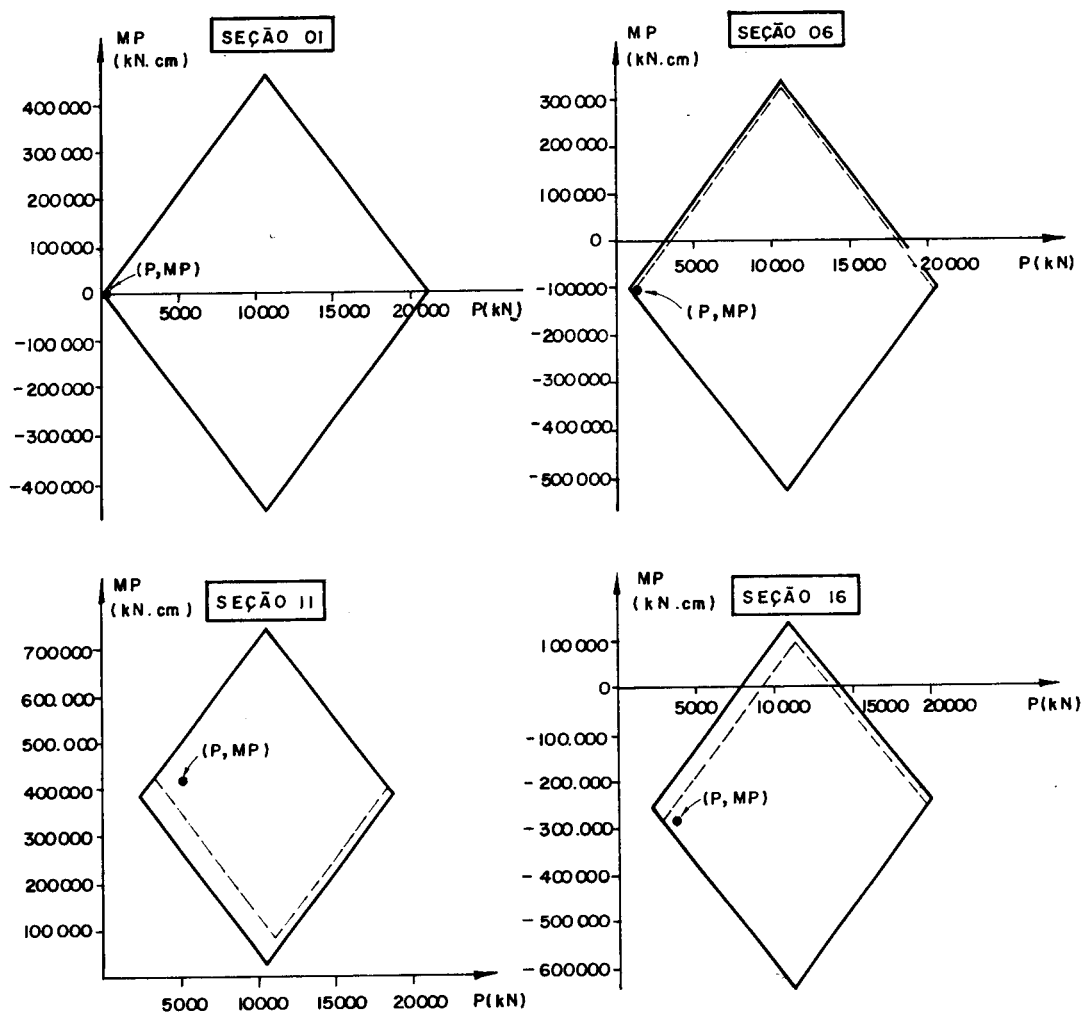
NO	FORCA PROT	QUANT CABOS	ORDENADA CABO RES	TENSAO BORDA SUP MAX	TENSAO BORDA SUP MIN	TENSAO BORDA INF MAX	TENSAO BORDA INF MIN
1	438.008	1	-43.497	.000	.000	-.052	-.052
2	1280.342	3	-75.000	-.008	-.055	-.098	-.144
3	1702.784	4	-75.000	-.031	-.107	-.096	-.172
4	1695.010	4	-75.000	-.049	-.138	-.064	-.153
5	1694.484	4	-75.000	-.043	-.130	-.072	-.158
6	1262.828	3	-75.000	-.033	-.101	-.050	-.117
7	659.554	2	-75.000	-.008	-.039	-.039	-.070
8	530.871	2	75.000	-.027	-.048	-.015	-.036
9	1823.568	5	75.000	-.071	-.161	-.057	-.146
10	3501.887	9	75.000	-.138	-.312	-.105	-.279
11	5149.301	13	75.000	-.160	-.436	-.177	-.453
12	2178.091	6	75.000	-.077	-.187	-.072	-.182
13	386.229	2	-75.000	.002	-.018	-.028	-.048
14	2106.803	6	-75.000	-.053	-.165	-.086	-.197
15	2937.700	8	-75.000	-.095	-.262	-.087	-.255
16	3330.821	9	-75.000	-.104	-.290	-.107	-.292
17	2937.701	8	-75.000	-.095	-.262	-.087	-.255
18	2106.804	6	-75.000	-.053	-.165	-.086	-.197
19	386.229	2	-75.000	.002	-.018	-.028	-.048
20	2178.091	6	75.000	-.077	-.187	-.072	-.182
21	5149.301	13	75.000	-.160	-.436	-.177	-.453
22	3501.887	9	75.000	-.138	-.312	-.105	-.279
23	1823.568	5	75.000	-.071	-.161	-.057	-.146
24	530.871	2	75.000	-.027	-.048	-.015	-.036
25	659.554	2	-75.000	-.008	-.039	-.039	-.070
26	1262.828	3	-75.000	-.033	-.101	-.050	-.117
27	1694.483	4	-75.000	-.043	-.130	-.072	-.158
28	1695.010	4	-75.000	-.049	-.138	-.064	-.153
29	1702.783	4	-75.000	-.031	-.107	-.096	-.172
30	1280.341	3	-75.000	-.008	-.055	-.098	-.144
31	438.008	1	-43.497	.000	.000	-.052	-.052

FIM DO PROCESSAMENTO

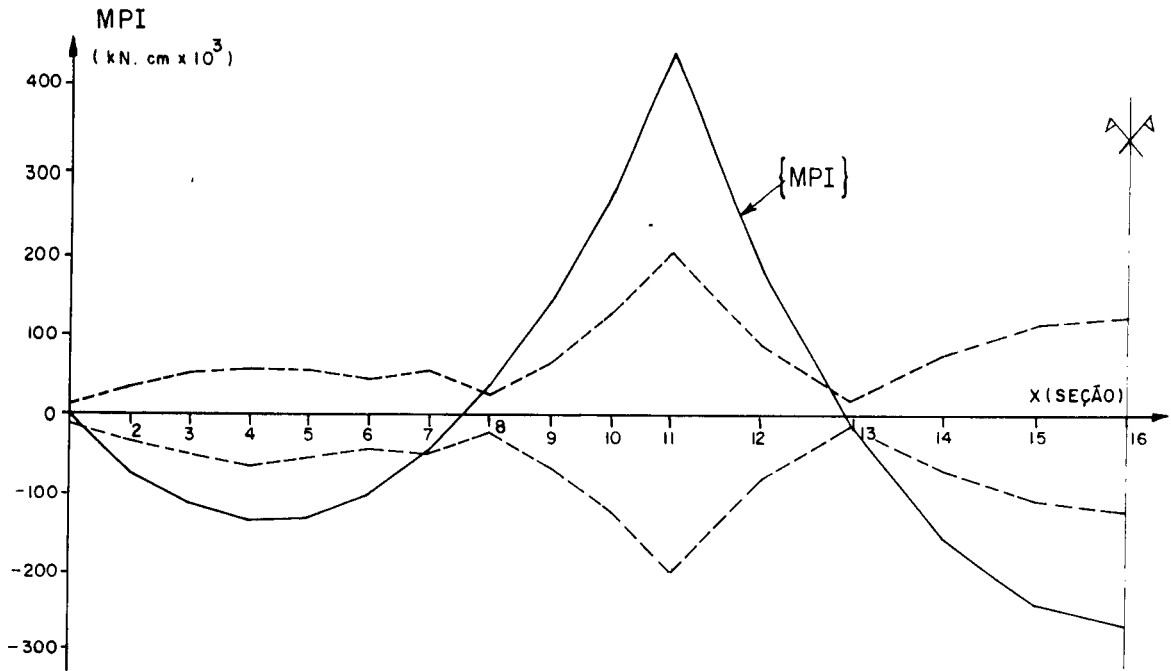
B.1) Verificação gráfica da convergência



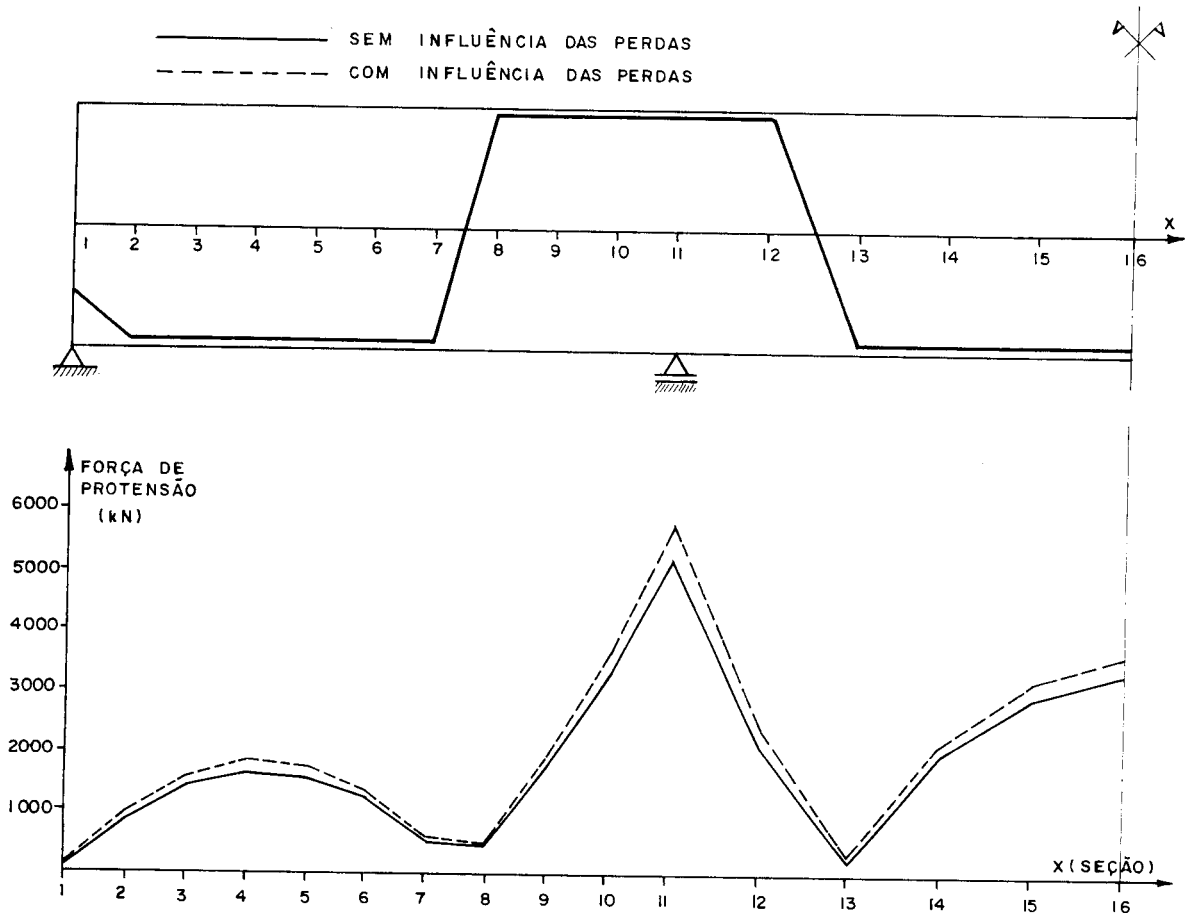
B.2) Verificação gráfica da curva (P,MP) no interior do fuso



B.3) Posição de {MPI} em relação à região ótima (com perdas)



B.4) Traçado do cabo resultante e intensidade da força de protensão



5.2 - Exemplo 2

Sejam determinar o traçado do cabo resultante e a força de protensão da viga indicada na fig. 5.3 para as hipóteses de cabo contínuo e cabos interrompidos ao longo da viga

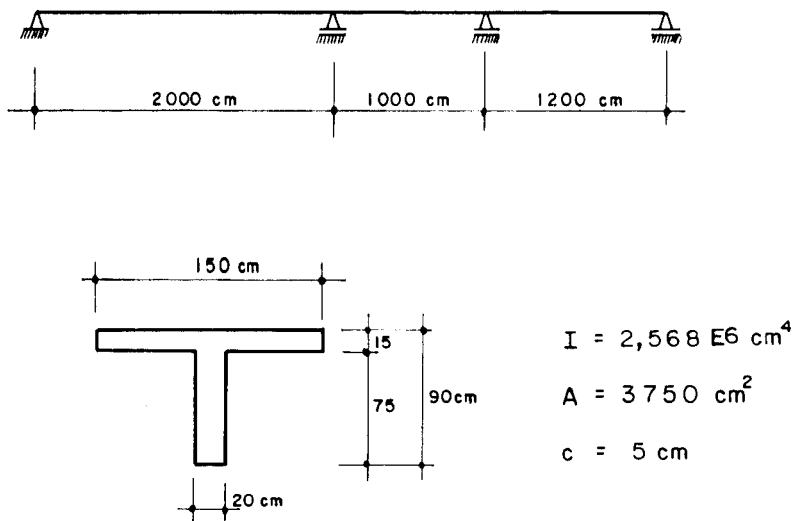


Fig. 5.3 - Esquema estático da viga e característica da seção

A envoltória de momentos solicitantes bem como a discretização da viga em elementos de barra estão indicados na fig. 5.4 e na tabela 2.

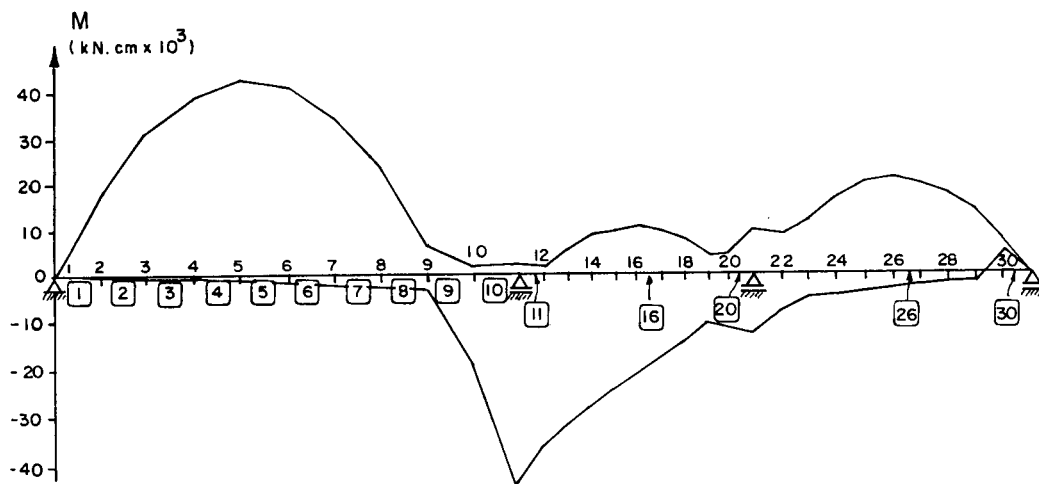


Fig. 5.4 - Envoltória de momentos solicitantes e discretização da viga.

TABELA 2

SEÇÃO	MMAX(kN.cm)	MMIN(kN.cm)	M <sub>g</sub> (kN.cm)
01	0	0	0
02	17650	- 400	10770
03	30490	- 800	18550
04	38540	- 1200	23330
05	41790	- 1610	25110
06	40230	- 2010	23890
07	33880	- 2410	19670
08	22730	- 2810	12450
09	6770	- 3210	2230
10	1840	-19430	-11000
11	2040	-45590	-27220
12	1810	-36470	-21670
13	5210	-32190	-16860
14	8020	-28510	-12810
15	9630	-24840	- 9510
16	10040	-21170	- 6950
17	9250	-17490	- 5150
18	7260	-13820	- 4100
19	4070	-10140	- 3790
20	4350	-11130	- 4240
21	9450	-12250	- 5440
22	8500	- 8560	- 30
23	11590	- 4720	4290
24	16190	- 4130	7530
25	19060	- 3540	9700
26	20200	- 2950	10780
27	19620	- 2360	10780
28	17300	- 1770	9710
29	13260	- 1180	7550
30	7500	6550	4320
31	0	0	0

5.2.1 - Arquivo de dados do programa

```

1: 2,
2: EXEMPLO 2
3: UNIDADES UTILIZADAS : tf(1E4 N) e cm
4: 30,4,0,5,3,.01,30,
5: .25,0,.6,2,.9,
6: .3,.01,0.93,2100,12.9,.6,
7: 1,200,3750.,2.568E6,64.5,25.5,0,320,
8: 2,200,
9: 3,200,
10: 4,200,
11: 5,200,
12: 6,200,
13: 7,200,
14: 8,200,
15: 9,200,
16: 10,200,
17: 11,100.,
18: 12,100.,
19: 13,100.,
20: 14,100.,
21: 15,100.,
22: 16,100.,
23: 17,100.,
24: 18,100.,
25: 19,100.,
26: 20,100.,
27: 21,120,
28: 22,120,
29: 23,120,
30: 24,120,
31: 25,120,
32: 26,120,
33: 27,120,
34: 28,120,
35: 29,120,
36: 30,120,
37: 1,1,
38: 11,1,
39: 21,1,
40: 31,1,
41: 1,0.,0.,0.,
42: 2,1765,-40,1077,
43: 3,3049,-80,1855,
44: 4,3854,-120,2333,
45: 5,4179,-161,2511,
46: 6,4023,-201,2389,

```



47: 7,3388,-241,1967,  
48: 8,2273,-281,1245,  
49: 9,677,-321,223,  
50: 10,184,-1943,-1100,  
51: 11,204,-4559,-2722,  
52: 12,181,-3647,-2167,  
53: 13,521,-3219,-1686,  
54: 14,802,-2851,-1281,  
55: 15,963,-2404,-951,  
56: 16,1004,-2117,-695,  
57: 17,925,-1749,-515,  
58: 18,726,-1382,-410,  
59: 19,407,-1014,-379,  
60: 20,435,-1113,-424,  
61: 21,945,-1225,-544,  
62: 22,850,-856,-3,  
63: 23,1159,-472,429,  
64: 24,1619,-413,753,  
65: 25,1906,-354,970,  
66: 26,2020,-295,1078,  
67: 27,1962,-236,1078,  
68: 28,1730,-177,971,  
69: 29,1326,-118,755,  
70: 30,750,655,432,  
71: 31,0,0,0,

## 5.2.2 - Relatórios fornecidos pelo programa e gráficos explicativos

### A) Análise para cabos contínuos

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO  
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS  
 DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS  
 TRACADO ECONOMICO DE CABOS EM VIGAS CONTINUAS PROTENDIDAS  
 LUIZ HENRIQUE COTTO  
 EXEMPLO 2

UNIDADES UTILIZADAS : tf(1E4 N) e cm

NUMERO DE BARRAS.....	30
NUMERO DE NOS COM APOIO RIGIDO.....	4
NUMERO DE NOS COM APOIO ELASTICO....	0
COBRIMENTO DO CABO.....	5.000
FKK.....	.250
FTK.....	0.000
COEFICIENTE DE ATRITO.....	.300
ONDULACAO PARASITA.....	.010
FYP.....	12.900
SECAO TRANSVERSAL DE UM CABO.....	.930
CAPACIDADE DE UM CABO.....	11.997
MODULO ELAST. ACO PROTENSAO.....	2100.000
PERDA POR RELAXACAO DO ACO.....	.600
T0 (meses).....	2.000
UNIDADE RELATIVA MEDIA.....	.600
COEF. CORRECAO DIM. MIN. VIGA.....	.900
TOLERANCIA.....	.010
NUMERO MAXIMO DE ITERACOES.....	30

#### PROPRIEDADES DAS BARRAS

BAR	COMP	AREA	MOM INERCIA	HI	HS	YR	MOD ELAST
1	200.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
2	200.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
3	200.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
4	200.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
5	200.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
6	200.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
7	200.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
8	200.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
9	200.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
10	200.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
11	100.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
12	100.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
13	100.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
14	100.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
15	100.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
16	100.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
17	100.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
18	100.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
19	100.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
20	100.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
21	120.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
22	120.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
23	120.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
24	120.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
25	120.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
26	120.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
27	120.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
28	120.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
29	120.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03
30	120.00	3750.00	.256800E+07	64.50	25.50	0.00	.320000E+03

## RESTRICIONES NODAIS

NO	COORD.X	RESTR.Y	RESTR.G
1	0.00	1	0
2	200.00	0	0
3	400.00	0	0
4	600.00	0	0
5	800.00	0	0
6	1000.00	0	0
7	1200.00	0	0
8	1400.00	0	0
9	1600.00	0	0
10	1800.00	0	0
11	2000.00	1	0
12	2100.00	0	0
13	2200.00	0	0
14	2300.00	0	0
15	2400.00	0	0
16	2500.00	0	0
17	2600.00	0	0
18	2700.00	0	0
19	2800.00	0	0
20	2900.00	0	0
21	3000.00	1	0
22	3120.00	0	0
23	3240.00	0	0
24	3360.00	0	0
25	3480.00	0	0
26	3600.00	0	0
27	3720.00	0	0
28	3840.00	0	0
29	3960.00	0	0
30	4080.00	0	0
31	4200.00	1	0

## ENVOLTORIA DE MOMENTOS SOLICITANTES

NO	MMAX	MMIN	MG
1	0.000	0.000	0.000
2	1765.000	-40.000	1077.000
3	3049.000	-80.000	1855.000
4	3854.000	-120.000	2333.000
5	4179.000	-161.000	2511.000
6	4023.000	-201.000	2389.000
7	3388.000	-241.000	1967.000
8	2273.000	-281.000	1245.000
9	677.000	-321.000	223.000
10	184.000	-1943.000	-1100.000
11	204.000	-4559.000	-2722.000
12	181.000	-3647.000	-2167.000
13	521.000	-3219.000	-1686.000
14	802.000	-2851.000	-1281.000
15	963.000	-2484.000	-951.000
16	1004.000	-2117.000	-695.000
17	925.000	-1749.000	-515.000
18	726.000	-1382.000	-410.000
19	407.000	-1014.000	-379.000
20	435.000	-1113.000	-424.000
21	945.000	-1225.000	-544.000
22	850.000	-856.000	-3.000
23	1159.000	-472.000	429.000
24	1619.000	-413.000	753.000
25	1906.000	-354.000	970.000
26	2020.000	-295.000	1070.000
27	1962.000	-236.000	1078.000
28	1730.000	-177.000	971.000
29	1326.000	-110.000	755.000
30	750.000	655.000	432.000
31	0.000	0.000	0.000

## PROPRIEDADES GEOMETRICAS DA VIGA NOS PONTOS NODAIS

NO	HI	HS	YR	IZ	A
1	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
2	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
3	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
4	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
5	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
6	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
7	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
8	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
9	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
10	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
11	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
12	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
13	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
14	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
15	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
16	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
17	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
18	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
19	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
20	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
21	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
22	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
23	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
24	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
25	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
26	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
27	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
28	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
29	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
30	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00
31	64.50	25.50	0.00	.256000E+07	3750.00

## ANALISE DA VIGA COM CABO CONTINUO

## PRIMEIRA PARTE - SEM INFLUENCIA DAS PERDAS DE PROTENSAO

## INTERVALO MAXIMO DE PESQUISA PARA A FORCA DE PROTENSAO

PMIN= 127.11 PMAX= 341.64

## CONVERGENCIA DA SOLUCAO

ITERACAO	P
1	129.254
2	131.399
3	133.544
4	135.690
5	137.835
6	139.980
7	142.126
8	144.271
9	146.416
10	148.562
11	150.707
12	152.852
13	154.998
14	153.925
15	154.461

INTERVALO SOLUCAO TIPO 2

FORÇA DE PROTENSÃO MINIMA ..... P= 154.46 ( 12 CABOS)

VERIFICACAO DO LUGAR GEOMETRICO DO DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR

NO	LIM. MAX.	LIM. MIN.	MP	[MITJ]*MP
1	1639.92	-3336.82	-2056.32	-2056.32
2	-125.08	-3296.82	-180.40	-180.34
3	-1409.08	-3256.82	-1435.27	-1435.12
4	-2214.08	-3216.82	-2221.95	-2221.75
5	-2539.08	-3175.82	-2539.08	-2538.88
6	-2383.08	-3135.82	-2385.91	-2385.65
7	-1748.08	-3095.82	-1764.45	-1764.24
8	-633.08	-3055.82	-673.93	-673.80
9	962.92	-3015.82	886.80	886.90
10	1455.92	-1393.82	1397.83	1397.87
11	1435.92	1222.18	1425.71	1425.71
12	1458.92	310.18	1396.26	1396.26
13	1118.92	-117.82	1020.36	1020.32
14	837.92	-485.82	703.02	703.01
15	676.92	-852.82	490.64	490.61
16	635.92	-1219.82	376.57	376.54
17	714.92	-1587.82	355.25	355.21
18	913.92	-1954.82	422.82	422.78
19	1232.92	-2322.82	575.53	575.51
20	1204.92	-2223.82	528.54	528.54
21	694.92	-2111.82	110.76	110.76
22	789.92	-2480.82	109.32	109.34
23	480.92	-2864.82	-213.75	-213.69
24	20.92	-2923.82	-588.65	-588.57
25	-266.08	-2982.82	-827.14	-827.04
26	-388.08	-3041.82	-929.21	-929.12
27	-322.08	-3100.82	-895.66	-895.57
28	-98.08	-3159.82	-724.81	-724.73
29	313.92	-3218.82	-418.41	-418.36
30	889.92	-3991.82	-124.04	-124.82
31	1639.92	-3336.82	732.38	732.38

TRACADO DO CABO DE FORÇA DE PROTENSÃO MINIMA

VERIFICACAO DAS TENSOES NO CONCRETO PARA T= SEM PERD

NO	FORÇA PROTENSÃO	ORDENADA CABO	TENSAO BORDA SUPERIOR MAX.	TENSAO BORDA SUPERIOR MIN.	TENSAO BORDA INFERIOR MAX.	TENSAO BORDA INFERIOR MIN.
1	154.461	-13.313	-.021	-.021	-.093	-.093
2	154.461	-.042	-.039	-.057	-.001	-.047
3	154.461	-7.040	-.026	-.057	-.001	-.079
4	154.461	-11.007	-.018	-.057	-.000	-.100
5	154.461	-11.934	-.014	-.057	0.000	-.109
6	154.461	-9.816	-.016	-.057	-.000	-.106
7	154.461	-4.666	-.021	-.057	-.000	-.092
8	154.461	3.521	-.032	-.057	-.001	-.065
9	154.461	14.752	-.047	-.057	-.002	-.027
10	154.461	19.187	-.036	-.057	-.001	-.055
11	154.461	20.500	-.010	-.057	-.000	-.120
12	154.461	20.500	-.019	-.057	-.002	-.098
13	154.461	19.574	-.019	-.056	-.002	-.096
14	154.461	18.371	-.020	-.056	-.003	-.095
15	154.461	17.848	-.021	-.056	-.005	-.091
16	154.461	17.961	-.024	-.055	-.007	-.085
17	154.461	18.675	-.027	-.054	-.009	-.076
18	154.461	19.964	-.032	-.053	-.012	-.065
19	154.461	20.500	-.037	-.051	-.017	-.052
20	154.461	20.500	-.035	-.051	-.017	-.056
21	154.461	20.500	-.030	-.052	-.015	-.069
22	154.461	18.511	-.034	-.051	-.017	-.060
23	154.461	14.441	-.034	-.051	-.017	-.058
24	154.461	10.035	-.031	-.051	-.015	-.066
25	154.461	6.513	-.029	-.052	-.014	-.071
26	154.461	3.874	-.029	-.052	-.014	-.072
27	154.461	2.113	-.030	-.052	-.014	-.070
28	154.461	1.241	-.032	-.051	-.016	-.064
29	154.461	1.247	-.036	-.050	-.018	-.055
30	154.461	1.175	-.046	-.047	-.025	-.028
31	154.461	4.742	-.048	-.048	-.023	-.023

## SEGUNDA PARTE - COM INFLUENCIA DAS PERDAS DE PROTENSÃO

ITERACAO PERDAS	INTERVALO SOLUCAO PARA P PMIN	PARA P PMAX	ITERACAO PROCESSO	FORCA PROTENSÃO
1	165.30	376.64	1	167.41
			2	169.52
			3	171.64
			4	173.75
			5	175.86
			6	177.98
			7	180.09
			8	182.20
			9	184.32
			10	186.43
			11	188.54
			12	190.66
			13	192.77
			14	194.88
			15	193.83
2	167.63	376.55	1	169.72
			2	171.81
			3	173.90
			4	175.99
			5	178.08
			6	180.17
			7	182.26
			8	184.35
			9	186.44
			10	188.53
			11	190.62
			12	192.70
			13	194.79
			14	196.88
			15	195.84
			16	196.36
			17	196.62
3	168.11	377.35	1	170.28
			2	172.36
			3	174.39
			4	176.48
			5	178.57
			6	180.66
			7	182.76
			8	184.85
			9	186.94
			10	189.03
			11	191.13
			12	193.22
			13	195.31
			14	197.40
			15	196.36
			16	196.98
			17	197.14
			18	197.27

INTERVALO SOLUCAO TIPO 2

FORCA DE PROTENSÃO MINIMA ..... P= 197.27 ( 16 CABOS)

## VERIFICACAO DO LUGAR GEOMETRICO DO DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR

NO	LIM. MAX.	LIM. MIN.	MP	[MIT]*MP
1	1470.42	-3506.32	-2071.26	-2071.26
2	5.11	-3166.64	-50.63	-50.56
3	-1527.66	-3375.40	-1554.00	-1553.92
4	-2499.86	-3502.60	-2507.86	-2507.63
5	-2910.62	-3547.36	-2910.62	-2910.31
6	-2756.90	-3509.65	-2759.65	-2759.35
7	-2042.30	-3390.05	-2058.53	-2058.29
8	-767.47	-3190.21	-808.17	-808.02
9	1107.41	-2871.33	1031.27	1031.38
10	1679.39	-1170.36	1621.23	1621.28
11	1639.21	1425.47	1629.04	1629.04
12	1650.30	501.55	1584.00	1584.00
13	1271.62	34.88	1165.62	1165.58
14	944.49	-379.25	798.41	798.40
15	761.55	-768.19	559.01	558.98
16	714.92	-1140.82	432.28	432.25
17	804.01	-1498.74	411.46	411.41
18	1028.74	-1840.00	492.20	492.16
19	1343.11	-2212.63	624.53	624.51
20	1297.40	-2131.34	557.64	557.63
21	769.57	-2037.17	130.04	130.04
22	871.92	-2398.02	126.00	126.02
23	504.53	-2841.22	-256.09	-256.02
24	-12.31	-2957.06	-679.95	-679.05
25	-325.18	-3041.92	-939.85	-939.74
26	-441.15	-3102.89	-1042.86	-1042.76
27	-361.45	-3140.20	-989.97	-989.08
28	-83.73	-3153.48	-779.19	-779.10
29	389.60	-3143.14	-412.63	-412.58
30	1024.03	-3057.71	-86.37	-86.34
31	1952.95	-3023.79	907.67	907.67

## TRACADO DO CABO DE FORCA DE PROTENSAO MINIMA

## VERIFICACAO DAS TENSOES NO CONCRETO PARA T= INFINITO

NO	FORCA PROTENSAO	ORDENADA CABO	TENSAO BORDA SUPERIOR MAX.	TENSAO BORDA SUPERIOR MIN.	TENSAO BORDA INFERIOR MAX.	TENSAO BORDA INFERIOR MIN.
1	169.870	-12.193	-.028	-.028	-.089	-.089
2	167.346	.596	-.044	-.062	-.001	-.047
3	165.191	-7.588	-.030	-.061	-.001	-.079
4	162.767	-12.637	-.021	-.060	-.000	-.100
5	160.266	-14.409	-.017	-.060	-.000	-.109
6	157.786	-12.726	-.017	-.059	-.000	-.106
7	155.294	-7.446	-.022	-.058	-.000	-.092
8	152.622	1.602	-.031	-.056	-.001	-.065
9	151.726	14.726	-.046	-.056	-.002	-.027
10	151.634	19.618	-.035	-.056	-.001	-.055
11	152.879	20.500	-.009	-.057	-.000	-.120
12	152.962	20.500	-.018	-.056	-.002	-.098
13	153.152	19.571	-.019	-.056	-.003	-.097
14	153.580	18.192	-.019	-.056	-.004	-.095
15	154.571	17.586	-.021	-.056	-.005	-.092
16	155.562	17.713	-.024	-.055	-.007	-.085
17	156.536	18.516	-.028	-.054	-.010	-.077
18	157.486	19.957	-.032	-.053	-.013	-.066
19	157.722	20.500	-.037	-.052	-.018	-.054
20	158.358	20.500	-.036	-.052	-.019	-.057
21	159.632	20.500	-.031	-.053	-.016	-.071
22	159.330	18.545	-.035	-.052	-.019	-.062
23	159.284	14.173	-.036	-.052	-.019	-.060
24	160.182	9.486	-.033	-.053	-.017	-.060
25	161.609	5.050	-.032	-.054	-.015	-.072
26	163.032	3.239	-.032	-.055	-.015	-.073
27	164.445	1.622	-.033	-.055	-.016	-.071
28	165.853	.985	-.036	-.055	-.017	-.065
29	167.239	1.290	-.040	-.054	-.020	-.056
30	168.169	1.355	-.051	-.052	-.028	-.030
31	170.649	5.319	-.053	-.053	-.026	-.026

## TRACADO DO CABO DE FORÇA DE PROTENSAO MINIMA

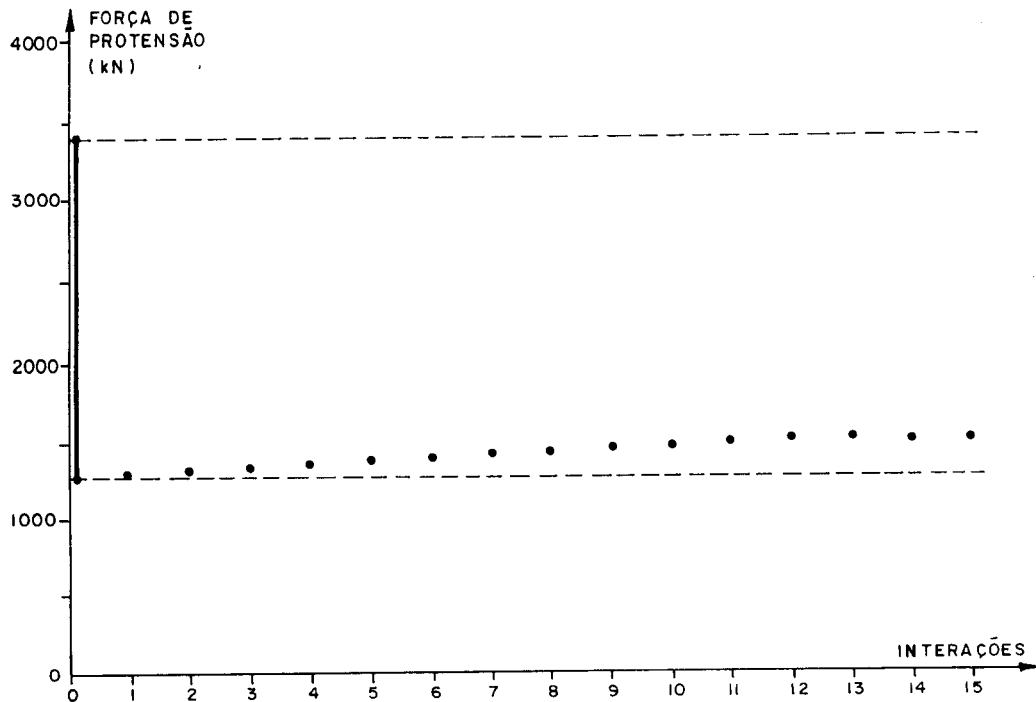
## VERIFICACAO DAS TENSOES NO CONCRETO PARA T= T0

NO	FORÇA PROTENSÃO	ORDENADA CABO	TENSÃO BORDA SUPERIOR		TENSÃO BORDA INFERIOR	
			MAX.	MIN.	MAX.	MIN.
1	197.273	-12.193	-.032	-.032	-.105	-.105
2	193.211	.596	-.051	-.069	-.000	-.054
3	190.309	-7.588	-.035	-.066	-.013	-.092
4	187.411	-12.637	-.024	-.063	-.016	-.116
5	184.508	-14.409	-.019	-.062	-.017	-.126
6	181.611	-12.726	-.019	-.061	-.017	-.123
7	178.713	-7.446	-.025	-.061	-.014	-.105
8	175.784	1.602	-.036	-.061	-.010	-.074
9	175.475	14.726	-.054	-.064	-.004	-.029
10	174.679	19.618	-.043	-.063	-.001	-.055
11	174.327	20.500	-.017	-.063	-.000	-.120
12	175.000	20.500	-.026	-.064	-.002	-.098
13	175.429	19.571	-.026	-.064	-.004	-.098
14	176.116	18.192	-.027	-.063	-.007	-.099
15	177.449	17.586	-.028	-.062	-.009	-.096
16	178.771	17.713	-.031	-.062	-.012	-.090
17	180.073	18.516	-.035	-.061	-.014	-.082
18	181.363	19.957	-.040	-.060	-.018	-.071
19	181.830	20.500	-.045	-.059	-.023	-.058
20	182.486	20.500	-.043	-.059	-.024	-.063
21	183.444	20.500	-.038	-.060	-.022	-.076
22	183.699	18.545	-.042	-.059	-.024	-.067
23	183.751	14.173	-.042	-.058	-.026	-.067
24	184.764	9.486	-.038	-.059	-.026	-.077
25	186.414	5.850	-.037	-.059	-.025	-.082
26	188.068	3.239	-.037	-.060	-.026	-.084
27	189.722	1.622	-.038	-.060	-.026	-.081
28	191.383	.985	-.042	-.060	-.027	-.075
29	193.041	1.290	-.046	-.061	-.029	-.065
30	194.144	1.355	-.057	-.058	-.035	-.037
31	197.273	5.319	-.062	-.062	-.030	-.030

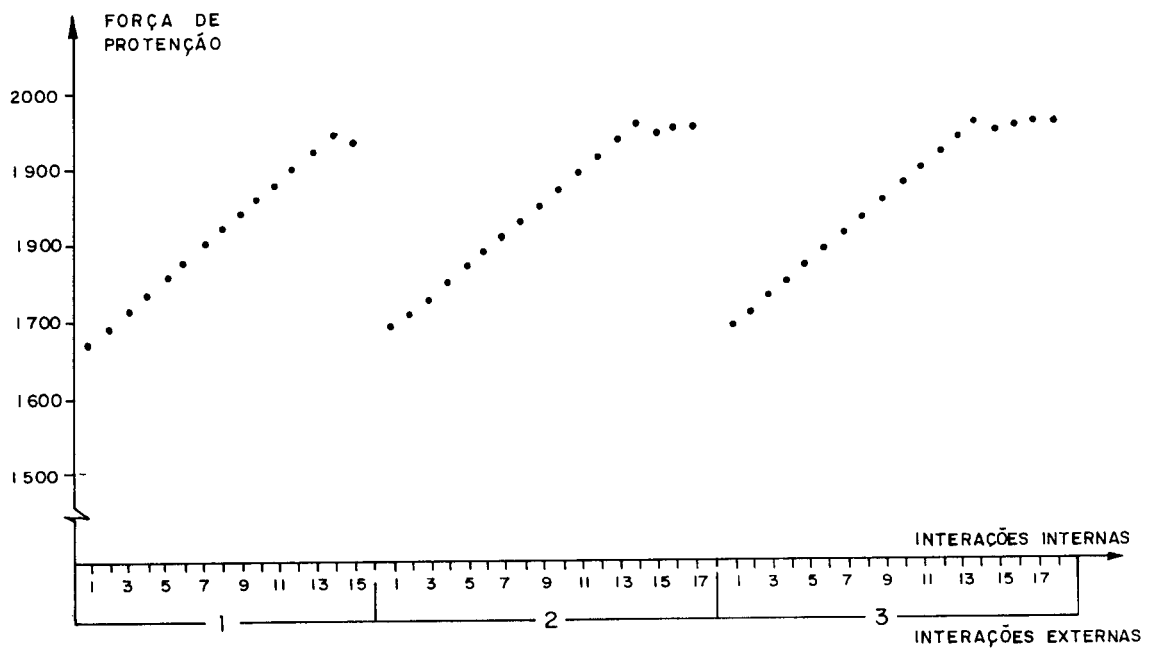


A.1) Verificação gráfica da convergência

SEM INFLUÊNCIA DAS PERDAS

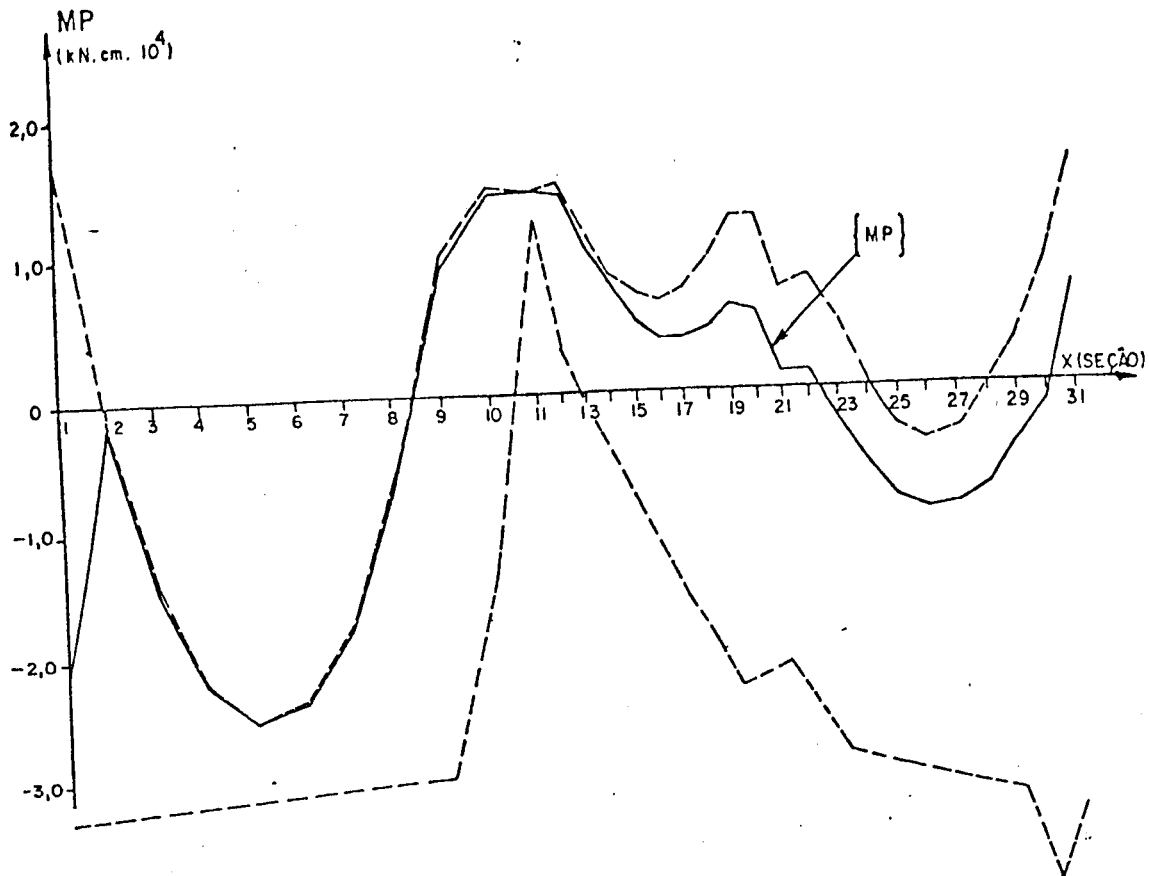


COM INFLUÊNCIA DAS PERDAS

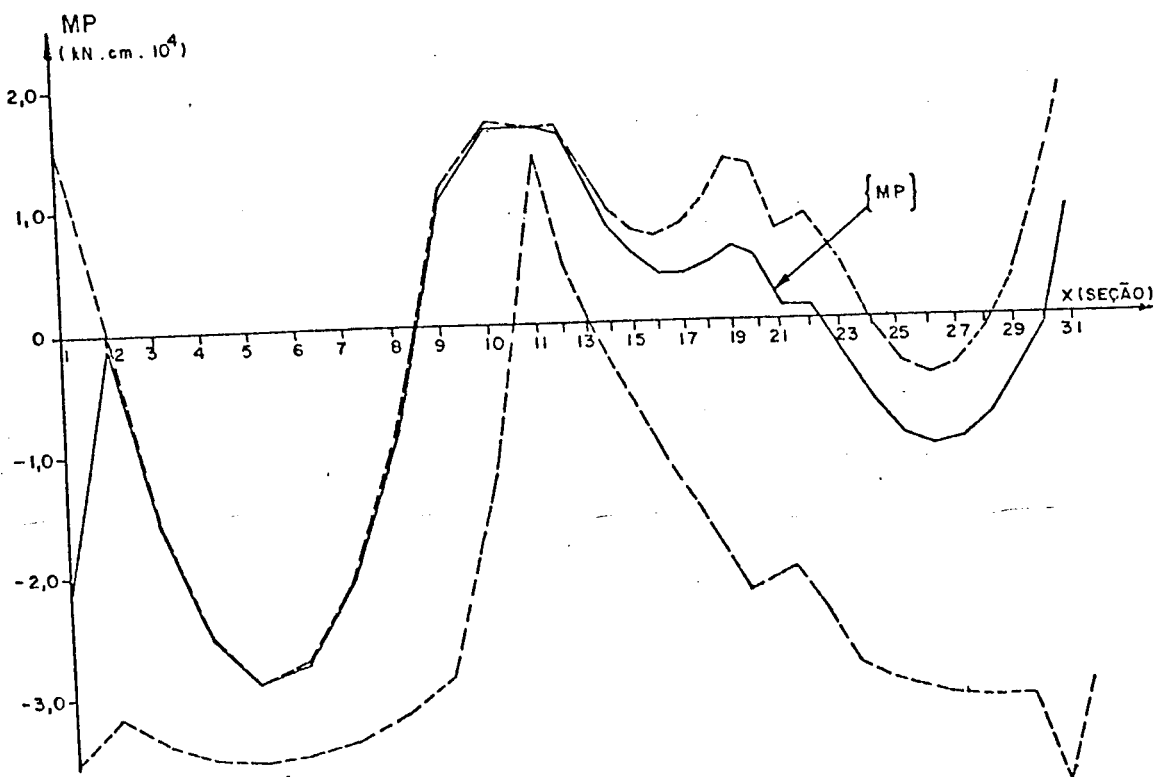


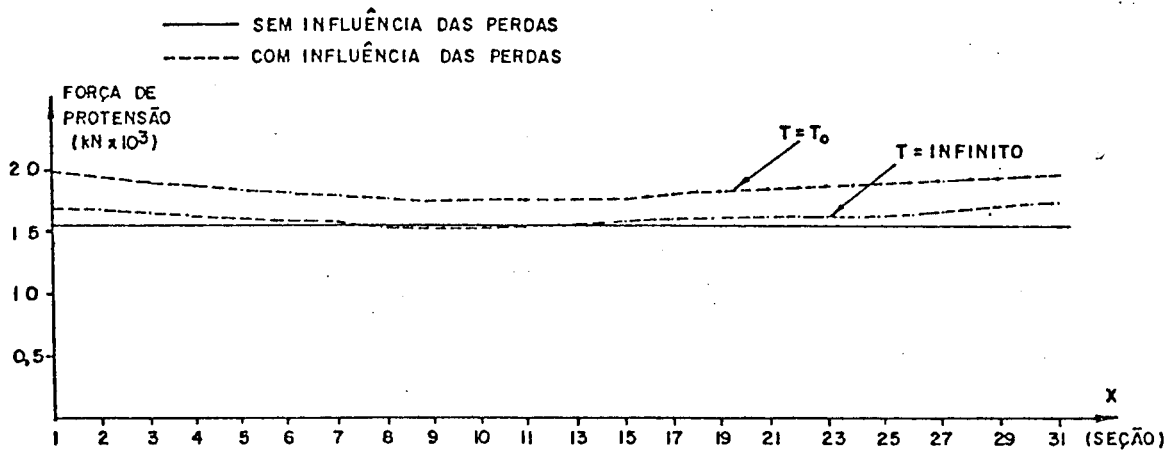
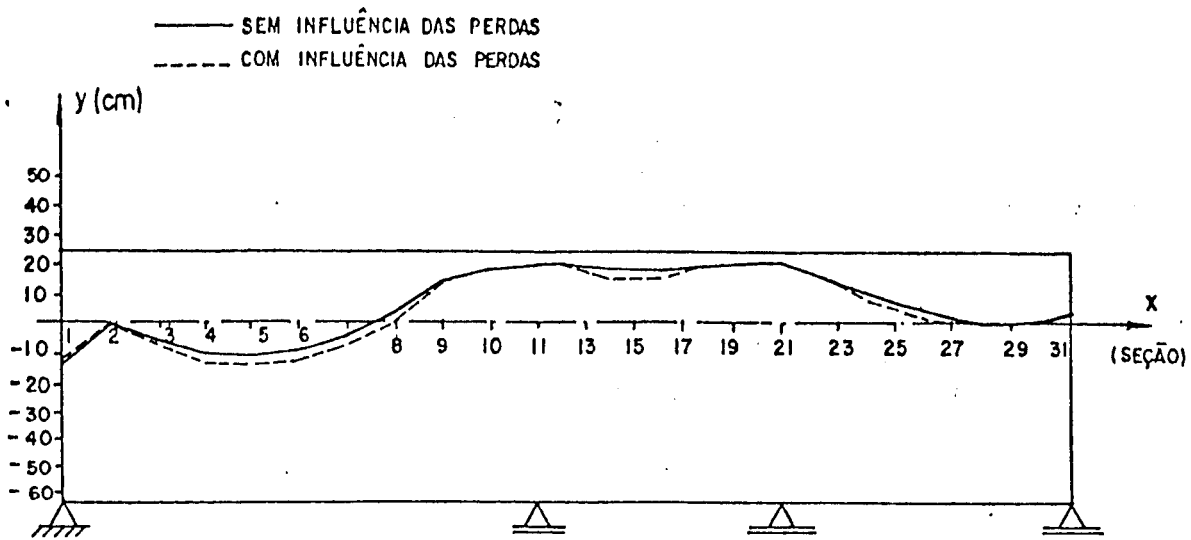
## A.2) Posicionamento de [MP] na seção longitudinal do fuso

SEM INFLUÊNCIA DAS PERDAS



COM INFLUÊNCIA DAS PERDAS



A.3) Traçado do cabo resultante

B) Análise para cabos interrompidos

ANALISE COM INTERRUPTAO DE CABOS

PRIMEIRA PARTE - SEM INFLUENCIA DAS PERDAS DE PROTENSÃO

NUCLEO LIMITE PARA T= SEM PERD

NO	P24/MP24	P13/MP13	P23/MP23	P14/MP14
1	.000000E+01 .000000E+01	.460750E+03 .000000E+01	.132812E+03 -.356667E+04	.335937E+03 .356667E+04
2	.481694E+02 -.125350E+04	.420501E+03 -.471417E+03	.132012E+03 -.352667E+04	.335937E+03 .180167E+04
3	.035024E+02 -.216245E+04	.385248E+03 -.806550E+03	.132012E+03 -.348667E+04	.335937E+03 .517667E+03
4	.106053E+03 -.272083E+04	.362697E+03 -.100597E+04	.132012E+03 -.344667E+04	.335937E+03 -.287333E+03
5	.115820E+03 -.294933E+04	.352930E+03 -.106867E+04	.132012E+03 -.340567E+04	.335937E+03 -.612333E+03
6	.112724E+03 -.282620E+04	.356026E+03 -.995800E+03	.132012E+03 -.336567E+04	.335937E+03 -.456333E+03
7	.968457E+02 -.235979E+04	.371904E+03 -.787217E+03	.132012E+03 -.332567E+04	.335937E+03 .170667E+03
8	.681576E+02 -.154937E+04	.400592E+03 -.442633E+03	.132012E+03 -.328567E+04	.335937E+03 .129367E+04
9	.266332E+02 -.394233E+03	.442117E+03 .382333E+02	.132012E+03 -.324567E+04	.335937E+03 .288967E+04
10	.567624E+02 .418650E+03	.411988E+03 .134035E+04	.132012E+03 -.162367E+04	.335937E+03 .338267E+04
11	.127108E+03 .114552E+04	.341642E+03 .320948E+04	.132012E+03 .992333E+03	.335937E+03 .336267E+04
12	.102156E+03 .903600E+03	.366594E+03 .256240E+04	.132012E+03 .803335E+02	.335937E+03 .338567E+04
13	.998080E+02 .538667E+03	.360942E+03 .215933E+04	.132012E+03 -.347667E+03	.335937E+03 .304567E+04
14	.974862E+02 .233817E+03	.371264E+03 .181590E+04	.132012E+03 -.715667E+03	.335937E+03 .276467E+04
15	.919080E+02 .136500E+02	.376741E+03 .150735E+04	.132012E+03 -.108267E+04	.335937E+03 .260367E+04
16	.832809E+02 -.119717E+03	.305461E+03 .123272E+04	.132012E+03 -.144967E+04	.335937E+03 .256267E+04
17	.713600E+02 -.167367E+03	.397390E+03 .991337E+03	.132012E+03 -.101767E+04	.335937E+03 .264167E+04
18	.562554E+02 -.120733E+03	.412495E+03 .704733E+03	.132012E+03 -.218467E+04	.335937E+03 .204067E+04
19	.379217E+02 -.438333E+01	.430828E+03 .611303E+03	.132012E+03 -.255267E+04	.335937E+03 .315967E+04
20	.413109E+02 .360001E+01	.427439E+03 .674400E+03	.132012E+03 -.245367E+04	.335937E+03 .313167E+04
21	.579100E+02 -.330167E+03	.410040E+03 .610167E+03	.132012E+03 -.234167E+04	.335937E+03 .262167E+04
22	.455274E+02 -.366633E+03	.423223E+03 .372633E+03	.132012E+03 -.271067E+04	.335937E+03 .271667E+04
23	.435259E+02 -.296003E+03	.425224E+03 .900336E+01	.132012E+03 -.309467E+04	.335937E+03 .240767E+04

24	.542272E+02 -.104327E+04	.414523E+03 -.162733E+03	.132012E+03 -.315367E+04	.335937E+03 .194767E+04
25	.603110E+02 -.126567E+04	.400430E+03 -.286333E+03	.132012E+03 -.321267E+04	.335937E+03 .166067E+04
26	.617795E+02 -.136408E+04	.406970E+03 -.360917E+03	.132012E+03 -.327167E+04	.335937E+03 .154667E+04
27	.586572E+02 -.133923E+04	.410093E+03 -.386767E+03	.132012E+03 -.333067E+04	.335937E+03 .160467E+04
28	.508914E+02 -.110968E+04	.417859E+03 -.363317E+03	.132012E+03 -.338967E+04	.335937E+03 .183667E+04
29	.305355E+02 -.916867E+03	.430215E+03 -.291133E+03	.132012E+03 -.344067E+04	.335937E+03 .224067E+04
30	.253523E+01 -.723083E+03	.466215E+03 -.601917E+03	.132012E+03 -.422167E+04	.335937E+03 .201667E+04
31	.000000E+01 .000000E+01	.460750E+03 .000000E+01	.132012E+03 -.356667E+04	.335937E+03 .356667E+04

FORÇA DE PROTENSAO MEDIA = 116.75

VERIFICACAO DO LUGAR GEOMETRICO DA CURVA-MOMENTO FLETOR PARA T= SEM PERD

NO	VETOR MPI	MP/CMITJ*MP	REG. OTIMA	REG. LIMITE	PMIN/PMAX
1	1215.36	1215.36 1215.36	2346.69 -6811.14	8681.61 -25197.05	114.47 423.49
2	-1435.48	-1102.01 -1101.93	1280.13 -3715.51	7404.31 -21490.57	62.45 361.19
3	-2526.28	-1859.35 -1859.19	2297.04 -6667.02	5864.77 -17022.13	112.05 286.09
4	-3325.30	-2324.98 -2324.67	2952.47 -8569.36	4888.62 -14188.93	144.02 238.47
5	-3831.19	-2497.33 -2497.02	3247.06 -9424.40	4476.52 -12992.04	158.39 218.37
6	-4044.77	-2377.44 -2377.14	3177.34 -9222.03	4630.78 -13440.55	154.99 225.89
7	-3966.56	-1965.77 -1965.54	2746.12 -7970.44	5348.42 -15523.45	133.96 260.90
8	-3595.99	-1261.73 -1261.59	1952.61 -5667.35	6630.58 -19244.07	95.25 323.44
9	-2932.34	-264.62 -264.51	796.24 -2311.05	8478.62 -24608.69	38.84 413.59
10	-1953.67	1047.52 1047.56	2377.88 -6901.65	7888.32 -22872.16	115.99 384.41
11	-667.25	2667.40 2667.40	5544.25 -16091.86	5956.96 -17289.72	270.45 290.58
12	-1101.69	2119.15 2119.15	4441.27 -12890.50	6659.33 -19328.29	216.65 324.05
13	-1455.33	1651.72 1651.67	4195.21 -12176.53	6583.18 -19107.28	204.64 321.13
14	-1735.56	1257.69 1257.66	3976.96 -11542.07	6532.92 -18961.39	194.00 318.60
15	-1941.22	930.22 930.10	3678.99 -10654.02	6624.70 -19227.79	179.07 323.16
16	-2072.30	693.34 693.30	3277.32 -9512.23	6060.50 -19912.17	159.07 334.66
17	-2120.90	522.93 522.87	2795.75 -8114.50	7242.02 -21019.52	136.38 353.27

18	-2189.28	428.76 428.70	2229.67 -6471.47	7760.00 -22540.46	108.76 378.97
19	-2014.21	410.03 410.00	1577.56 -4570.77	8443.19 -24505.84	76.95 411.06
20	-1849.03	460.60 460.59	1729.27 -5019.11	8349.68 -24234.45	84.35 407.30
21	-1979.70	216.93 216.93	2243.52 -6511.67	7662.93 -22241.20	109.44 373.80
22	-1924.79	52.17 52.20	1741.96 -5055.94	8057.30 -23305.81	84.97 393.04
23	-2131.64	-374.34 -374.26	1515.06 -4397.38	7975.21 -23147.57	73.91 309.03
24	-2235.50	-697.86 -697.76	1778.59 -5162.26	7464.47 -21665.17	86.76 364.12
25	-2231.14	-913.16 -913.03	1917.02 -5564.05	7162.67 -20789.20	93.51 349.40
26	-2118.60	-1020.29 -1020.17	1930.29 -5602.56	7069.74 -20519.48	94.16 344.07
27	-1898.49	-1019.04 -1019.72	1819.18 -5280.87	7184.54 -20852.68	88.74 350.47
28	-1569.51	-910.52 -910.43	1502.29 -4592.51	7509.52 -21795.94	77.18 366.32
29	-1133.00	-693.67 -693.60	1220.94 -3543.70	8042.16 -23341.07	59.56 392.30
30	-1022.71	-803.04 -803.02	113.01 -328.01	9323.52 -27060.96	5.51 454.81
31	-1716.51	-1716.51 -1716.51	1310.32 -3803.12	6295.04 -10270.96	63.92 307.07

TRACADO DO CABO RESULTANTE E VERIF. DAS TENSOES PARA T= SEM PERD

NO	FORCA PROT	QUANT CABOS	ORDENADA CABO RES	TENSAO BORDA MAX	SUP MIN	TENSAO BORDA MAX	INF MIN
1	114.473	9	10.617	-.043	-.043	0.000	0.000
2	62.446	5	-22.988	-.005	-.023	0.000	-.045
3	112.051	9	-22.546	-.011	-.042	.000	-.079
4	144.023	12	-23.039	-.014	-.054	.000	-.100
5	158.393	13	-24.100	-.016	-.059	0.000	-.109
6	154.992	12	-26.097	-.016	-.058	-.000	-.106
7	133.957	11	-29.611	-.014	-.050	-.000	-.091
8	95.249	7	-37.753	-.010	-.035	.000	-.064
9	49.283	4	-59.500	-.007	-.017	-.003	-.020
10	115.994	9	-16.043	-.022	-.043	0.000	-.053
11	270.451	22	-2.467	-.053	-.101	0.000	-.120
12	216.647	18	-5.085	-.043	-.081	-.000	-.096
13	204.644	17	-7.111	-.039	-.076	0.000	-.094
14	193.998	16	-8.946	-.036	-.072	0.000	-.092
15	179.073	14	-10.840	-.032	-.067	-.000	-.087
16	159.069	13	-12.962	-.028	-.059	0.000	-.078
17	136.378	11	-15.610	-.024	-.051	-.000	-.067
18	108.764	9	-19.393	-.020	-.040	0.000	-.053
19	76.934	6	-26.174	-.015	-.029	.000	-.034
20	84.355	7	-21.929	-.016	-.031	-.000	-.039
21	109.440	9	-18.009	-.019	-.041	.000	-.052
22	84.974	7	-22.652	-.015	-.032	.000	-.043
23	73.906	6	-28.043	-.011	-.027	0.000	-.041
24	86.761	7	-25.766	-.012	-.032	.000	-.051
25	93.513	7	-23.859	-.012	-.035	0.000	-.057
26	94.161	7	-22.500	-.012	-.035	-.000	-.056
27	80.741	7	-21.394	-.011	-.033	-.000	-.052
28	77.105	6	-20.334	-.010	-.029	0.000	-.046
29	59.550	4	-19.023	-.008	-.022	0.000	-.034
30	17.100	1	-59.500	-.003	-.004	-.006	-.006
31	63.910	5	-26.033	-.008	-.008	-.006	-.004

SEGUNDA PARTE - COM INFLUENCIA DAS PERDAS DE PROTENSAO

CONVERGENCIA DA SOLUCAO

ITERACAO	P MEDIO
1	132.164
2	134.170
3	134.432

PERDAS DE PROTENSAO

NO	DP	DMP
1	-18.203	-193.205
2	-8.863	139.456
3	-15.761	257.819
4	-21.290	341.691
5	-23.924	377.375
6	-23.271	357.552
7	-19.442	280.948
8	-12.926	151.937
9	-6.468	-9.176
10	-16.622	-156.893
11	-47.894	-369.401
12	-35.935	-286.926
13	-33.470	-214.005
14	-31.304	-154.151
15	-28.306	-109.108
16	-24.571	-78.760
17	-20.218	-62.519
18	-15.415	-59.634
19	-10.315	-68.643
20	-11.473	-69.427
21	-15.804	-18.416
22	-11.535	-10.981
23	-9.776	41.203
24	-11.726	91.078
25	-12.777	123.772
26	-12.877	138.925
27	-12.020	136.980
28	-10.265	118.856
29	-7.694	86.735
30	-2.198	100.489
31	-9.436	253.389

NUCLEO LIMITE PARA T= INFINITO

NO	P24/MP24	P13/MP13	P23/MP23	P14/MP14
1	.182832E+02 .193285E+03	.468750E+03 .000000E+01	.151018E+03 -.337338E+04	.335937E+03 .356667E+04
2	.562320E+02 -.139304E+04	.420581E+03 -.471417E+03	.134870E+03 -.350482E+04	.341944E+03 .164037E+04
3	.992637E+02 -.242027E+04	.385248E+03 -.006550E+03	.137228E+03 -.343979E+04	.347284E+03 .212970E+03
4	.127351E+03 -.306972E+04	.362697E+03 -.100597E+04	.138958E+03 -.330142E+04	.351091E+03 -.694267E+03
5	.139744E+03 -.332671E+04	.352930E+03 -.106067E+04	.139887E+03 -.333055E+04	.352707E+03 -.106482E+04
6	.135995E+03 -.310375E+04	.356026E+03 -.995800E+03	.139940E+03 -.328991E+04	.352073E+03 -.809644E+03
7	.116200E+03 -.264073E+04	.371904E+03 -.787217E+03	.139240E+03 -.325734E+04	.348944E+03 -.170611E+03

8	.810841E+02 -.170130E+04	.400592E+03 -.442633E+03	.138022E+03 -.323036E+04	.343655E+03 .108642E+04
9	.331014E+02 -.385058E+03	.442117E+03 .382333E+02	.137693E+03 -.319385E+04	.337525E+03 .284703E+04
10	.733843E+02 .575543E+03	.411908E+03 .134035E+04	.148912E+03 -.145274E+04	.336460E+03 .336863E+04
11	.175002E+03 .151500E+04	.341642E+03 .320948E+04	.176996E+03 .146144E+04	.339647E+03 .326304E+04
12	.138091E+03 .119053E+04	.366594E+03 .256240E+04	.166223E+03 .435053E+03	.338462E+03 .331787E+04
13	.133278E+03 .752672E+03	.368942E+03 .215933E+04	.162511E+03 -.323601E+02	.339710E+03 .294436E+04
14	.128790E+03 .387168E+03	.371264E+03 .181598E+04	.159361E+03 -.433802E+03	.340693E+03 .263695E+04
15	.120295E+03 .122750E+03	.376761E+03 .150735E+04	.156010E+03 -.836373E+03	.341046E+03 .246648E+04
16	.107860E+03 -.409569E+02	.385461E+03 .123272E+04	.152524E+03 -.124039E+04	.340797E+03 .243215E+04
17	.915777E+02 -.104848E+03	.397390E+03 .991367E+03	.148970E+03 -.164612E+04	.339997E+03 .253264E+04
18	.716708E+02 -.690995E+02	.412495E+03 .784733E+03	.145452E+03 -.205048E+04	.338714E+03 .276611E+04
19	.482368E+02 .642596E+02	.430828E+03 .611383E+03	.142037E+03 -.245473E+04	.337028E+03 .313037E+04
20	.527841E+02 .730271E+02	.427439E+03 .674400E+03	.142888E+03 -.234670E+04	.337335E+03 .309412E+04
21	.737144E+02 -.311751E+03	.410840E+03 .610167E+03	.144630E+03 -.221619E+04	.339924E+03 .251461E+04
22	.570621E+02 -.355652E+03	.423223E+03 .372633E+03	.141372E+03 -.261979E+04	.338913E+03 .263677E+04
23	.533024E+02 -.738086E+03	.425224E+03 .988336E+01	.138719E+03 -.303195E+04	.339807E+03 .230375E+04
24	.659537E+02 -.113434E+04	.414523E+03 -.162733E+03	.138786E+03 -.309025E+04	.341691E+03 .179317E+04
25	.730890E+02 -.138944E+04	.408438E+03 -.286333E+03	.138666E+03 -.315051E+04	.342861E+03 .147474E+04
26	.746566E+02 -.150301E+04	.406970E+03 -.360917E+03	.138334E+03 -.321305E+04	.343293E+03 .134912E+04
27	.706854E+02 -.147621E+04	.410093E+03 -.386767E+03	.137777E+03 -.327796E+04	.343001E+03 .141498E+04
28	.611560E+02 -.130854E+04	.417059E+03 -.363317E+03	.136997E+03 -.334524E+04	.342018E+03 .167338E+04
29	.462294E+02 -.100360E+04	.430215E+03 -.291133E+03	.136012E+03 -.341470E+04	.340432E+03 .211996E+04
30	.583983E+01 -.811828E+03	.465109E+03 -.693661E+03	.132012E+03 -.422167E+04	.338136E+03 .271618E+04
31	.943552E+01 -.253389E+03	.468750E+03 .000000E+01	.132013E+03 -.356667E+04	.345373E+03 .331328E+04



FORÇA DE PROTENSAO MEDIA = 134.43

VERIFICACAO DO LUGAR GEOMETRICO DA CURVA-MOMENTO FLETOR PARA T= INFINITO

NO	VETOR MPI	MP/[MITJ]*MP	REG. OTIMA	REG. LIMITE	PMIN/PMAX
1	1494.79	1494.79 1494.79	2513.03 -7293.91	8615.85 -25006.99	140.79 438.49
2	-1634.90	-1248.91 -1248.82	1265.77 -3673.83	6806.54 -19755.56	69.01 340.09
3	-2889.39	-2117.41 -2117.22	2296.58 -6665.69	4723.94 -13710.94	127.79 246.20
4	-3816.29	-2658.31 -2658.05	2968.45 -8615.76	3363.62 -9762.71	166.10 185.38
5	-4405.47	-2861.51 -2861.15	3272.55 -9498.37	2771.01 -8042.69	183.56 159.10
6	-4653.13	-2723.17 -2722.83	3200.16 -9288.27	2969.89 -8619.94	179.38 168.14
7	-4559.01	-2243.06 -2242.80	2753.18 -7990.93	3948.80 -11461.16	153.74 212.07
8	-4125.26	-1423.33 -1423.17	1933.96 -5613.20	5676.66 -16476.16	107.27 289.84
9	-3363.85	-275.93 -275.80	756.70 -2196.26	7971.09 -23135.59	43.38 395.30
10	-2276.22	1197.70 1197.75	2364.92 -6864.04	6664.72 -19343.95	131.98 341.73
11	-820.02	3039.88 3039.88	5550.06 -16100.71	2497.53 -7248.93	318.63 169.72
12	-1314.71	2409.27 2409.27	4447.44 -12908.41	4065.50 -11799.87	252.88 234.25
13	-1716.52	1871.54 1871.48	4206.44 -12208.94	4172.74 -12111.14	238.66 237.02
14	-2032.91	1419.23 1419.20	3991.24 -11584.32	4282.26 -12429.00	226.00 240.19
15	-2261.51	1054.71 1054.66	3685.23 -10696.16	4590.90 -13324.81	208.07 252.25
16	-2402.25	778.05 778.01	3288.81 -9545.56	5094.18 -14785.56	185.00 273.07
17	-2455.51	588.87 588.79	2802.34 -8133.63	5785.80 -16792.94	156.92 302.45
18	-2419.88	488.57 488.50	2230.02 -6472.49	6653.00 -19312.24	124.20 339.99
19	-2297.11	475.42 475.39	1571.29 -4560.56	7690.58 -22321.45	86.96 385.47
20	-2107.86	528.75 528.73	1726.80 -5011.93	7517.09 -21817.89	95.71 378.16
21	-2261.76	238.93 238.93	2250.44 -6531.77	6526.36 -18942.36	125.58 334.16
22	-2188.56	62.06 62.09	1739.05 -5049.82	7220.62 -20957.41	96.41 363.76
23	-2419.57	-419.02 -418.92	1508.36 -4377.92	7261.15 -21875.05	83.35 363.90
24	-2541.75	-791.27 -791.16	1774.09 -5149.10	6611.52 -19189.53	98.27 334.24

25	-2539.04	-1030.63	1913.75	6234.92	106.13
		-1030.49	-5534.54	-18096.47	316.92
26	-2411.25	-1160.90	1927.03	6134.79	106.88
		-1160.77	-5593.10	-17805.84	312.13
27	-2159.26	-1158.99	1814.98	6310.06	100.56
		-1158.86	-5267.88	-18314.57	319.84
28	-1782.37	-1032.16	1576.92	6761.48	87.19
		-1032.05	-4576.93	-19624.78	340.09
29	-1283.36	-783.23	1215.49	7480.03	66.99
		-783.15	-3527.88	-21710.34	372.57
30	-1155.93	-905.86	114.79	9159.98	7.80
		-905.83	-333.16	-26586.27	449.03
31	-1982.09	-1982.09	1319.62	5580.02	73.81
		-1982.08	-3830.12	-16221.21	282.06

## TRACADO DO CABO RESULTANTE E VERIF. DAS TENSOES PARA T= INFINITO

NO	FORCA PROT	QUANT CABOS	ORDENADA CABO RES	TENSAO MAX	BORDA SUP MIN	TENSAO MAX	BORDA INF MIN
1	122.587	11	10.617	-.046	-.046	0.000	0.000
2	61.745	5	-23.420	-.005	-.023	.000	-.045
3	112.028	10	-22.611	-.011	-.042	0.000	-.079
4	144.803	13	-22.976	-.014	-.054	-.000	-.100
5	159.636	15	-24.000	-.016	-.059	.000	-.109
6	156.105	14	-25.941	-.016	-.058	.000	-.106
7	134.301	12	-29.653	-.014	-.050	-.000	-.091
8	94.339	8	-38.458	-.010	-.035	.000	-.064
9	50.067	4	-59.500	-.007	-.017	-.004	-.029
10	115.362	11	-17.246	-.022	-.043	-.000	-.053
11	270.735	26	-2.574	-.053	-.101	0.000	-.120
12	216.948	21	-5.199	-.043	-.081	0.000	-.096
13	205.192	19	-7.192	-.039	-.076	-.000	-.094
14	194.694	18	-8.995	-.036	-.072	-.000	-.092
15	179.767	17	-10.869	-.033	-.067	-.000	-.087
16	160.430	15	-12.985	-.029	-.060	0.000	-.078
17	136.700	13	-15.648	-.024	-.051	-.000	-.067
18	108.781	10	-19.484	-.020	-.040	0.000	-.053
19	76.648	7	-26.415	-.014	-.029	.000	-.036
20	84.234	7	-22.024	-.016	-.031	-.000	-.039
21	109.778	10	-18.010	-.019	-.041	-.000	-.035
22	84.871	8	-22.702	-.015	-.032	-.000	-.043
23	73.578	6	-29.027	-.011	-.027	0.000	-.041
24	86.541	8	-25.866	-.012	-.032	.000	-.051
25	93.354	8	-23.924	-.012	-.035	0.000	-.057
26	94.002	8	-22.561	-.012	-.035	-.000	-.058
27	88.536	8	-21.472	-.011	-.033	-.000	-.055
28	76.923	7	-20.443	-.010	-.029	-.000	-.048
29	59.292	5	-19.159	-.008	-.022	.000	-.036
30	17.229	1	-59.500	-.003	-.004	-.006	-.008
31	64.372	6	-26.853	.000	.000	-.061	-.061

## TRACADO DO CABO RESULTANTE E VERIF. DAS TENSOES PARA T= T0

NO	FORCA PROT	QUANT CABOS	ORDENADA CABO RES	TENSAO MAX	BORDA SUP MIN	TENSAO MAX	BORDA INF MIN
1	140.792	11	10.617	-.052	-.052	-.000	-.000
2	69.808	5	-23.420	-.006	-.024	-.006	-.051
3	127.790	10	-22.611	-.012	-.043	-.011	-.089
4	166.101	13	-22.976	-.017	-.056	-.014	-.114
5	183.561	15	-24.000	-.019	-.062	-.016	-.125
6	179.376	14	-25.941	-.019	-.061	-.015	-.121
7	153.743	12	-29.653	-.016	-.052	-.012	-.103
8	107.266	8	-38.458	-.012	-.037	-.007	-.071
9	56.535	4	-59.500	-.009	-.019	-.005	-.030

10	131.984	11	-17.246	-.028	-.049	-.000	-.054
11	318.628	26	-2.574	-.070	-.117	-.003	-.123
12	252.083	21	-5.199	-.055	-.093	-.002	-.099
13	238.663	19	-7.192	-.050	-.087	-.004	-.097
14	225.998	18	-8.995	-.046	-.082	-.004	-.096
15	208.074	17	-10.869	-.041	-.076	-.005	-.091
16	185.001	15	-12.985	-.036	-.067	-.005	-.083
17	156.917	13	-15.648	-.030	-.057	-.004	-.071
18	124.197	10	-19.484	-.024	-.045	-.003	-.056
19	86.963	7	-26.415	-.018	-.032	-.001	-.037
20	95.707	7	-22.024	-.020	-.035	-.001	-.040
21	125.502	10	-10.010	-.024	-.045	-.004	-.058
22	96.406	8	-22.702	-.018	-.035	-.003	-.046
23	83.355	6	-29.027	-.013	-.030	-.004	-.045
24	98.267	8	-25.866	-.014	-.034	-.005	-.056
25	106.131	8	-23.924	-.014	-.037	-.007	-.063
26	106.879	8	-22.561	-.014	-.037	-.007	-.065
27	100.564	8	-21.472	-.013	-.035	-.007	-.062
28	87.108	7	-20.443	-.011	-.030	-.006	-.054
29	66.986	5	-19.159	-.009	-.023	-.004	-.040
30	19.427	1	-59.500	-.003	-.004	-.009	-.011
31	73.007	6	-26.855	-.000	-.000	-.069	-.069

ANALISE PRELIMINAR DE LANÇAMENTO DE CABOS

/----- CABO 1-----/			/----- CABO 2-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
1	11.997	10.383	1	11.997	10.383
2	11.267	-20.728	2	11.267	-20.728
3	11.170	-56.244	3	11.170	-56.244
4	11.064	-34.441	4	11.064	-34.441
5	10.964	-27.377	5	10.964	-27.377
6	10.879	-19.365	6	10.879	-19.365
7	10.848	-12.961	7	10.848	-12.961
8	10.763	-15.951	8	10.763	-15.951
9	9.686	-57.882	9	9.686	-57.882
10	9.391	54.338	10	9.391	54.338
11	9.211	-38.355	11	9.211	-38.355
12	9.145	-2.177	12	9.145	-2.177
13	9.092	-3.985	13	9.092	-3.985
14	9.047	-2.277	14	9.047	-2.277
15	9.006	-3.763	15	9.006	-3.763
16	8.974	-5.143	16	8.974	-5.143
17	8.958	-1.027	17	8.958	-1.027
18	8.922	-1.043	18	8.922	-1.043
19	8.579	-24.804	19	8.579	-24.804
20	8.544	-13.996	20	8.544	-13.996
21	8.387	-33.354	21	8.387	-33.354
22	8.493	-16.658	22	8.493	-16.658
23	8.511	-28.427	23	8.511	-28.427
24	8.771	-20.158	24	8.771	-20.158
25	8.799	-17.665	25	8.799	-17.665
26	8.842	-27.078	26	8.842	-27.078
27	8.891	-27.726	27	8.891	-27.726
28	8.946	-26.958	28	8.946	-26.958
29	9.008	-156.136	29	9.008	-156.136
30	9.933	-58.184	30	9.933	-58.184
31	11.997	-41.304	31	11.997	-41.304

## /----- CABO 3-----/

SECAO	P	Y
1	11.997	10.383
2	11.267	-20.728
3	11.170	-56.244
4	11.064	-34.441
5	10.964	-27.377
6	10.879	-19.365
7	10.848	-12.961
8	10.763	-15.951
9	9.686	-57.882
10	9.753	54.338
11	10.059	-38.355
12	10.310	-2.177
13	10.384	-3.985
14	10.444	-2.277
15	10.497	-3.763
16	10.544	-5.143
17	10.582	-1.027
18	10.600	-1.043
19	10.643	-24.804
20	11.069	-13.996
21	11.114	-33.354
22	11.311	-16.658
23	11.335	-28.427
24	11.681	-20.158
25	11.718	-17.665
26	11.775	-27.078
27	11.841	-27.726
28	11.914	-26.958
29	11.997	-156.136

## /----- CABO 4-----/

SECAO	P	Y
1	11.997	10.383
2	11.267	-20.728
3	11.170	-56.244
4	11.064	-34.441
5	10.964	-27.377
6	10.879	-19.365
7	10.848	-12.961
8	10.763	-15.951
9	9.686	-57.882
10	9.753	54.338
11	10.059	-38.355
12	10.310	-2.177
13	10.384	-3.985
14	10.444	-2.277
15	10.497	-3.763
16	10.544	-5.143
17	10.582	-1.027
18	10.600	-1.043
19	10.643	-24.804
20	11.069	-13.996
21	11.114	-33.354
22	11.311	-16.658
23	11.335	-28.427
24	11.681	-20.158
25	11.718	-17.665
26	11.775	-27.078
27	11.841	-27.726
28	11.914	-26.958
29	11.997	-156.136

## /----- CABO 5-----/

SECAO	P	Y
1	11.997	10.383
2	11.267	-20.728
3	11.170	-56.244
4	11.064	-34.441
5	10.964	-27.377
6	10.879	-19.365
7	10.848	-12.961
8	10.763	-15.951
9	9.686	-57.882
10	9.753	54.338
11	10.059	-38.355
12	10.310	-2.177
13	10.384	-3.985
14	10.444	-2.277
15	10.497	-3.763
16	10.544	-5.143
17	10.582	-1.027
18	10.600	-1.043
19	10.643	-24.804
20	11.069	-13.996
21	11.114	-33.354
22	11.311	-16.658
23	11.335	-28.427
24	11.681	-20.158
25	11.718	-17.665
26	11.775	-27.078
27	11.841	-27.726
28	11.914	-26.958
29	11.997	-156.136

## /----- CABO 6-----/

SECAO	P	Y
1	11.997	10.383
2	11.267	-20.728
3	11.170	-56.244
4	11.064	-34.441
5	10.964	-27.377
6	10.879	-19.365
7	10.848	-12.961
8	10.763	-15.951
9	9.686	-57.882
10	9.753	54.338
11	10.059	-38.355
12	10.310	-2.177
13	10.384	-3.985
14	10.444	-2.277
15	10.497	-3.763
16	10.544	-5.143
17	10.582	-1.027
18	10.600	-1.043
19	10.643	-24.804
20	11.069	-13.996
21	11.114	-33.354
22	11.311	-16.658
23	11.335	-28.427
24	11.681	-20.158
25	11.718	-17.665
26	11.775	-27.078
27	11.841	-27.726
28	11.914	-26.958
29	11.997	-156.136

## /----- CABO 7-----/

SECAO	P	Y
1	11.997	10.383
2	11.267	-20.728
3	11.550	-56.244
4	11.651	-34.441
5	11.762	-27.377
6	11.870	-19.365
7	11.963	-12.961
8	11.997	-15.951

## /----- CABO 8-----/

SECAO	P	Y
1	11.997	10.383
2	0.000	0.000
3	0.000	0.000
4	0.000	0.000
5	0.000	0.000
6	0.000	0.000
7	0.000	0.000
8	0.000	0.000

## /----- CABO 9-----/

SECAO	P	Y
1	11.997	10.383

## /----- CABO 10-----/

SECAO	P	Y
1	11.997	10.383

## /----- CABO 11-----/

SECAO	P	Y
1	11.997	10.383

## /----- CABO 12-----/

SECAO	P	Y
1	11.997	10.383

## /----- CABO 13-----/

SECAO	P	Y
3	11.997	25.500
4	11.884	-34.441
5	11.762	-27.377
6	11.870	-19.365
7	11.963	-12.961
8	11.997	-64.500

## /----- CABO 14-----/

SECAO	P	Y
3	11.997	25.500
4	11.884	-34.441
5	11.762	-27.377
6	11.870	-19.365
7	11.963	-12.961
8	11.997	-64.500

## /----- CABO 15-----/

SECAO	P	Y
3	11.997	25.500
4	11.884	-34.441
5	11.762	-27.377
6	11.870	-19.365
7	11.963	-12.961
8	11.997	-64.500

## /----- CABO 16-----/

SECAO	P	Y
3	11.997	25.500
4	11.884	-34.441
5	11.796	-27.377
6	11.904	-19.365
7	11.997	-64.500
8	0.000	0.000

## /----- CABO 17-----/

SECAO	P	Y
3	11.997	25.500
4	11.884	-34.441
5	11.796	-27.377
6	11.904	-19.365
7	11.997	-64.500

## /----- CABO 18-----/

SECAO	P	Y
3	0.000	0.000
4	11.997	25.500
5	11.888	-27.377
6	11.904	-19.365
7	11.997	-64.500

## /----- CABO 19-----/

SECAO	P	Y
4	11.997	25.500
5	11.888	-27.377
6	11.904	-19.365
7	11.997	-64.500

## /----- CABO 20-----/

SECAO	P	Y
4	11.997	25.500
5	11.888	-27.377
6	11.997	-64.500
7	0.000	0.000

/----- CABO 21-----/			/----- CABO 22-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
5	11.997	25.500	5	0.000	0.000
6	11.997	-64.500	6	0.000	0.000
10	0.000	0.000	10	11.997	-64.500
11	0.000	0.000	11	11.766	-38.355
12	0.000	0.000	12	11.683	-2.177
13	0.000	0.000	13	11.615	-3.985
14	0.000	0.000	14	11.557	-2.277
15	0.000	0.000	15	11.505	-3.763
16	0.000	0.000	16	11.464	-5.143
17	0.000	0.000	17	11.444	-1.027
18	0.000	0.000	18	11.398	-1.043
19	0.000	0.000	19	10.960	-24.804
20	0.000	0.000	20	11.069	-13.996
21	0.000	0.000	21	11.114	-33.354
22	0.000	0.000	22	11.311	-16.658
23	0.000	0.000	23	11.335	-28.427
24	0.000	0.000	24	11.681	-20.158
25	0.000	0.000	25	11.718	-17.665
26	0.000	0.000	26	11.775	-27.078
27	0.000	0.000	27	11.841	-27.726
28	0.000	0.000	28	11.914	-26.958
29	0.000	0.000	29	11.997	25.500

/----- CABO 23-----/			/----- CABO 24-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
10	11.997	-64.500	10	11.997	-64.500
11	11.766	-38.355	11	11.766	-38.355
12	11.683	-2.177	12	11.683	-2.177
13	11.615	-3.985	13	11.615	-3.985
14	11.557	-2.277	14	11.557	-2.277
15	11.505	-3.763	15	11.505	-3.763
16	11.464	-5.143	16	11.464	-5.143
17	11.444	-1.027	17	11.444	-1.027
18	11.398	-1.043	18	11.398	-1.043
19	10.960	-24.804	19	10.960	-24.804
20	11.146	-13.996	20	11.741	-13.996
21	11.192	-33.354	21	11.789	-33.354
22	11.389	-16.658	22	11.997	-64.500
23	11.414	-28.427	23	0.000	0.000
24	11.762	-20.158	24	0.000	0.000
25	11.800	-17.665	25	0.000	0.000
26	11.857	-27.078	26	0.000	0.000
27	11.924	-27.726	27	0.000	0.000
28	11.997	25.500	28	0.000	0.000

/----- CABO 25-----/			/----- CABO 26-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
10	11.997	-64.500	10	11.997	-64.500
11	11.766	-38.355	11	11.766	-38.355
12	11.683	-2.177	12	11.683	-2.177
13	11.752	-3.985	13	11.752	-3.985
14	11.820	-2.277	14	11.820	-2.277
15	11.880	-3.763	15	11.880	-3.763
16	11.933	-5.143	16	11.933	-5.143
17	11.976	-1.027	17	11.976	-1.027
18	11.997	-64.500	18	11.997	-64.500

## /----- CABO 27 -----/

SECAO	P	Y
10	11.997	-64.500
11	11.766	-30.355
12	11.703	-2.177
13	11.752	-3.905
14	11.820	-2.277
15	11.880	-3.763
16	11.933	-5.143
17	11.976	-1.027
18	11.997	-64.500

## /----- CABO 28 -----/

SECAO	P	Y
10	11.997	-64.500
11	11.766	-38.355
12	11.703	-2.177
13	11.772	-3.905
14	11.841	-2.277
15	11.900	-3.763
16	11.954	-5.143
17	11.997	-64.500
18	0.000	0.000

## /----- CABO 29 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500
12	11.912	-2.177
13	11.843	-3.905
14	11.841	-2.277
15	11.900	-3.763
16	11.954	-5.143
17	11.997	-64.500

## /----- CABO 30 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500
12	11.912	-2.177
13	11.843	-3.905
14	11.841	-2.277
15	11.900	-3.763
16	11.954	-5.143
17	11.997	-64.500

## /----- CABO 31 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500
12	11.912	-2.177
13	11.843	-3.905
14	11.883	-2.277
15	11.943	-3.763
16	11.997	-64.500

## /----- CABO 32 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500
12	11.912	-2.177
13	11.843	-3.985
14	11.883	-2.277
15	11.943	-3.763
16	11.997	-64.500

## /----- CABO 33 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500
12	11.912	-2.177
13	11.868	-3.985
14	11.937	-2.277
15	11.997	-64.500

## /----- CABO 34 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500
12	11.912	-2.177
13	11.868	-3.985
14	11.937	-2.277
15	11.997	-64.500

## /----- CABO 35 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500
12	11.912	-2.177
13	11.928	-3.985
14	11.997	-64.500

## /----- CABO 36 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500
12	11.912	-2.177
13	11.928	-3.985
14	11.997	-64.500

## /----- CABO 37 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500
12	11.912	-2.177
13	11.997	-64.500

## /----- CABO 38 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500
12	11.997	-64.500
13	0.000	0.000

## /----- CABO 39 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500

## /----- CABO 40 -----/

SECAO	P	Y
11	11.997	25.500

/----- CABO 41-----/			/----- CABO 42-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
11	11.997	25.500	11	11.997	25.500

/----- CABO 43-----/			/----- CABO 44-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
11	11.997	25.500	11	0.000	0.000
20	0.000	0.000	20	11.997	-64.500
21	0.000	0.000	21	11.997	25.500

/----- CABO 45-----/			/----- CABO 46-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
21	11.997	25.500	21	11.997	25.500

/----- CABO 47-----/			/----- CABO 48-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
24	11.997	-64.500	24	0.000	0.000
25	11.939	-17.665	25	11.997	-64.500
26	11.930	-27.078	26	11.997	25.500
27	11.997	25.500	27	0.000	0.000

/----- CABO 49-----/			/----- CABO 50-----/		
SECAO	P	Y	SECAO	P	Y
31	11.997	-41.304	31	11.997	-41.304

VERIFICACAO DAS TENSOES PARA TRACADO PRELIMINAR COM T= T0

NO	FORCA PROT	QUANT CABOS	ORDENADA CABO RES	TENSAO BORDA MAX	SUP MIN	TENSAO BORDA MAX	INF MIN
1	143.964	12	10.617	-.054	-.054	-.000	-.000
2	78.872	7	-23.420	-.006	-.024	-.013	-.050
3	138.554	12	-22.611	-.013	-.044	-.019	-.097
4	173.447	15	-22.976	-.017	-.057	-.019	-.119
5	184.088	16	-24.000	-.020	-.063	-.015	-.124
6	184.361	16	-25.941	-.020	-.062	-.018	-.124
7	160.920	14	-29.653	-.017	-.053	-.017	-.100
8	112.565	10	-30.458	-.012	-.038	-.011	-.075
9	58.116	6	-59.500	-.010	-.020	-.005	-.030
10	141.773	13	-17.246	-.030	-.051	-.004	-.057
11	320.977	28	-2.574	-.072	-.119	-.000	-.120
12	260.512	23	-5.199	-.058	-.096	-.002	-.098
13	248.551	22	-7.192	-.054	-.091	-.004	-.093
14	237.157	21	-0.995	-.049	-.086	-.006	-.090
15	213.734	19	-10.869	-.044	-.078	-.004	-.091
16	190.171	17	-12.905	-.038	-.069	-.004	-.083
17	166.498	15	-15.648	-.033	-.059	-.007	-.074
18	130.430	12	-19.404	-.026	-.047	-.004	-.057
19	92.611	9	-26.415	-.019	-.033	-.003	-.039
20	107.316	10	-22.024	-.021	-.037	-.000	-.047
21	131.318	12	-18.010	-.025	-.047	-.005	-.060
22	96.924	9	-22.702	-.019	-.036	-.001	-.044
23	85.114	8	-29.027	-.014	-.030	-.003	-.044
24	99.703	9	-25.866	-.015	-.035	-.005	-.056
25	111.927	10	-23.924	-.015	-.038	-.010	-.067
26	112.344	10	-22.361	-.015	-.030	-.010	-.068
27	100.910	9	-21.472	-.013	-.035	-.006	-.061
28	89.460	8	-20.443	-.012	-.031	-.007	-.055
29	78.001	7	-19.159	-.010	-.024	-.012	-.048
30	19.867	2	-59.500	-.003	-.004	-.010	-.012
31	47.988	4	-26.855	-.000	-.000	-.045	-.045

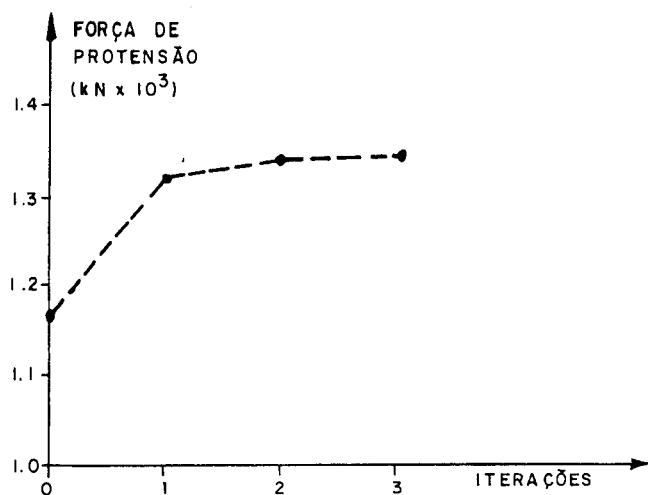


## VERIFICACAO DAS TENSOES PARA TRACADO PRELIMINAR COM T= INFINITO

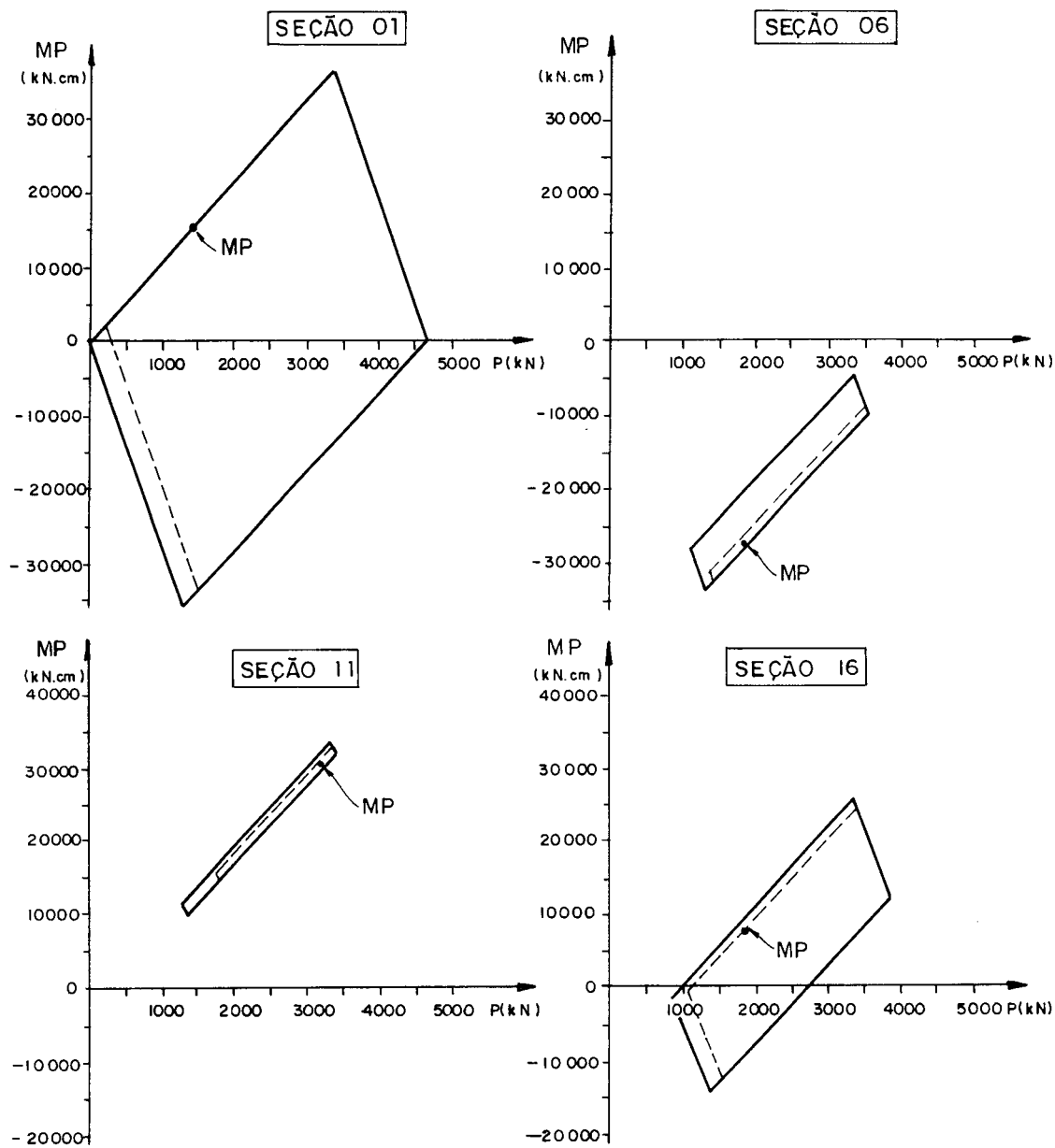
NO	FORÇA PROT	QUANT CABOS	ORDENADA CABO RES	TENSAO MAX	BORDA SUP MIN	TENSAO MAX	BORDA INF MIN
1	124.599	12	10.617	-.046	-.046	-.000	-.000
2	69.344	7	-23.420	-.005	-.023	-.006	-.052
3	120.394	12	-22.611	-.011	-.042	-.006	-.085
4	149.786	15	-22.976	-.015	-.054	-.003	-.102
5	158.825	16	-24.000	-.017	-.060	.002	-.107
6	158.939	16	-25.941	-.017	-.059	-.001	-.107
7	139.274	14	-29.653	-.014	-.051	-.003	-.094
8	98.331	10	-38.458	-.010	-.035	-.003	-.067
9	51.400	6	-59.500	-.008	-.018	-.004	-.029
10	123.294	13	-17.246	-.024	-.045	-.003	-.052
11	269.788	28	-2.574	-.054	-.102	.003	-.116
12	221.490	23	-5.177	-.045	-.083	.001	-.097
13	211.800	22	-7.192	-.042	-.079	-.000	-.094
14	202.524	21	-8.995	-.039	-.075	-.001	-.092
15	183.372	19	-10.869	-.034	-.068	.001	-.086
16	163.911	17	-12.985	-.030	-.061	.000	-.078
17	144.129	15	-15.648	-.026	-.053	-.002	-.072
18	113.735	12	-19.484	-.021	-.042	-.001	-.054
19	81.364	9	-26.415	-.015	-.029	-.002	-.038
20	93.940	10	-22.024	-.017	-.033	-.006	-.045
21	114.253	12	-18.010	-.021	-.042	-.001	-.056
22	85.143	9	-22.702	-.015	-.032	.002	-.041
23	74.928	8	-29.027	-.012	-.028	.000	-.041
24	87.503	9	-25.066	-.013	-.033	.001	-.050
25	97.909	10	-23.924	-.013	-.035	-.003	-.059
26	98.269	10	-22.561	-.013	-.036	-.002	-.061
27	88.525	9	-21.472	-.011	-.033	.001	-.054
28	78.637	8	-20.443	-.010	-.029	-.001	-.049
29	68.658	7	-19.159	-.009	-.023	-.007	-.042
30	17.568	2	-59.500	-.003	-.004	-.006	-.006
31	42.101	4	-26.855	-.000	-.000	-.040	-.040

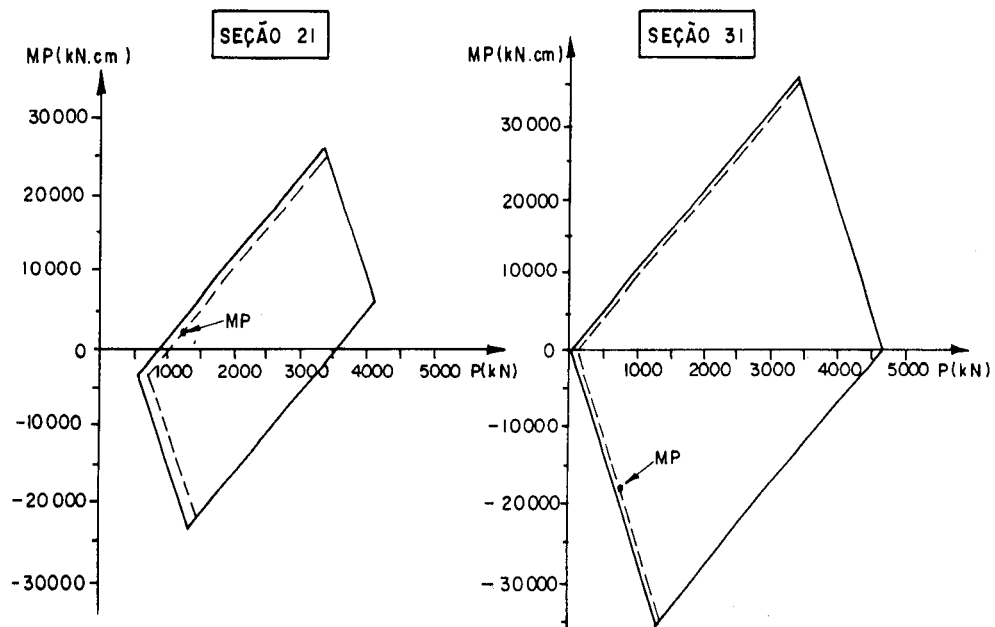
FIM DO PROCESSAMENTO1

B.1) Verificação gráfica da convergência

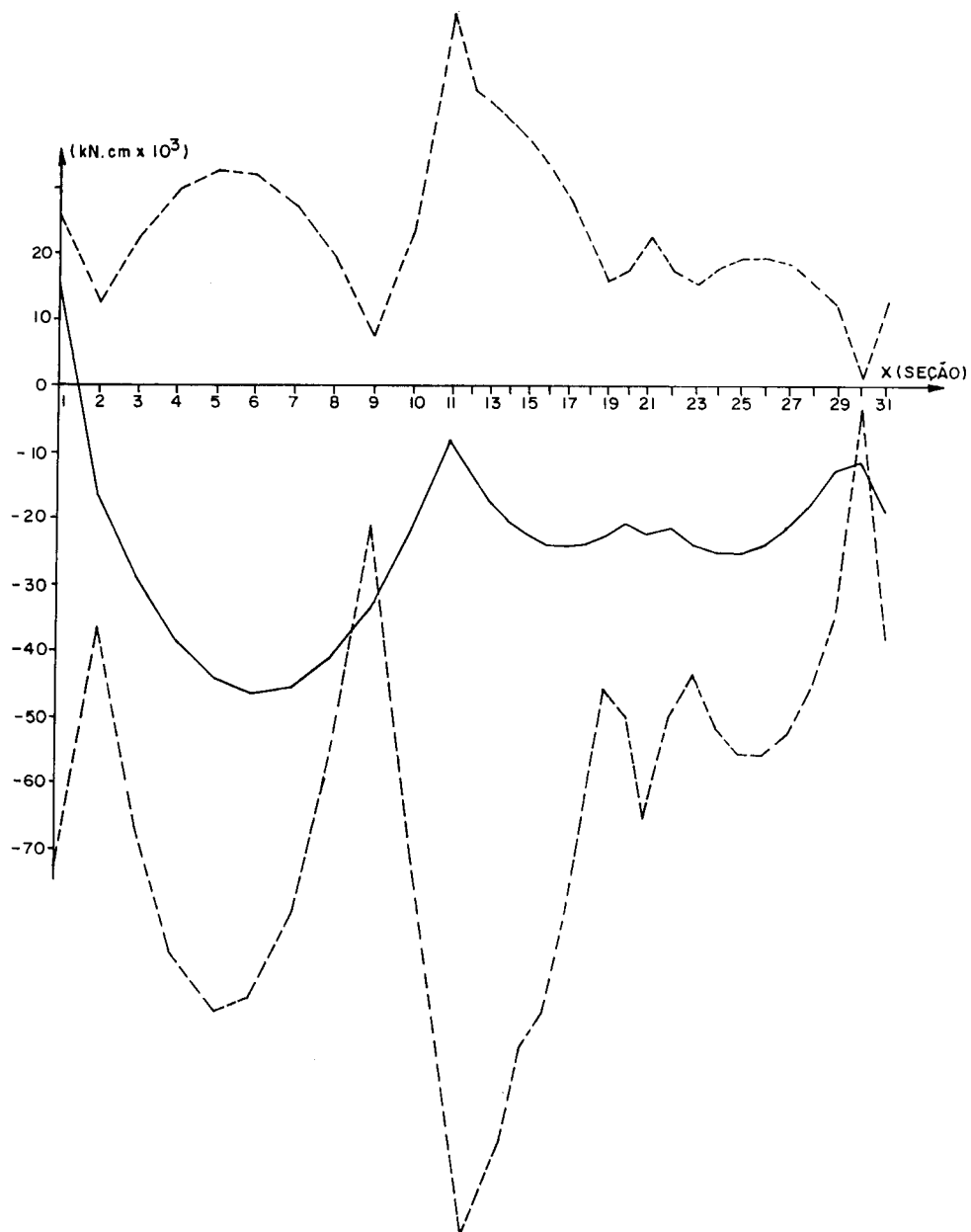


B.2) Verificação gráfica da curva (P,MP) no interior do fuso



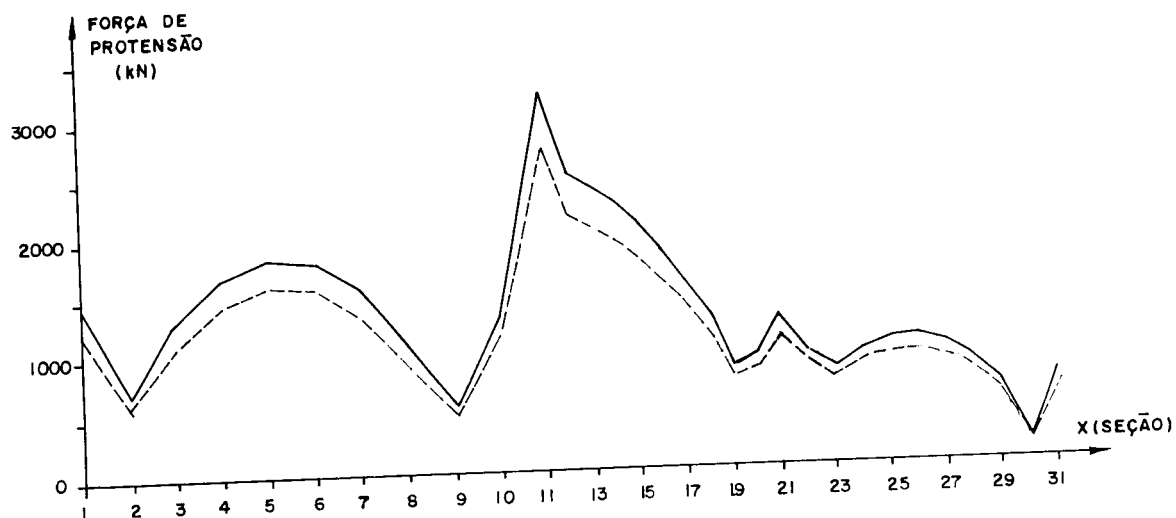
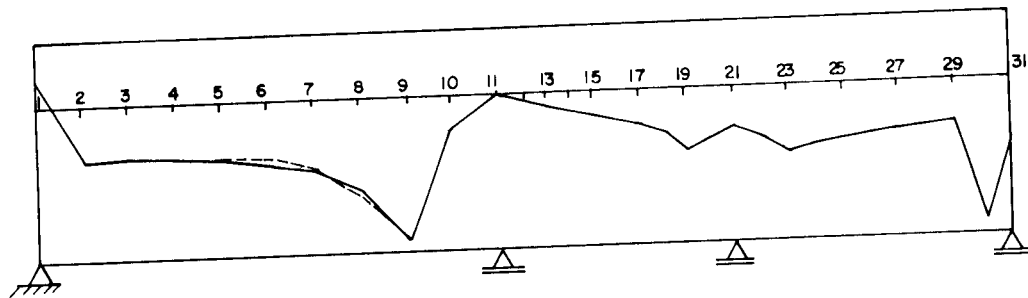


B.3) Posição de [MPI] em relação à região ótima (com perdas) (com perdas)



B.4) Traçado do cabo resultante e intensidade da força de protensão

— SEM INFLUÊNCIA DAS PERDAS  
 - - - COM INFLUÊNCIA DAS PERDAS



### 5.3 - COMENTÁRIOS

No exemplo 1, verifica-se uma ligeira diferença de valores numéricos entre as seções 1 e 31, justamente nas seções onde a interpolação dada na expressão (3.7) não foi possível ser feita. De uma certa maneira isso é compreensível porque todo o "ajuste" provocado pela expressão (3.7) foi concentrado na variação de  $\{MP_1\}$  e  $\{MP_{31}\}$ . No exemplo 2, tal fato resultou numa brusca variação do diagrama de MP (ver A.2) junto a seção 1. Nesse mesmo exemplo pode-se notar que o algoritmo usado na interpolação para obtenção de  $\{MP\}$  funciona mesmo em condições bastante críticas.

Outro fato, notado em todos os exemplos estudados (10 exemplos), é que a posição da seção crítica não foi alterada quando se introduziu o efeito das perdas de protensão na análise. Também o traçado ótimo do cabo, praticamente não se alterou ao se introduzir o efeito das perdas de protensão. Isso confirma o procedimento usual de diversos projetistas que otimizam o traçado do cabo resultante com força de protensão constante para depois, com ele, calcular o efeito das perdas variando somente a força de protensão.

É interessante também notar que os traçados do cabo resultante, para análise com interrupção de cabos, em ambos os exemplos, é construtivamente inviável. Isso foi motivado pela condição imposta de se adotar sempre o menor valor de P para cada seção. Do ponto de vista prático, para que esse algoritmo possa ser usado em projetos, é conveniente que o processamento pare ao se obter a curva  $\{MPI\}$  e o intervalo econômico máximo e mínimo da força de protensão em cada seção. Com essas duas informações o calculista tem condições de, respeitando disposições construtivas, chegar a traçados realmente econômicos. De outra forma, seria interessante direcionar algumas futuras pesquisas no sentido de automatizar esse procedimento, de maneira a que as soluções apresentadas pelo computador sejam construtivamente viáveis.

## 6. CONCLUSÃO

### 6.1 - CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O PROCESSO

Os algoritmos desenvolvidos nesse trabalho foram testados em diversos exemplos de vigas contínuas com excelentes resultados. Entretanto fica uma pergunta: será que o processo empregado conduz necessariamente a um traçado de cabos com taxa de armadura mínima? Seguramente a resposta é não, mas por outro lado pode-se afirmar que a solução a que o processo conduz é muito próxima da ótima. Isso pode ser entendido, no caso de vigas com cabos contínuos, analisando-se o critério de otimização da curva-momento {MP} adotado no item 3.3.2. Nesta fase do processo, utilizou-se um coeficiente  $0 < k < 1$  de maneira a provocar um efeito de "achatamento" máximo em {MP}, mantendo-a ainda no interior do fuso limite. Mas essa não é a única maneira de se promover a redução de flechas de {MP}, embora a mais simples. Pode-se empregar, conjuntamente, a adição de curvas-momento com o auxílio da matriz [MI], de maneira a se obter valores ainda menores de k. Esses procedimentos foram desenvolvidos durante a pesquisa e a seguir abandonados, pelo fato de melhorarem em muito pouco os resultados já obtidos e em contrapartida aumentarem muito o esforço computacional necessário à análise. Vários testes foram feitos e em nenhum deles foram obtidos valores superiores a 5% na redução da taxa de armadura, elevando por outro lado para em torno ~3 horas, processamentos que duravam por volta de 15 minutos. Optou-se então por um processamento mais rápido, acreditando-se que diferenças menores que 5% na taxa de armadura são insignificantes, para o uso deste processo em projetos de engenharia.

No caso de vigas com cabos interrompidos, a "otimização" de {MP} é feita através do processo de mínimos quadrados, aproximando-a ao máximo da curva {MP24}. Esse procedimento realmente conduz à melhor alternativa para a cur

va [MP], entretanto a aplicação do processo dos mínimos quadrados na obtenção de [MPI] não conduz necessariamente à solução ótima. Isso pode ser visto com facilidade no exemplo 2, item 5. Nota-se, neste exemplo, que a curva [MPI] não ficou inteiramente dentro da região ótima sendo ainda possível fazer nova transformação linear para colocar [MPI] nessa região. Isso pode acontecer quando a região ótima tiver contrições muito grandes em determinados pontos ao longo da viga, uma vez que o algoritmo proposto conduz a uma solução que leva em conta a tendência da região ótima como um todo, desprezando-se efeitos localizados. Mesmo assim, os resultados obtidos com esse algoritmo são bastante próximos da solução ótima, quando não a própria.

## 6.2 - CONTRIBUIÇÕES QUE SE PRETENDEU DAR COM ESTE TRABALHO

Algumas considerações se fazem necessárias a respeito das contribuições alcançadas com este trabalho. A primeira delas refere-se ao fato de que no fundo não se propôs um novo processo de cálculo de traçado de cabos, mas tão somente a aplicação mais intensa da linguagem matricial a processos já existentes, residindo aí sua maior contribuição. A aplicação dessa linguagem, já bastante utilizada em outros ramos da engenharia estrutural, permitiu uma visualização e uma abordagem mais ampla do problema da otimização, fazendo com que se vencessem etapas até então de difícil transposição. Alguns estudos já iniciados, para a aplicação dessa mesma linguagem na otimização de pórticos e grelhas pretendidos, sugerem a possibilidade de que outras etapas mais difíceis poderão ser vencidas, mesmo em estruturas mais complexas como placas e cascas.

A segunda contribuição que se pretendeu dar foi decorrente de contatos feitos com alguns projetistas do Rio de Janeiro e de São Paulo para se verificar como eram feitos os projetos de pontes pretendidas e quais instrumentos de cálculo eram por eles utilizados. Na sua maioria, dispunham de programas de computador que faziam verificações de

tensões e verificação de segurança a ruptura por flexão, além de consideração de perdas de protensão por atrito, deformação lenta e retração, para cabos com trajetória e força de protensão fornecidas como dados. Os lançamentos dos cabos a serem analisados era feita através da experiência obtida em outros projetos e na maioria das vezes três tentativas eram suficientes para se obter uma solução, para uma viga de geometria definida. O processo de otimização consistia em se valiar uma ou duas vezes a geometria da estrutura e fazer nova distribuição de cabos, seguido de novos processamentos. Pelo que se pôde verificar, não havia uma noção precisa do quão econômica era uma solução, e a experiência em projetos anteriores era o instrumento de decisão. À medida que se queria obter vigas mais econômicas, reduzindo-se também a quantidade de concreto, a forma da viga se tornaria mais esbelta e portanto o fuso limite mais estreito ao longo de toda a viga. Isso dificultava e aumentava o número de tentativas para se obter uma solução. Evidenciou-se então, a utilidade de um processo que, uma vez fornecida a geometria da viga, conduzisse a uma solução de lançamento de cabos com taxa de armadura mínima. É claro que essa condição, por si, não garantia uma estrutura econômica, pois outros fatores de custo deveriam também ser considerados, mas seria um instrumento útil para um projetista na procura iterativa de uma solução geral ótima, onde esses fatores fossem considerados em cada iteração. Esse processo deveria também ser de possível utilização em micro-computadores de baixo custo, para ter o seu uso acessível a maioria dos profissionais. Esse foi um dos principais objetivos que se pretendeu com o presente trabalho. O algoritmo obtido foi desenvolvido para micro-computadores pessoais de 64 Kbytes de memória, que necessitam somente de uma unidade de "drive" de 5 1/4", processamento sob sistema operacional CP/M. Em micros desse porte é possível analisar até 50 seções de uma viga de geometria qualquer, com um tempo médio de processamento da ordem de 15 minutos.



BIBLIOGRAFIA

- 1 - ABNT: NB-166. Cálculo e execução de obras de concreto protendido, 1962
- 2 - AGOSTINI, L.R.S. Contribuição à otimização do traçado de cabos de vigas contínuas protendidas. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, 1974. 169p. (Dissertação de Mestrado).
- 3 - ASSAN, A.E. Contribuição ao cálculo automático de vigas contínuas protendidas. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, 1974. 169p. (Dissertação de Mestrado).
- 1 ④ - CHAUSSIN, M. Béton précontraint: poutres continues coulés en place a cables filants. Paris, Institut Technique Batiment et des Travaux Publics, s.d. 51p. (Apostila).
- 2 ⑤ - GERE, J.M. & WEAVER, W. Análise de estruturas reticuladas. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1981. 443p.
- 6 - GUYON, Y. Béton précontraint: étude théorique et expérimentale. Paris, Eyrolles, 1958. 817 p. (Constructions hyperstatiques).
- 7 - JOHANNSON, J. Diseño y cálculo de estructuras pretensadas. Barcelona, Marcombo, 1975. 581-p.
- 3 ⑧ - JORGE, F.A. Contribuição ao cálculo do traçado econômico de cabos de pretensão em vigas contínuas. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, 1983. 213p. (Dissertação de Mestrado).

- 9 - LACROIX, & FUENTES, A. Hormiçon pretensado. Barce-  
lona, ETA, 1978. 381 p.
- 4 ⑩ - LEONHARDT, F. Construções de concreto. Rio de Ja-  
neiro, Interciência, 1983. V.5; 315p. (Concreto  
protendido).
- 5 ⑪ - LIN, T.Y. Design of prestressed concrete structures.  
2. ed. Nova York, John Wiley & Sons, s.d. . .  
613 p.
- 12 - SANTOS, L.M. Cálculo de concreto armado. São Paulo,  
Edgard Blücher, 1977. V. 1.
- 13 - MONTANARI, I. Protensão em vigas com torção. São  
Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, 1980.  
176 p. (Tese de Livre-Docência).
- 14 - MURDOCH, D.C. Álgebra linear. Rio de Janeiro, Li-  
vros técnicos e científicos, 1972. 310 p.
- 15 - TAKEYA, T. Concreto protendido. São Carlos, Escola  
de Engenharia de São Carlos, 1984. (Perdas de pro-  
tensão; notas de aula).

## A N E X O I

Neste Anexo são resumidos os processos de cálculo das perdas de protensão utilizadas no programa de computador, cujo efeito no processo de otimização foi discutido no capítulo 4. Deve-se <sup>se</sup>reçarlar que o processo de cálculo das perdas não interfere nos algoritmos de otimização e este Anexo tem o único objetivo de subsidiar a análise dos exemplos do capítulo 5. Toda a explicação constante nesse anexo é uma adaptação das notas de aula da disciplina SET-113 Concreto Protendido, feitas pelo Prof. Toshiaki Takeya [15].

### I.1 - Perdas por atrito entre a armadura de protensão e a bainha

Nos sistemas de protensão com aderência posterior aparecem impedimentos na movimentação do cabo no interior da bainha, durante a protensão, provocados pelo atrito. Mesmo em trechos teoricamente retos o atrito se manifesta devido a ondulações da bainha. No programa descrito no Anexo II foi considerado armadura protendida nos dois extremos com forças de igual intensidade. Dessa maneira, seja <sup>m</sup>duas seções e e <sup>W</sup>com ancoragens ativas e força de protensão  $P$  de um cabo poligonal, conforme Fig. I.1. Chamando-se de  $\mu$  o coeficiente de atrito entre cabo e bainha e de  $\beta$  o coeficiente relativo as ondulações parasitas, pode-se definir o parâmetro  $S_T$  dado pela equação (I.1).

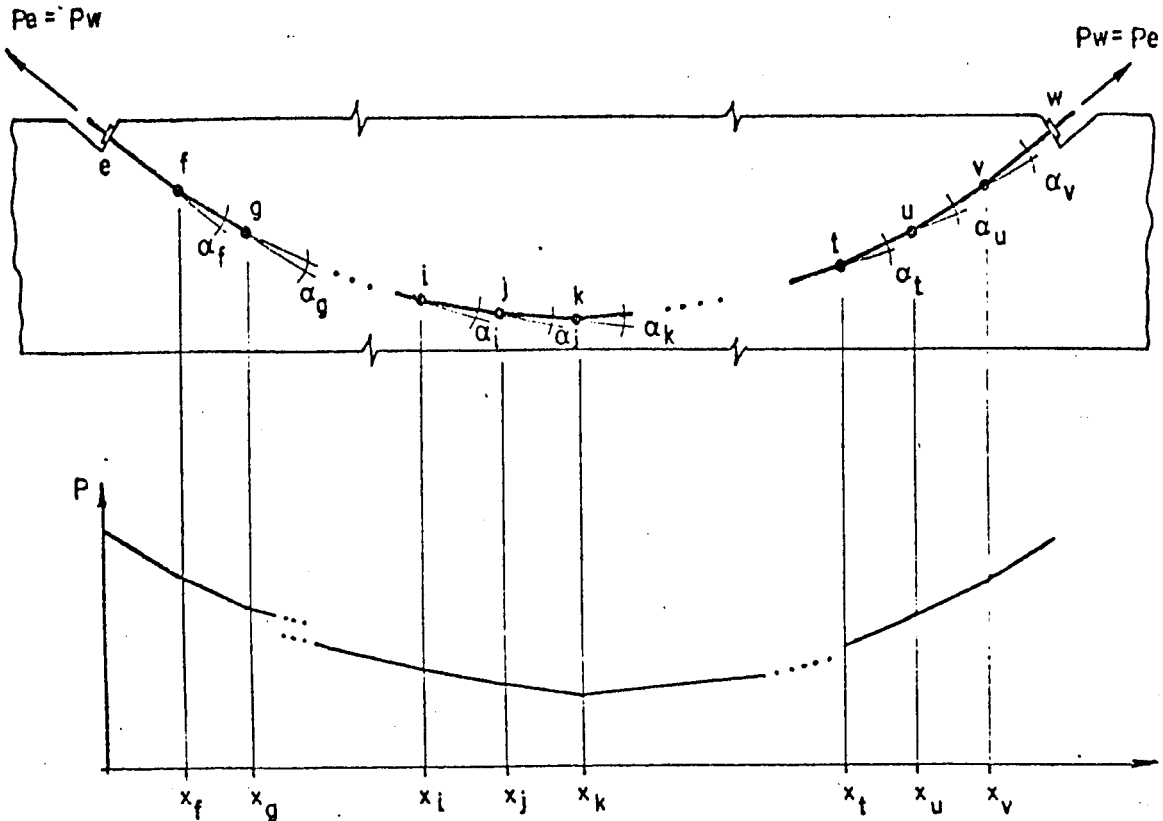


Fig. I.1 - Representação de cabo poligonal com duas ancoragens ativas.

$$S_T = -\mu \cdot \sum_{i=f}^v \alpha_i - \beta \cdot (x_v - x_e) \quad (I.1)$$

A força de protensão em qualquer seção j do cabo foi considerada igual a:

$$P_j = P_e \cdot e^{S(j)} \quad (I.2)$$

onde:

$$S(j) = -\mu \cdot \sum_{i=f}^j \alpha_i - \beta \cdot (x_j - x_f) \quad \text{se } S(j) \geq S_T/2 \quad (I.3)$$

ou

$$S(j) = S_T + \mu \cdot \sum_{i=f}^j \alpha_i - \beta \cdot (x_j - x_f) \quad \text{se } S(j) < S_T/2 \quad (I.4)$$

$< S_T/2$

$> S_T/2$

2.

Segundo o item 2.5.1 da NB-116, podem ser adotados os seguintes valores para os coeficientes  $\mu$  e  $\beta$ :

$$\mu = 0,30 \quad \text{e} \quad \beta = 0,004 \text{ rad/metro} \quad (I.5)$$

## I.2 - Perdas que ocorrem ao longo do tempo

### A) Deformação lenta do concreto

A deformação lenta do concreto é um fenômeno que depende do carregamento e se processa indefinidamente durante a vida útil da estrutura. Dessa maneira, são considerados somente carregamentos de natureza duradoura no cálculo da deformação lenta, tais como peso próprio da estrutura, força de protensão, etc., admitindo-se que cargas acidentais e móveis, de natureza transitória, não influenciam esse fenômeno.

Segundo o item 2.2 da NB-116, a deformação lenta pode ser calculada pela expressão I.6:

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_0 \cdot \phi(t) \quad (I.6)$$

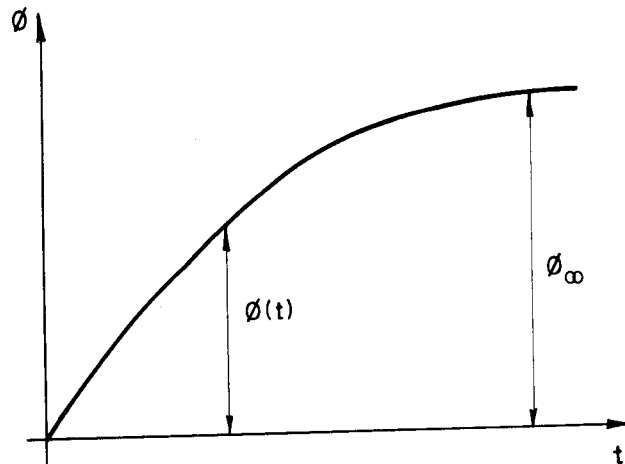
onde:

$\epsilon_0$  = deformação imediata no concreto  $\epsilon_{cc} = \sigma_c / E_c$

$\phi(t)$  = coeficiente de deformação lenta que depende do tempo  $t$  de aplicação da carga

O coeficiente de deformação lenta tende assintoticamente para um valor  $\phi_\infty$  após um tempo infinito.

O valor  $\phi_\infty$  é chamado de coeficiente de deformação lenta final e é função da idade  $t_0$  do concreto na data do carregamento, e das condições de exposição da peça.



$$\phi_{\infty} = \phi_a \frac{7+3t_o}{4+6t_o} \quad (t_o \text{ em meses}) \quad (\text{I.7})$$

onde:

$$\phi_a = \frac{1-U_r}{3-2 \cdot U_r}$$

sendo  $U_r$  a unidade relativa do ar. O valor de  $\phi_a$  deve ainda ser corrigido, multiplicando-se por:

0,9 se a menor dimensão da peça for maior que 70cm

0,8 se a menor dimensão da peça for maior que 140cm

#### B) Retração do concreto

A retração do concreto está relacionada a lenta perda de água que a estrutura sofre ao longo de sua vida útil, iniciando-se logo após a pega do cimento. A interrupção do fenômeno só acontece quando a estrutura estiver imersa em ambiente atmosférico saturado. Segundo o item 2.3

da NB-116, o valor de retração do concreto após um tempo in finito pode ser calculado pela expressão I.8:

$$\epsilon_{cs,\infty} = (1-U_r)\% \quad (I.8)$$

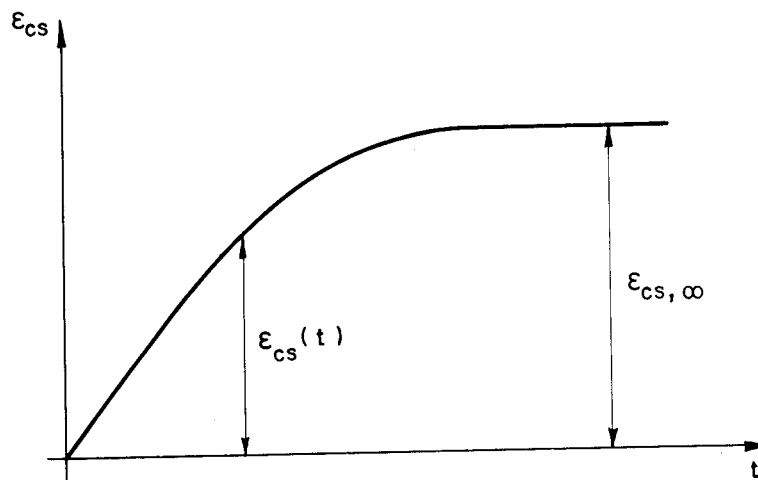
que deve ser corrigido, multiplicando-se por:

0,9 se a menor dimensão da peça for maior que 20cm

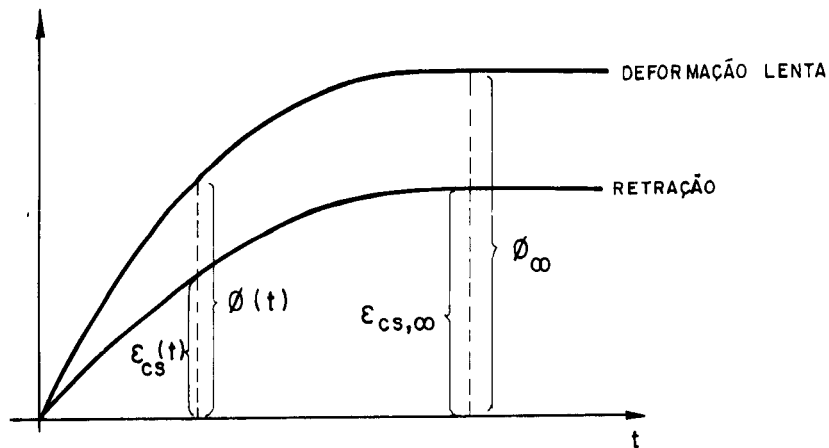
0,8 se a menor dimensão da peça for maior que 70cm

O valor da retração numa estrutura com idade t po de ser calculado com a expressão I.9:

$$\epsilon_{cs}(t) = \frac{(1,5+t) \cdot t}{1+4t+t^2} \cdot \epsilon_{cs,\infty} \quad (t \text{ em meses}) \quad (I.9)$$



Pode-se admitir que as curvas  $\phi(t)$  e  $\epsilon_{cs}(t)$  são afins.



Portanto:

$$\frac{\phi(t)}{\epsilon_{cs}(t)} = \frac{\phi_{\infty}}{\epsilon_{cs,\infty}} = \text{cte} \quad (\text{I.10})$$

Podendo-se escrever então:

$$\phi(t) = \frac{(1,5+t) \cdot t}{1+4t+t^2} \cdot \phi_{\infty} \quad (\text{I.11})$$

### C) Relaxação do aço

Para efeito do programa, adotou-se o item 2.4 da NB-116 onde a perda de protensão devido a relaxação do aço pode ser adotada como sendo da ordem de  $600 \text{ kgf/cm}^2$ , no caso de armadura formada por barras ou fios paralelos.

### I.3 - Determinação das perdas de protensão por retração e deformação lenta do concreto

A retração e a deformação lenta do concreto encurtam o concreto provocando com isso diminuição da força de protensão. No caso de peças solicitadas excêntrica por forças normais, a perda de protensão X num certo instante,



pode ser expressa pela equação diferencial dada pela expressão (I.12).

$$\frac{-dX}{E_p A_p} = - \frac{\epsilon_{cs}}{\phi} d\phi + \left[ (P_o - X) \cdot \left( \frac{1}{A_c} + \frac{e_p \cdot y}{J_c} \right) + \frac{M_g}{J_c} \cdot y \right] \frac{d\phi}{E_c} - \left( \frac{1}{A_c} + \frac{e_p \cdot y}{J_c} \right) \frac{dX}{E_c} \quad (I.12)$$

onde:

$-\frac{dX}{E_p A_p}$  Deformação na armadura de protensão

$-\frac{\epsilon_{cs}}{\phi} d\phi$  Deformação devido à retração

$\left[ (P_o - X) \cdot \left( \frac{1}{A_c} + \frac{e_p \cdot y}{J_c} \right) + \frac{M_g}{J_c} \cdot y \right] \frac{d\phi}{E_c}$  Deformação devido à deformação lenta do concreto

$\left( \frac{1}{A_c} + \frac{e_p \cdot y}{J_c} \right) dX$  Deformação (recuperação) devido à variação da força de protensão

sendo:

$E_p$  = módulo de elasticidade do aço de protensão

$A_p$  = área da seção de armadura de protensão

$P_o$  = força de protensão antes de acontecerem as perdas

$A_c$  = área da seção transversal da viga

$J_c$  = momento de inércia à flexão da seção transversal

$E_c$  = módulo de elasticidade do concreto

$e_p$  = excentricidade da força de protensão, referida ao baricentro, já incluído o efeito hiperestático

$y$  = posição do cabo, referido ao servicentro

$M_g$  = momento provocado pelas cargas permanentes

A solução da equação I.12 pode ser dada pela expressão I.13:

$$X = \left( \frac{\epsilon_{cs}}{\phi} \cdot E_c \cdot A_c^* + P_o + N^* \right) \cdot (1 - e^{-\alpha \phi}) \quad (I.13)$$

onde:

$$A_c^* = \frac{1}{\frac{1}{A_c} + \frac{e_p \cdot y}{J_c}} \quad (I.14)$$

$$N^* = A_c^* \cdot \frac{M_g}{J_c} \cdot y \quad (I.15)$$

$$\alpha_e = \frac{E_p}{E_c} \quad (I.16)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_e \cdot A_p}{A_c + \alpha_e \cdot A_p} \quad (I.17)$$

Ao se montar a equação I.12 comete-se um erro, que já se verificou ser de pequena importância, no cálculo da deformação (recuperação) devido a variação da força de protensão. Isso pode ser mostrado calculando-se a tensão no concreto junto ao cabo

$$d\sigma_c = - \frac{dM_p}{J_c} \cdot y + \frac{dX}{A_c} \quad (\text{I.18})$$

Assumiu-se que:

$$dM_p \approx -e_p \cdot dX \quad (\text{I.19})$$

ou seja, que  $e_p$  permanece constante durante o fenômeno de perdas, o que na realidade não acontece.

A N E X O II

Neste anexo é explicado resumidamente o conjunto de programas que foram feitos para a aplicação do processo de cálculo desenvolvido neste trabalho, bem como as explicações para sua utilização.

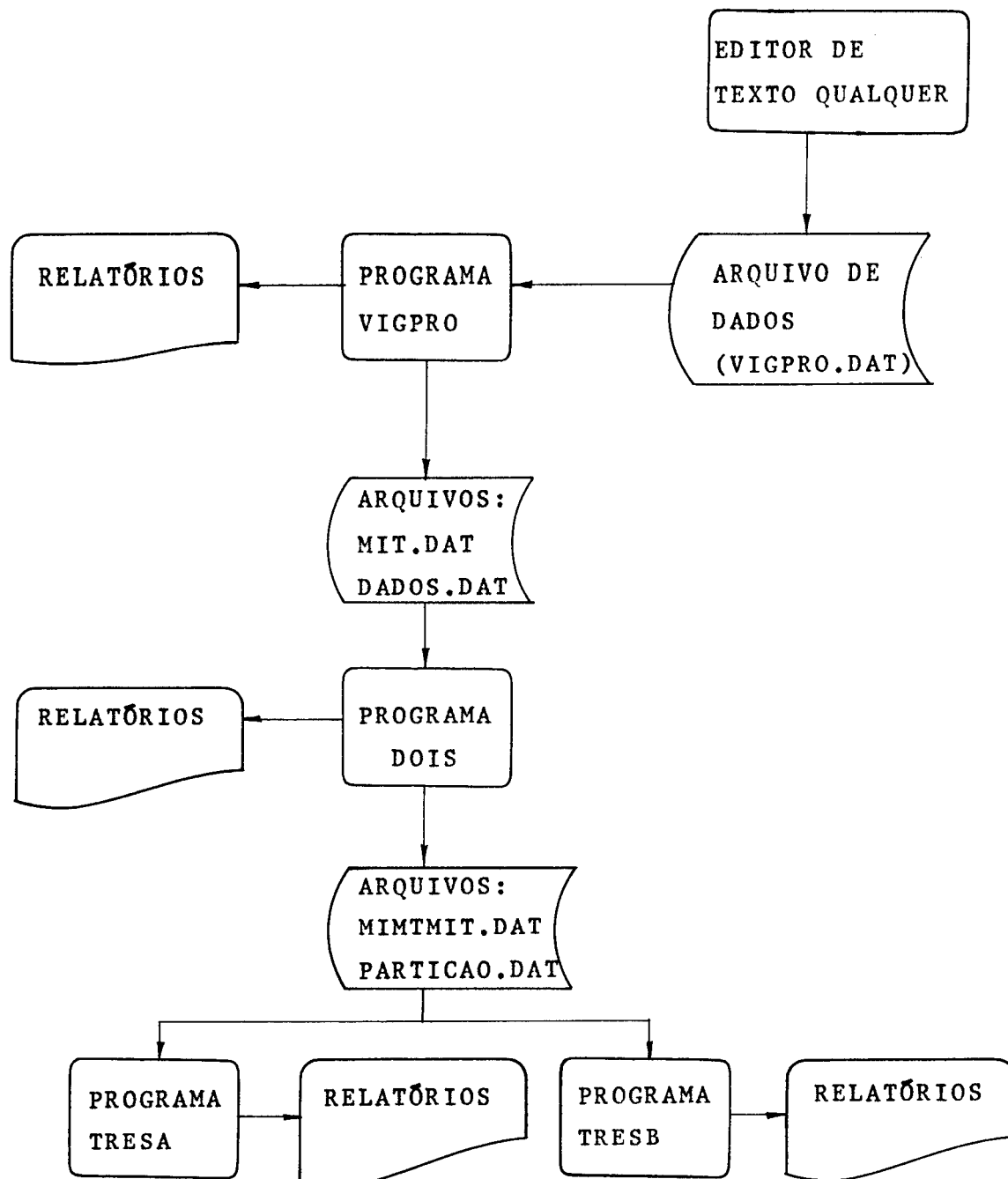
II.1 - Os Programas

Este trabalho foi voltado para aplicação em micro-computadores com memória de 64 Kbytes, e com isso foi necessário segmentar o algoritmo em 4 programas distintos mas devidamente vinculados, conforme o fluxograma seguinte.

O programa VIGPRO consulta o arquivo de dados (VIGPRO.DAT) e imprime seu conteúdo para conferências, monta a matriz [MI] da viga que tiver sendo analisada, gravando a seguir as informações processadas nos arquivos MIT.DAT e DADOS.DAT. Este programa é uma adaptação do programa desenvolvido por GERE E WEAVER [5] para cálculo de vigas contínuas por processo matricial.

O programa DOIS lê os arquivos montados pelo programa VIGPRO e monta as matrizes [MT] e [MIT] gravando em seguida os arquivos MIMTMIT.DAT e PARTICAO.DAT. Processa a interpolação dos parâmetros geométricos que, no arquivo de dados são referidos às barras e no programa são referidos aos nós.

O programa TRESA lê os arquivos gerados pelo programa DOIS e faz a otimização do traçado de cabos para cabos contínuos ao longo da viga, com e sem perdas de proteção, imprimindo a seguir os resultados dessa análise.



O programa TRESB lê os arquivos gerados pelo programa DOIS e faz a otimização do traçado de cabos para cabos interrompidos ao longo da viga, com e sem perdas de protensão, imprimindo a seguir os resultados dessa análise.

Foi desenvolvido também os programas TRESA e TRESB que simplesmente complementam o processamento do programa TRESB sugerindo uma distribuição de cabos para as curvas {P} e {y} obtidas, tomando-se como critério para interrupção o

máximo comprimento necessário por cabo. Esses programas não tem utilizada prática em si porque não levam em conta consi derações construtivas, mas foram colocados para ilustrar que é possível complementar a análise com programas que chegam a especificar cada cabo individualmente. Do ponto de vista de aplicação em projetos, a análise deve parar nos programas TRESA e TRESB.

## II.2 - Montagem do Arquivo de Dados

O arquivo de dados (VIGPRO.DAT) pode ser montado utilizando-se um editor de texto qualquer e deve obedecer a seguinte sequência:

1ª linha: N (Formato I5)

N é uma variável que define em que periférico deve-se proceder os relatórios (N=2, impressora e N=1, video).

2ª linha: TÍTULO (Formato 80A1)

Linha para colocação de caracteres alta-numéricas (até 80 caracteres) que indiquem o nome da estrutura.

3ª linha: UNIDADES (Formato 80A1)

Linha para colocação de caracteres alta-numéricas (até 80 caracteres) que indiquem o sistema de unidades utilizado.

4ª linha: M, NRJ, NMOLA, CBR, ITIPO, TOL, INTE (Formato 3I5, F10.0, I5, F10.0, I5)

M - Número de barras (I5)  
 NRJ - Número de nós com restrições (I5)  
 NMOLA - Número de nós com apoios elásticos (I5)  
 CBR - Cobrimento construtivo mínimo da armadura de proten são (F10.0)

- ITIPO - Tipo de análise requerida (= 1 cabos contínuos, = 2 cabos interrompidos, = 3 ambas) (I5)
- TOL - Tolerância máxima a ser observada no teste entre iterações (F10.0)
- INTE - Número máximo de iterações (I5)

5ª linha: FCK, FTK, UR, TO, T6 (Formato 5F10.0)

- FCK - Resistência característica do concreto à compressão (positivo)
- FTK - Resistência característica do concreto à tração (positivo)
- UR - Unidade relativa média onde se encontra a viga, para cálculo das perdas por deformação lenta e retração do concreto
- TO - Idade do concreto em meses na data do carregamento.
- TG - Coeficiente de correção de  $\phi_a$  (0,9 se a menor dimensão da peça for maior que 70cm, 0,8 se a menor dimensão da peça for maior que 140cm, 1,0 caso contrário).

6ª linha: CA, BETA, AP, EP, FY, FLU (Formato 6F10.0)

- CA - Coeficiente de atrito entre cabo de protensão e bainha
- BETA- Coeficiente relativo as ondulações parasitas (Graus/Unid.Comprimento)
- AP - Área da seção transversal de um cabo de protensão
- EP - Módulo de elasticidade longitudinal da armadura de protensão.
- FY - Capacidade resistente de um cabo
- FLU - Tensão de perda de protensão na armadura por fluência do aço

Próximas "M" linhas I, L(I), ÁREA(I), I2(I), HI(I), HS(I), YR(I), E(I) (formato I5, 7F10.0)

- I - Nº da barra
- L(I)- Comprimento da barra I

- AREA(I) - Área da seção transversal da barra I  
 I2(I) - Momento de inércia à flexão da barra I  
 HI(I) - Distância entre o eixo baricêntrico e a fibra inferior mais afastada, da seção I (sem sinal).  
 HS(I) - Distância entre o eixo baricêntrico e a fibra superior mais afastada, da seção I (sem sinal).  
 YR(I) - distância entre o baricentro da seção I e uma cota referencial qualquer (para análise com inércia variável)  
 E(I) - módulo de elasticidade do material que constitui a barra I

Próximas "NRJ" linhas: I, RL(2\*I-1), RL(2\*I) (Formato 3I5)

- I - Nº do nó restrito  
 RL(2\*I-1) - Restrição a deslocamento transversal do nó I  
 (0 = livre, 1 = impedido)  
 RL(2\*I) - Restrição a deslocamento radial do nó I (0 = livre, 1 = impedido)

Próximas "M+1" linhas: I, MMAX(I), MMIN(I), MG(I) (Formato I5, 3F10.0)

- I - Número do nó  
 MMAX(I) - Máximo momento que atua na seção I  
 MMIN(I) - Mínimo momento que atua na seção I  
 MG(I) - Momento proveniente das cargas permanentes que atua na seção I



II.3 - Listagem dos Programas

```

1:      PROGRAM VIGPRO
2:      DIMENSION E(32),SM(4,4),S(64,64),HI(32),HS(32),YR(32),AREA(32),
3:      1A(62),AC(62),AR(62),D(62)
4:      REAL IZ(32),MI(32,32),L(32),MOLA(62),MMAX(32),MMIN(32),MG(32)
5:      INTEGER CRL(62),RL(62),TC
6:      LOGICAL TITULO(40)
7:      DATA S,A,AC,AR,D,MI/5368*0./,CRL,RL/124*0/,AREA/32*0./
8:      DATA MOLA/62*0./,M,NRJ,NR,NMOLA/4*0/,NCV/1/
9:      CALL OPEN(6,'VIGPRO DAT',0)
10:     CALL OPEN(7,'MIT DAT',0)
11:     CALL OPEN(8,'DADOS DAT',0)
12:     READ(6,2)IOUT,IMPR
13:     2  FORMAT(2I5)
14:     IF(IOUT.GT.5)IOUT=1
15:     READ(6,3)(TITG(I),I=1,40)
16:     3  FORMAT(1X,40A1)
17:     WRITE(1,10)
18:     WRITE(IOUT,5)(TITG(I),I=1,40)
19:     5  FORMAT(/,5X,'UNIVERSIDADE DE SAO PAULO',/,5X,
20:     1'ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS',/,5X,'DEPARTAMENTO DE',
21:     2' ESTRUTURAS',/,5X,'TRACADO ECONOMICO DE CABOS EM VIGAS',
22:     3' CONTINUAS PROTENDIDAS',/,5X,'LUIZ HENRIQUE CEOTTO',/,5X,
23:     440A1,/)
24:     10  FORMAT(' ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS - USP',/,
25:     1' PROGRAMA PROT          VERSAO OUT/84',/,
26:     2' RELATORIO DE PROCESSAMENTO :',/)
27:     READ(6,12)(TITULO(I),I=1,80)
28:     12  FORMAT(1X,80A1)
29:     WRITE(1,14)(TITULO(I),I=1,80)
30:     14  FORMAT(1X,80A1,/, ' -entrada de dados da geometria',/)
31:     READ(6,20)M,NRJ,NMOLA,CBR,ITIPO,TOL,INTE
32:     20  FORMAT(3I5,F10.0,I5,F10.0,I5)
33:     READ(6,21)FCK,FTK,UR,T0,TG
34:     21  FORMAT(5F10.0)
35:     READ(6,22)CA,BETA,AP,EP,FY,FLU
36:     22  FORMAT(6F10.0)
37:     NJ=M+1
38:     26  DO 35 I=1,M
39:     35  READ(6,41)J,L(J),AREA(J),IZ(J),HI(J),HS(J),YR(J),E(J)
40:     41  FORMAT(I5,7F10.0)
41:     IF(E(1).EQ.0.)E(1)=100.
42:     K=1
43:     NJ=M+1
44:     DO 45 I=2,M
45:     IF(E(I))44,44,45
46:     E(I)=E(K)
47:     45  K=I
48:     K=1
49:     DO 49 I=2,M
50:     IF(IZ(I))48,48,49
51:     IZ(I)=IZ(K)
52:     49  K=I
53:     K=1
54:     DO 2000 I=2,M
55:     IF(HI(I))2001,2001,2000
56:     2001 HI(I)=HI(K)
57:     2000 K=I
58:     K=1
59:     DO 2005 I=2,M
60:     IF(HS(I))2006,2006,2005

```

```

61: 2006 HS(I)=HS(K)
62: 2005 K=I
63:      K=1
64:      DO 2010 I=2,M
65:      IF(YR(I))2011,2011,2010
66: 2011 YR(I)=YR(K)
67: 2010 K=I
68:      K=1
69:      DO 2302 I=2,M
70:      IF(A(I))2301,2301,2302
71: 2301 AREA(I)=AREA(K)
72: 2302 K=I
73:      IF(NMOLA)51,51,52
74: 52 DO 42 I=1,NMOLA
75: 42 READ(6,50)J,MOLA(2*J-1),MOLA(2*J)
76: 50 FORMAT(15,2F10.0)
77: 51 DO 55 I=1,NRJ
78:      READ(6,60)J,RL(2*J-1),RL(2*J)
79: 60 FORMAT(315)
80: 55 NR=NR+RL(2*J-1)+RL(2*J)
81:      DO 2100 I=1,NJ
82: 2100 READ(6,2200)J,MMAX(J),MMIN(J),MG(J)
83: 2200 FORMAT(15,3F10.0)
84:      WRITE(1,61)
85: 61 FORMAT(' -fim da entrada de dados da geometria')
86:      NJ=M+1
87:      N=2*NJ-NR
88:      IF(TG.EQ.0.)TG=1.
89:      CC=FY*AP
90:      WRITE(IOUT,71)(TITULO(I),I=1,80)
91: 71 FORMAT(///,5X,80A1)
92:      WRITE(IOUT,1072)M,NRJ,NMOLA,CBR,FCK,FTK,CA,BETA,FY,AP,CC,EP,
93:      1FLU,T0,UR,TG,TOL,INTE
94: 1072 FORMAT(/,5X,'NUMERO DE BARRAS.....'
95:      *I4,/,5X,
96:      1'NUMERO DE NOS COM APOIO RIGIDO.....',I4,/,5X,
97:      2'NUMERO DE NOS COM APOIO ELASTICO.....',I4,/,5X,
98:      3'COBRIMENTO DO CABO.....',F15.3,/,5X,
99:      4'FCK.....',F15.3,/,5X,
100:      5'FTK.....',F15.3,/,5X,
101:      6'COEFICIENTE DE ATRITO.....',F15.3,/,5X,
102:      7'ONDULACAO PARASITA.....',F15.3,/,5X,
103:      8'FYF.....',F15.3,/,5X,
104:      9'SECAO TRANSVERSAL DE UM CABO.....',F15.3,/,5X,
105:      *CAPACIDADE DE UM CABO.....',F15.3,/,5X,
106:      1'MODULO ELAST. ACO PROTENSAO.....',F15.3,/,5X,
107:      2'PERDA POR RELAXACAO DO ACO.....',F15.3,/,5X,
108:      3'T0 (meses).....',F15.3,/,5X,
109:      4'UMIDADE RELATIVA MEDIA.....',F15.3,/,5X,
110:      5'COEF. CORRECAO DIM. MIN. VIGA.....',F15.3,/,5X,
111:      6'TOLERANCIA.....',F15.3,/,5X,
112:      7'NUMERO MAXIMO DE ITERACOES.....',I4,///,
113:      85X,'PROPRIEDADES DAS BARRAS',/,5X,
114:      9'BAR',5X,' COMP',6X,' AREA',2X,' MOM INERCIA',6X,' HI',6X,' HS',
115:      *6X,' YR',2X,' MOD ELAST',/)
116:      BETA=BETA/57.295827
117:      DO 73 I=1,M
118:      WRITE(IOUT,72)I,L(I),AREA(I),IZ(I),HI(I),HS(I),YR(I),E(I)
119: 72 FORMAT(6X,I2,1X,F9.2,1X,F9.2,1X,E12.6,1X,F7.2,1X,F7.2,1X,F7.2,1X
120:      1,E12.6)

```

```

121: 73   CONTINUE
122:     WRITE(IOUT,74)
123: 74   FORMAT(///,5X,'RESTRICOES NODAIS',//,5X,'NO',22X,'COORD.X',17X,
124: 1'RESTR.Y',14X,'RESRIG',/)
125:     COMP=0.
126:     DO 76 I=1,NJ
127:     WRITE(IOUT,75)I,COMP,RL(2*I-1),RL(2*I)
128: 75   FORMAT(5X,I2,20X,F9.2,20X,I1,20X,I1)
129:     COMP=COMP+L(I)
130: 76   CONTINUE
131:     IF(NMOLA)85,85,81
132: 81   WRITE(IOUT,82)
133: 82   FORMAT(//,5X,'APOIOS ELASTICOS',//,4X,'NO',10X,'MOLA1',12X,
134: 1'MOLA2',/)
135:     DO 84 J=1,NMOLA
136:     WRITE(IOUT,83)J,MOLA(2*J-1),MOLA(2*J)
137: 83   FORMAT(6X,I2,4X,E13.7,4X,E13.7)
138: 84   CONTINUE
139: 85   WRITE(IOUT,2300)
140: 2300 FORMAT(///,5X,'ENVOLTORIA DE MOMENTOS SOLICITANTES',//,
141: 15X,'NO',14X,'MMAX',14X,'MMIN',14X,' MG',/)
142:     DO 2400 I=1,NJ
143: 2400 WRITE(IOUT,2450)I,MMAX(I),MMIN(I),MG(I)
144: 2450 FORMAT(5X,I2,5X,F13.3,5X,F13.3,5X,F13.3)
145:     WRITE(1,86)
146: 86   FORMAT(/,' -montagem da matriz de rigidez')
147:     CRL(1)=RL(1)
148:     KU=2*NJ
149:     DO 77 K=2,KU
150: 77   CRL(K)=CRL(K-1)+RL(K)
151:     DO 261 I=1,M
152:     J1=2*I-1
153:     J2=2*I
154:     K1=2*I+1
155:     K2=2*I+2
156:     SCM1=4.*E(I)*IZ(I)/L(I)
157:     SCM2=1.5*SCM1/L(I)
158:     SCM3=2.*SCM2/L(I)
159:     IF(RL(J1))90,80,90
160: 80   J1=J1-CRL(J1)
161:     GO TO 100
162: 90   J1=N+CRL(J1)
163: 100  IF(RL(J2))120,110,120
164: 110  J2=J2-CRL(J2)
165:     GO TO 130
166: 120  J2=N+CRL(J2)
167: 130  IF(RL(K1))150,140,150
168: 140  K1=K1-CRL(K1)
169:     GO TO 160
170: 150  K1=N+CRL(K1)
171: 160  IF(RL(K2))190,170,180
172: 170  K2=K2-CRL(K2)
173:     GO TO 190
174: 180  K2=N+CRL(K2)
175: 190  SM(1,1)=SCM3
176:     SM(3,3)=SM(1,1)
177:     SM(1,3)=-SCM3
178:     SM(3,1)=SM(1,3)
179:     SM(1,2)=SCM2
180:     SM(2,1)=SM(1,2)

```

```

181:      SM(1,4)=SM(2,1)
182:      SM(4,1)=SM(1,4)
183:      SM(2,3)=-SCM2
184:      SM(3,2)=SM(2,3)
185:      SM(3,4)=SM(2,3)
186:      SM(4,3)=SM(2,3)
187:      SM(2,2)=SCM1
188:      SM(4,4)=SM(2,2)
189:      SM(2,4)=SCM1/2.
190:      SM(4,2)=SM(2,4)
191:      IF(RL(2*I-1))210,200,210
192: 200   S(J1,J1)=S(J1,J1)+SM(1,1)
193:      S(J2,J1)=S(J2,J1)+SM(2,1)
194:      S(K1,J1)=SM(3,1)
195:      S(K2,J1)=SM(4,1)
196: 210   IF(RL(2*I))230,220,230
197: 220   S(J1,J2)=S(J1,J2)+SM(1,2)
198:      S(J2,J2)=S(J2,J2)+SM(2,2)
199:      S(K1,J2)=SM(3,2)
200:      S(K2,J2)=SM(4,2)
201: 230   IF(RL(2*I+1))250,240,250
202: 240   S(J1,K1)=SM(1,3)
203:      S(J2,K1)=SM(2,3)
204:      S(K1,K1)=S(K1,K1)+SM(3,3)
205:      S(K2,K1)=S(K2,K1)+SM(4,3)
206: 250   IF(RL(2*I+2))261,260,261
207: 260   S(J1,K2)=SM(1,4)
208:      S(J2,K2)=SM(2,4)
209:      S(K1,K2)=S(K1,K2)+SM(3,4)
210:      S(K2,K2)=S(K2,K2)+SM(4,4)
211: 261   CONTINUE
212:      IF(NMOLA)269,269,262
213: 262   DO 304 I=1,NJ
214:      J1=2*I-1
215:      J2=2*I
216:      IF(RL(J1))264,263,264
217: 263   J1=J1-CRL(J1)
218:      GO TO 265
219: 264   J1=N+CRL(J1)
220: 265   IF(RL(J2))267,266,267
221: 266   J2=J2-CRL(J2)
222:      GO TO 268
223: 267   J2=N+CRL(J2)
224: 268   IF(RL(2*I-1))302,301,302
225: 301   S(J1,J1)=S(J1,J1)+MOLA(2*I-1)
226: 302   IF(RL(2*I))304,303,304
227: 303   S(J2,J2)=S(J2,J2)+MOLA(2*I)
228: 304   CONTINUE
229: 269   WRITE(1,270)
230: 270   FORMAT(/,' -inicio da inversao')
231:      CALL INVMA(S,N)
232:      WRITE(1,271)
233: 271   FORMAT(/,' -termino da inversao')
234: 1400  WRITE(1,305)
235: 305   FORMAT(/,' -montagem da matriz MI')
236:      DO 1500 JJ=1,NJ
237:      IF(JJ.NE.1)GO TO 310
238:      IF(RL(2).ER.1)GO TO 1450
239:      A(2)=1.
240:      GO TO 492

```

```

241: 310 IF(JJ.NE.NJ)GO TO 360
242: IF(RL(2*NJ).EQ.1)GO TO 1450
243: A(2*NJ)=-1.
244: GO TO 492
245: 360 IF(RL(2*JJ-1).NE.1)GO TO 1460
246: DO 1470 I=1,NJ
247: 1470 MI(I, JJ)=0.
248: GO TO 1450
249: 1460 A(2*JJ-1)=-1.
250: 492 KU=N+NR
251: DO 520 J=1,KU
252: IF(RL(J))510,500,510
253: 500 K=J-CRL(J)
254: GO TO 520
255: 510 K=N+CRL(J)
256: 520 AC(K)=A(J).
257: DO 530 J=1,N
258: DO 530 K=1,N
259: 530 D(J)=D(J)+S(J,K)*AC(K)
260: NU=N+1
261: NV=N+NR
262: DO 531 K=NU,NV
263: AR(K)=-AC(K)
264: DO 531 J=1,N
265: 531 AR(K)=AR(K)+S(K,J)*D(J)
266: J=N+1
267: NU=N+NR
268: DO 560 JX=1,NU
269: JE=NU-JX+1
270: IF(RL(JE))550,540,550
271: 540 J=J-1
272: D(JE)=D(J)
273: GO TO 560
274: 550 D(JE)=0.
275: 560 CONTINUE
276: K=N
277: NU=N+NR
278: DO 590 KE=1,NU
279: IF(RL(KE)-1)580,570,580
280: 570 K=K+1
281: AR(KE)=AR(K)
282: GO TO 590
283: 580 AR(KE)=0.
284: 590 CONTINUE
285: DO 660 I=1,M
286: J1=2*I-1
287: J2=2*I
288: K1=2*I+1
289: K2=2*I+2
290: SCM1=(4.*E(I)*IZ(I))/L(I)
291: SCM2=(1.5*SCM1)/L(I)
292: V2=SCM2*(D(J1)-D(K1))+SCM1*(D(J2)+D(K2)/2.)
293: V4=SCM2*(D(J1)-D(K1))+SCM1*(D(J2)/2.+D(K2))
294: IF(I.EQ.M)GO TO 650
295: MI(I, JJ)=V2
296: GO TO 660
297: 650 MI(I, JJ)=V2
298: MI(I+1, JJ)=-V4
299: 660 CONTINUE
300: DO 740 I=1,62

```

```

301:      A(I)=0.
302:      AC(I)=0.
303:      AR(I)=0.
304: 740    D(I)=0.
305: 1450   NCV=NCV+1
306: 1500   CONTINUE
307:      WRITE(8)HI,HS,YR,MMAX,MMIN,L,IZ,RL,E,M,NJ,NRJ,FCK,FTK,IOUT,CBR,
308: 1AREA,IMPR,CA,BETA,CC,MG,AP,EP,TOL,INTE,UR,TO,FY,FLU,TO,ITIPU
309:      IF(IMPR.EQ.0)GO TO 3201
310:      WRITE(IOUT,3200)
311: 3200   FORMAT(///,5X,'MATRIZ [MIJ]',/)
312:      DO 3000 I=1,NJ
313: 3000   WRITE(IOUT,3100)(MI(I,J),J=1,NJ)
314: 3100   FORMAT(1X,10(012.6,1X))
315: 3201   WRITE(7)MI
316:      WRITE(1,670)
317: 670    FORMAT(//,5X,'FIM DO PROCESSAMENTO DA PARTE UM',/)
318: 1000   ENDFILE 6
319:      CALL FCHAIN('DOIS COM',0)
320:      STOP
321:      END
322:      SUBROUTINE INVMA(A,N)
323:      DIMENSION L(64),M(64),A(64,64)
324:      DO 190 K=1,N
325:      L(K)=K
326:      M(K)=K
327:      PIVO=A(K,K)
328:      DO 20 I=K,N
329:      DO 20 J=K,N
330:      IF (ABS(PIVO)-ABS(A(I,J)))10,20,20
331: 10     PIVO=A(I,J)
332:      L(K)=I
333:      M(K)=J
334: 20     CONTINUE
335:      J=L(K)
336:      IF (J-K)50,50,30
337: 30     DO 40 I=1,N
338:      HELP=-A(K,I)
339:      A(K,I)=A(J,I)
340:      A(J,I)=HELP
341: 40     CONTINUE
342: 50     CONTINUE
343:      I=M(K)
344:      IF (I-K)80,80,60
345: 60     DO 70 J=1,N
346:      HELP=-A(J,K)
347:      A(J,K)=A(J,I)
348:      A(J,I)=HELP
349: 70     CONTINUE
350:      IF (ABS(PIVO)-.00001)90,90,100
351: 90     CONTINUE
352:      WRITE(1,95)
353: 95     FORMAT(4X,'-determinante nulo'/)
354:      RETURN
355: 100    CONTINUE
356:      DO 120 I=1,N
357:      IF (I-K)110,120,110
358: 110    A(I,K)=A(I,K)/(-PIVO)
359: 120    CONTINUE
360:      DO 160 I=1,N

```

```
361:      IF(I-K)130,160,130
362: 130   DO 150 J=1,N
363:      IF(J-K)140,150,140
364: 140   A(I,J)=A(I,K)*A(K,J)+A(I,J)
365: 150   CONTINUE
366: 160   CONTINUE
367:      DO 180 J=1,N
368:      IF(J-K)170,180,170
369:      A(K,J)=A(K,J)/PIVO
370: 180   CONTINUE
371:      A(K,K)=1./PIVO
372: 190   CONTINUE
373:      K=N
374: 200   K=K-1
375:      IF(K)270,270,210
376: 210   CONTINUE
377:      I=L(K)
378:      IF(I-K)240,240,220
379: 220   DO 230 J=1,N
380:      HELP=A(J,K)
381:      A(J,K)=-A(J,I)
382: 230   A(J,I)=HELP
383: 240   CONTINUE
384:      J=M(K)
385:      IF(J-K)200,200,250
386: 250   DO 260 I=1,N
387:      HELP=A(K,I)
388:      A(K,I)=-A(J,I)
389: 260   A(J,I)=HELP
390:      GO TO 200
391: 270   RETURN
392:      END
```

```

1:      SUBROUTINE INVMA(A,N)
2:      DIMENSION L(32),M(32),A(32,32)
3:      DO 190 K=1,N
4:      L(K)=K
5:      M(K)=K
6:      PIVO=A(K,K)
7:      DO 20 I=K,N
8:      DO 20 J=K,N
9:      IF (ABS(PIVO)-ABS(A(I,J)))10,20,20
10: 10  PIVO=A(I,J)
11:      L(K)=I
12:      M(K)=J
13: 20  CONTINUE
14:      J=L(K)
15:      IF (J-K)50,50,30
16: 30  DO 40 I=1,N
17:      HELP=-A(K,I)
18:      A(K,I)=A(J,I)
19:      A(J,I)=HELP
20: 40  CONTINUE
21: 50  CONTINUE
22:      I=M(K)
23:      IF (I-K)80,80,60
24: 60  DO 70 J=1,N
25:      HELP=-A(J,K)
26:      A(J,K)=A(J,I)
27: 70  A(J,I)=HELP
28: 80  CONTINUE
29:      IF (ABS(PIVO)-.00001)90,90,100
30: 90  CONTINUE
31:      RETURN
32: 100 CONTINUE
33:      DO 120 I=1,N
34:      IF (I-K)110,120,110
35: 110  A(I,K)=A(I,K)/(-PIVO)
36: 120  CONTINUE
37:      DO 160 I=1,N
38:      IF (I-K)130,160,130
39: 130  DO 150 J=1,N
40:      IF (J-K)140,150,140
41: 140  A(I,J)=A(I,K)*A(K,J)+A(I,J)
42: 150  CONTINUE
43: 160  CONTINUE
44:      DO 180 J=1,N
45:      IF (J-K)170,180,170
46: 170  A(K,J)=A(K,J)/PIVO
47: 180  CONTINUE
48:      A(K,K)=1./PIVO
49: 190  CONTINUE
50:      K=N
51: 200  K=K-1
52:      IF (K)270,270,210
53: 210  CONTINUE
54:      I=L(K)
55:      IF (I-K)240,240,220
56: 220  DO 230 J=1,N
57:      HELP=A(J,K)
58:      A(J,K)=-A(J,I)
59: 230  A(J,I)=HELP
60: 240  CONTINUE

```



```

61:      J=M(K)
62:      IF(J-K)200,200,250
63: 250   DO 260 I=1,N
64:      HELF=A(K,I)
65:      A(K,I)=-A(J,I)
66: 260   A(J,I)=HELF
67:      GO TO 200
68: 270   RETURN
69:      END
70:
71:      PROGRAM DOIS
72:      DIMENSION X(32),E(32),HI(32),HS(32),YR(32),IND(32),AUX(32),A(32)
73:      REAL L(32),MI(32,32),MT(32,32),MIT(32,32),MMAX(32),MMIN(32),
74:      IIZ(32),MIT1(32,32),MIT2(32,10),MIT3(10,32),MIT4(10,10),MG(32)
75:      INTEGER RL(62)
76:      DATA MI,MT,MIT/3072*0./,MMAX,MMIN/64*0./,AUX/32*0./
77:      CALL OPEN(6,'DADOS DAT',0)
78:      CALL OPEN(7,'MIT DAT',0)
79:      CALL OPEN(8,'MIMMIT DAT',0)
80:      CALL OPEN(9,'PARTICADAT',0)
81:      CALL OPEN(10,'NJPOSTO DAT',0)
82:      READ(6)HI,HS,YR,MMAX,MMIN,L,IZ,RL,E,M,NJ,NRJ,FCK,FTK,IOUT,CBR,A,
83:      IMPR,CA,BETA,CC,MG,AP,EP,TOL,INTE,UR,TG,FY,FLU,T0,ITIPU
84:      READ(7)MI
85:      X(1)=0.
86:      DO 150 I=2,NJ
87:      X(I)=L(I-1)+X(I-1)
88: 150   CONTINUE
89:      CALL INTERP(HI,L,M)
90:      CALL INTERP(HS,L,M)
91:      CALL INTERP(YR,L,M)
92:      CALL INTERP(IZ,L,M)
93:      CALL INTERP(A,L,M)
94:      WRITE(IOUT,160)
95: 160   FORMAT(///,5X,'PROPIEDADES GEOMETRICAS DA VIGA NOS PONTOS ',
96:      1'NODAIS',//,5X,'NO',11X,'HI',11X,'HS',11X,'YR',14X,'IZ',
97:      212X,'A',/)
98:      DO 170 I=1,NJ
99: 170   WRITE(IOUT,180)I,HI(I),HS(I),YR(I),IZ(I),A(I)
100: 180   FORMAT(5X,12,3(4X,F9.2),4X,E12.6,4X,F9.2)
101:      MT(1,1)=1.
102:      MT(NJ,NJ)=1.
103:      MM=NJ-1
104:      DO 300 I=2,MM
105:      MT(I,I+1)=1./((X(I+1)-X(I)))
106:      MT(I,I)=-((X(I+1)-X(I-1)))/(((X(I+1)-X(I))*(X(I)-X(I-1))))
107:      MT(I,I-1)=1./((X(I)-X(I-1)))
108: 300   CONTINUE
109:      IF(IMPR.EQ.0)GO TO 451
110:      WRITE(IOUT,350)
111: 350   FORMAT(///,4X,'MATRIZ [MT]',/)
112:      DO 400 I=1,NJ
113: 400   WRITE(IOUT,450)(MT(I,J),J=1,NJ)
114: 450   FORMAT(1X,10(612.6,1X))
115: 451   DO 500 I=1,NJ
116:      DO 500 J=1,NJ
117:      DO 500 K=1,NJ
118: 500   MIT(I,J)=MIT(I,J)+MI(I,K)*MT(K,J)
119:      IF(IMPR.EQ.0)GO TO 601
120:      WRITE(IOUT,550)

```

```

121: 550   FORMAT(///,4X,'MATRIZ [MIT]',/)
122:      DO 600 I=1,NJ
123: 600   WRITE(IOUT,450)(MIT(I,J),J=1,NJ)
124: 601   WRITE(8)MI,MT,MIT
125:      REWIND 7
126:      WRITE(7)MIT
127:      N0=-1
128:      DO 1000 I=1,NJ
129: 1000   IND(I)=I
130:      DO 1100 I=1,NJ
131:      IF(I.NE.1)GO TO 900
132:      IF(RL(2).NE.1)GO TO 1100
133:      GO TO 1200
134: 900    IF(I.NE.NJ)GO TO 950
135:      IF(RL(2*NJ).NE.1)GO TO 1100
136:      GO TO 1200
137: 950    IF(RL(2*I-1).NE.1)GO TO 1100
138: 1200   N0=N0+1
139:      I1=I+1-N0
140:      DO 1250 J=1,NJ
141:      I2=I-N0
142: 1250   AUX(J)=MIT(I2,J)
143:      DO 1300 J=I1,NJ
144:      IND(J-1)=IND(J)
145:      DO 1300 K=1,NJ
146: 1300   MIT(J-1,K)=MIT(J,K)
147:      DO 1400 J=1,NJ
148:      IND(NJ)=I2+N0
149: 1400   MIT(NJ,J)=AUX(J)
150: 1100   CONTINUE
151:      IF(IMPR.EQ.0)GO TO 1111
152:      WRITE(IOUT,1105)
153: 1105   FORMAT(///,5X,'NOVO ENDERECAMENTO DA MATRIZ [MIT]',/)
154:      WRITE(IOUT,1110)(IND(J),J=1,NJ)
155: 1110   FORMAT(/,1X,32(I4))
156: 1111   N0=-1
157:      DO 3100 I=1,NJ
158:      IF(I.NE.1)GO TO 3900
159:      IF(RL(2).NE.1)GO TO 3100
160:      GO TO 3200
161: 3900   IF(I.NE.NJ)GO TO 3950
162:      IF(RL(2*NJ).NE.1)GO TO 3100
163:      GO TO 3200
164: 3950   IF(RL(2*I-1).NE.1)GO TO 3100
165: 3200   N0=N0+1
166:      I1=I+1-N0
167:      DO 3250 J=1,NJ
168:      I2=I-N0
169: 3250   AUX(J)=MIT(J,I2)
170:      DO 3300 J=I1,NJ
171:      DO 3300 K=1,NJ
172: 3300   MIT(K,J-1)=MIT(K,J)
173:      DO 3400 J=1,NJ
174: 3400   MIT(J,NJ)=AUX(J)
175: 3100   CONTINUE
176:      NPOSTO=NJ-N0-1
177:      IF(IMPR.EQ.0)GO TO 1901
178:      WRITE(IOUT,1800)
179: 1800   FORMAT(///,5X,'MATRIZ [MIT I]',/)
180:      DO 1900 I=1,NPOSTO

```

```

181: 1900 WRITE(IOUT,450)(MIT(I,J),J=1,NPOSTO)
182: 1901 N1=NPOSTO+1
183: IF(IMPR.EQ.0)GO TO 2501
184: WRITE(IOUT,2000)
185: 2000 FORMAT(///,5X,'MATRIZ EMIT III',/)
186: DO 2100 I=1,NPOSTO
187: 2100 WRITE(IOUT,450)(MIT(I,J),J=N1,NJ)
188: WRITE(IOUT,2200)
189: 2200 FORMAT(///,5X,'MATRIZ EMIT IIIJ',/)
190: DO 2300 I=N1,NJ
191: 2300 WRITE(IOUT,450)(MIT(I,J),J=1,NPOSTO)
192: WRITE(IOUT,2400)
193: 2400 FORMAT(///,5X,'MATRIZ EMIT IVJ',/)
194: DO 2500 I=N1,NJ
195: 2500 WRITE(IOUT,450)(MIT(I,J),J=N1,NJ)
196: 2501 DO 4000 I=1,NPOSTO
197: DO 4000 J=1,NPOSTO
198: 4000 MIT1(I,J)=MIT(I,J)
199: I1=NPOSTO+1
200: DO 4100 I=1,NPOSTO
201: DO 4100 J=I1,NJ
202: I2=J-I1+1
203: MIT2(I,I2)=MIT(I,J)
204: 4100 MIT3(I2,I)=MIT(J,I)
205: DO 4200 I=I1,NJ
206: DO 4200 J=I1,NJ
207: I2=I-I1+1
208: I3=J-I1+1
209: 4200 MIT4(I2,I3)=MIT(I,J)
210: REWIND 6
211: WRITE(6)HI,HS,YR,MMAX,MMIN,L,IZ,RL,E,M,NJ,NRJ,FCK,FTK,IOUT,CBR,A,
212: 1IMPR,CA,BETA,X,CC,MG,AP,EP,TOL,INTE,UR,TG,FY,FLU,T0,ITIPO,IND
213: WRITE(9)MIT1,MIT2,MIT3,MIT4,IND
214: WRITE(10)NJ,NPOSTO,RL
215: ENDFILE 6
216: ENDFILE 7
217: ENDFILE 8
218: ENDFILE 9
219: ENDFILE 10
220: WRITE(1,4300)
221: 4300 FORMAT(//,5X,'FIM DO PROCESSAMENTO DA PARTE DOIS',/)
222: IF(ITIPO.EQ.1.OR.ITIPO.EQ.3)CALL FCHAIN('TRESA COM',0)
223: IF(ITIPO.EQ.2)CALL FCHAIN('TRESB COM',0)
224: WRITE(IOUT,4400)
225: 4400 FORMAT(//,5X,'ERRO NA OPCAO DE ANALISE',/)
226: STOP
227: END
228:
229: SUBROUTINE INTERP(A,COMP,N)
230: DIMENSION A(1),COMP(1)
231: A1=A(1)
232: A2=A(2)
233: AN1=A(N-1)
234: AN=A(N)
235: X=A(1)
236: DO 100 I=2,N
237: Y=A(I)
238: A(I)=(A(I)+X)/2.
239: 100 X=Y
240: A(1)=A1-(A2-A1)/(COMP(1)+COMP(2))*COMP(1)

```

```
241: A(N+1)=AN+(AN-AN1)/(COMP(N)+COMP(N-1))*COMP(N)
242: RETURN
243: END
```

```

1:      PROGRAM TRESA
2:      DIMENSION HI(32),HS(32),YR(32),E(32),AUX(32),AUX1(32),Y(32),
3:      1A(32),FS(32),FI(32),RS(32),RI(32),ER(32),ERX(32),YA(10),AUX2(32),
4:      2X(32),COEFF(32),DP(32),DMP(32)
5:      REAL*8 TIT(3)
6:      REAL MMAX(32),MMIN(32),L(32),IZ(32),MIT(32,32),MP(32),
7:      1MIT1(32,32),MIT2(32,10),MG(32)
8:      INTEGER RL(62)
9:      COMMON MIT, IZ, HS, FCK, FTK, MMAX, MMIN, A, FS, FI, RL, MP, AUX, AUX1, AUX2, Y,
10:     1RS, RI, HI, MIT1, NJ, NRJ, NPOSTO, CBR, COEFF, MIT2, YA, DMP, DP, TOL
11:     DATA AUX, AUX1/64*0./, RS, RI/64*0./, COEFF/32*1./,
12:     1IEX/0/, DP, DMP/64*0./, TIT/'SEM PERD', 'INFINITO', 'T0'   '//,
13:     2III/0/, PULT/0./
14:     CALL OPEN(6, 'DADOS  DAT', 0)
15:     CALL OPEN(7, 'MIT    DAT', 0)
16:     CALL OPEN(8, 'PARTICADAT', 0)
17:     READ(6)HI, HS, YR, MMAX, MMIN, L, IZ, RL, E, M, NJ, NRJ, FCK, FTK, IOUT, CBR, A,
18:     1IMPR, CA, BETA, X, CC, MG, AP, EP, TOL, INTE, UR, TG, FY, FLU, T0, ITIPO
19:     READ(7)MIT
20:     READ(8)MIT1, MIT2
21:     WRITE(1, 100)
22: 100  FORMAT(//, 5X, 'PROGRAMA TRES-A(CABO CONTINUO)', //)
23:  C   WRITE(1, 105)
24:  C105  FORMAT(///, 1X, 'SELECIONE OPCAO DE SAIDA (1=VIDEO, 2=IMPR) : ')
25:  C   READ(1, 107)IOUT
26:  C107  FORMAT(I5)
27:  C   WRITE(1, 103)
28:  C103  FORMAT(//, 1X, 'FORNECER O NUMERO MAXIMO DE ITERACOES E ',
29:  C     1'TOLERANCIA: ')
30:  C   READ(1, 106)INTE, TOL
31:  C106  FORMAT(I5, F10.0)
32:  C   WRITE(1, 50)
33:  C50   FORMAT(//, 1X, 'FORNECER OPCAO DE ANALISE (1=TOTAL, 2=ATRITO, ',
34:  C     1'3=DEF.LENTA) : ')
35:  C   READ(1, 51)IOP
36:  C51   FORMAT(I5)
37:  C   IF(IOP.EQ.1)GO TO 109
38:  C   IF(IOP.EQ.2)GO TO 108
39:  C   CA=0.
40:  C   BETA=0.
41:  C   GO TO 109
42:  C108  UR=0.
43: 109   WRITE(IOUT, 110)
44: 110   FORMAT(///, 5X, 'ANALISE DA VIGA COM CABO CONTINUO', //,
45: 15X, '-----', ///, 5X,
46: 2'PRIMEIRA PARTE - SEM INFLUENCIA DAS PERDAS DE PROTENSAO', //, 5X,
47: 3'-----', ///)
48:  C
49:  C.....INTERVALO DA FORCA DE PROTENSAO PARA FUSO ABERTO
50:  C
51:     NPOSTO=NJ-NRJ+2
52:     CALL INVMA(MIT1, NPOSTO)
53: 450   CALL INTERV(A(1), IZ(1), MMAX(1), MMIN(1), FCK, FTK, DP(1), DMP(1),
54: 1HS(1), HI(1), FMAX, FMIN, COEFF(1), IDIAG)
55:     I=1
56:     IF(IDIAG.EQ.1)GO TO 1501
57:     DO 1500 I=2, NJ
58:     CALL INTERV(A(I), IZ(I), MMAX(I), MMIN(I), FCK, FTK, DP(I), DMP(I), HS(I),
59: 1HI(I), F1, F2, COEFF(I), IDIAG)
60:     IF(IDIAG.EQ.1)GO TO 1501

```

```

61:      IF(P1.LT.PMAX)PMAX=P1
62:      IF(P2.GT.PMIN)PMIN=P2
63: 1500  CONTINUE
64:      IF(PMAX.GE.PMIN)GO TO 1505
65:      WRITE(IOUT,1506)PMIN,PMAX
66: 1506  FORMAT(//,5X,'VIGA SEM SOLUCAO PARA CABOS CONTINUOS',//,5X,
67: 1'PMIN= ',F15.3,5X,'PMAX= ',F15.3,/)
68:      GO TO 99999
69: 1501  WRITE(IOUT,1503)I
70: 1503  FORMAT(//,5X,'VIGA SEM SOLUCAO : FUSO FECHADO NA SECAO ',I3,/)
71:      STOP
72: 1505  IF(IEX.EQ.0)GO TO 1549
73:      IF(IEX.NE.1)GO TO 1556
74:      WRITE(IOUT,1510)
75: 1510  FORMAT(1H1,//,5X,'SEGUNDA PARTE - COM INFLUENCIA DAS PERDAS DE',
76: 1' PROTENSAO',//,5X,'-----'
77: 2' -----',//,5X,
78: 3'ITERACAO          INTERVALO SOLUCAO PARA P          ITERACAO
79: 4'FORCA',//,7X,'PERDAS          PMIN          PMAX
80: 5'PROCESSO          PROTENSAO')
81:      GO TO 1556
82: 1549  WRITE(IOUT,1550)PMIN,PMAX
83: 1550  FORMAT(//,5X,'INTERVALO MAXIMO DE PESQUISA PARA A FORCA DE',
84: 1' PROTENSAO',//,
85: 25X,'PMIN= ',F9.2,5X,'PMAX= ',F9.2,/)
86:      WRITE(IOUT,1555)
87: 1555  FORMAT(//,5X,'CONVERGENCIA DA SOLUCAO',//,5X,'ITERACAO',20X,
88: 1'P',/)
89: C
90: C.....VERIFICACAO DO INTERVALO DE PROCURA (PMIN-PMAX)
91: C
92: 1556  INT=0
93:      CALL TESTE(PMIN,LUZ)
94:      IF(LUZ.EQ.1)GO TO 5310
95:      CALL TESTE(PMAX,LUZ)
96:      IF(LUZ.NE.1)GO TO 5100
97:      PE=PMIN
98:      PD=PMAX
99:      ITIPO=3
100: C
101: C.....VERIFICACAO DE CONVERGENCIA
102: C
103: 2000  IF(ABS(2.*(PD-PE)/(PD+PE)).LT.TOL.AND.LUZ.EQ.1)GO TO 5320
104:      P=(PD+PE)/2.
105:      INT=INT+1
106:      IF(IEX.EQ.0)GO TO 2054
107:      CALL IMPR(IOUT,IEX,PMIN,PMAX,INT,P)
108:      GO TO 2056
109: 2054  WRITE(IOUT,2055)INT,P
110: 2055  FORMAT(8X,I2,18X,F9.3)
111: 2056  CALL TESTE(P,LUZ)
112:      IF(LUZ.EQ.1)GO TO 2100
113:      PE=P
114:      GO TO 2000
115: 2100  PD=P
116:      GO TO 2000
117: 5100  DO 5200 I=2,100
118:      P=(PMAX-PMIN)*(I-1)/100.+PMIN
119:      INT=INT+1
120:      IF(IEX.EQ.0)GO TO 5109

```

```

121:      CALL IMPR(IOUT, IEX, PMIN, PMAX, INT, P)
122:      GO TO 5110
123: 5109  WRITE(IOUT, 2055) INT, P
124: 5110  CALL TESTE(P, LUZ)
125:      IF(LUZ.NE.1) GO TO 5200
126:      PE=P-(PMAX-PMIN)/100.
127:      PD=P
128:      ITIPO=2
129:      GO TO 2000
130: 5200  CONTINUE
131:      WRITE(IOUT, 5300)
132: 5300  FORMAT(//, 5X, 'NAO EXISTE SOLUCAO PARA A VIGA', //)
133:      GO TO 99999
134: 5310  CALL TESTE(PMAX, LUZ)
135:      P=PMIN
136:      IF(LUZ.NE.1) GO TO 5315
137:      ITIPO=4
138: 5315  IF(LUZ.EQ.0) ITIPO=1
139:      INT=1
140:      IF(IEX.EQ.0) GO TO 5318
141:      CALL IMPR(IOUT, IEX, PMIN, PMAX, INT, P)
142:      GO TO 5319
143: 5318  WRITE(IOUT, 2055) INT, P
144: 5319  CALL TESTE(PMIN, LUZ)
145: 5320  IF(ABS(2.*(P-PULT)/(P+PULT)).LE.TOL.AND.LUZ.EQ.1) IEX=INTE
146:      IF(IEX.EQ.0.OR.IEX.EQ.INTE) GO TO 5321
147:      GO TO 5810
148: 5321  DO 5350 I=1, NJ
149: 5350  AUX1(I)=0.
150:      DO 5400 I=1, NJ
151:      DO 5400 J=1, NJ
152: 5400  AUX1(I)=AUX1(I)+MIT(I, J)*MP(J)
153:      WRITE(IOUT, 5420) ITIPO
154: 5420  FORMAT(//, 5X, 'INTERVALO SOLUCAO TIPO ', I2, //)
155:      NC=P/CC
156:      WRITE(IOUT, 5450) P, NC
157: 5450  FORMAT(//, 5X, 'FORCA DE PROTENSAO MINIMA ..... P= ', F9.2,
158:      13X, '( ', I3, ' CABOS)', //, 5X,
159:      2' VERIFICACAO DO LUGAR GEOMETRICO DO DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR',
160:      3//, 5X, 'NO', 9X, 'LIM. MAX.', 9X, 'LIM. MIN.', 10X, '      MP',
161:      410X, 'EMITJ*MP', //)
162:      DO 5480 I=1, NJ
163: 5480  WRITE(IOUT, 5490) I, FS(I), FI(I), MP(I), AUX1(I)
164: 5490  FORMAT(5X, I2, 4(7X, F11.2))
165:      III=III+1
166: 5491  WRITE(IOUT, 5600) TIT(III)
167: 5600  FORMAT(//, 5X, 'TRACADO DO CABO DE FORCA DE PROTENSAO MINIMA', //,
168:      15X, 'VERIFICACAO DAS TENSOES NO CONCRETO PARA T= ', A8, //,
169:      25X, 'NO', 4X, '      FORCA', 4X, 'ORDENADA', 3X, 'TENSAO BORDA SUPERIOR',
170:      33X, 'TENSAO BORDA INFERIOR', //, 10X, 'PROTENSAO', 8X, 'CABO', 8X,
171:      4'MAX.', 8X, 'MIN.', 8X, 'MAX.', 8X, 'MIN.', //)
172:      DO 5500 I=1, NJ
173:      WS=IZ(I)/HS(I)
174:      WI=-IZ(I)/HI(I)
175:      PP=P*COEFF(I)+DP(I)
176:      S1MIN=-PP/A(I)-MMAX(I)/WS-(MP(I)+DMP(I))/WS
177:      S1MAX=-PP/A(I)-MMIN(I)/WS-(MP(I)+DMP(I))/WS
178:      S2MIN=-PP/A(I)-MMIN(I)/WI-(MP(I)+DMP(I))/WI
179:      S2MAX=-PP/A(I)-MMAX(I)/WI-(MP(I)+DMP(I))/WI
180: 5500  WRITE(IOUT, 5800) I, PP, Y(I), S1MAX, S1MIN, S2MAX, S2MIN

```

```

181: 5800  FORMAT(5X,I2,6(3X,F9.3))
182: 5810  IEX=IEX+1
183:      IF(IEX.GT.INTE)GO TO 99998
184:      PULT=P
185:      IF(UR.EQ.0.)GO TO 5820
186:      CALL DELR(Y,A,MG,COEFP,DP,P,IZ,FCK,NJ,EP,E,TG,T0,MP,
187: 1FY,FLU,UR,IOUT,MIT,DMP)
188: 5820  IF(CA.EQ.0.AND.BETA.EQ.0)GO TO 450
189:      NJ1=NJ-1
190:      ALFAT=0.
191:      DO 5900 I=2,NJ1
192: 5900  ALFAT=ALFAT+ABS(1./(X(I)-X(I-1))*Y(I-1)-(X(I+1)-X(I-1))/((X(I+1)-
193: 1X(I))*X(I)-X(I-1))*Y(I)+1./(X(I+1)-X(I))*Y(I+1)+BETA*(X(I)-
194: 2X(I-1)))
195:      ALFAT=ALFAT+BETA*(X(NJ)-X(NJ1))
196:      ALFA=0.
197:      DO 5910 I=2,NJ1
198: 5910  ALFA=ALFA+ABS(1./(X(I)-X(I-1))*Y(I-1)-(X(I+1)-X(I-1))/((X(I+1)-
199: 1X(I))*X(I)-X(I-1))*Y(I)+1./(X(I+1)-X(I))*Y(I+1)+BETA*(X(I)-
200: 2X(I-1)))
201:      IF(ALFA.GT.ALFAT/2.)GO TO 5905
202:      COEFP(I)=EXP(-CA*ALFA)
203: 5910  CONTINUE
204: 5905  COEFP(I)=EXP(-CA*ALFA)
205:      ALFA=0.
206:      DO 5920 J=2,NJ1
207:      I=NJ1+2-J
208:      ALFA=ALFA+ABS(1./(X(I)-X(I-1))*Y(I-1)-(X(I+1)-X(I-1))/((X(I+1)-
209: 1X(I))*X(I)-X(I-1))*Y(I)+1./(X(I+1)-X(I))*Y(I+1)+BETA*(X(I+1)-
210: 2X(I)))
211:      IF(ALFA.GT.ALFAT/2.)GO TO 450
212:      COEFP(I)=EXP(-CA*ALFA)
213: 5920  CONTINUE
214: 99998 IF(III.EQ.3)GO TO 99999
215:      III=3
216:      DO 99997 I=1,NJ
217:      DP(I)=0.
218: 99997 DMP(I)=0.
219:      GO TO 5491
220: 99999 WRITE(1,98000)
221: 98000 FORMAT(/,1X,'FIM DO PROCESSAMENTO DA PARTE TRESA',/)
222:      IF(ITIPO.EQ.1)GO TO 5999
223:      CALL FCHAIN('TRESA COM',0)
224:      STOP
225: 5999  WRITE(IOUT,6000)
226: 6000  FORMAT(/,5X,'ANALISE COMPLETA - FIM DO PROCESSAMENTO',/,1H1)
227:      STOP
228:      END
229:
230:      SUBROUTINE DELR(Y,A,MG,COEFP,DP,P,IZ,FCK,NJ,EP,E,TG,T0,MP,
231: 1FY,FLU,UR,IOUT,MIT,DMP)
232:      DIMENSION Y(32),A(32),COEFP(32),DP(32),E(32),DMP(32)
233:      REAL IZ(32),MG(32),KP,MP(32),NC,MIT(32,32)
234:      E(NJ)=E(NJ-1)
235:      ECS=TG*(1.-UR)/1000.
236:      FINF=(8.*(1.-UR)/(3.-2.*UR))*(7.+3.*T0)/(4.+6.*T0)
237:      RAZ=ECS/FINF
238:      DO 100 I=1,NJ
239:      EE=(MP(I)+DMP(I))/(P*COEFP(I)+DP(I))
240:      AC=1./(1./A(I)+EE*Y(I)/IZ(I))

```



```

241:      NC=AC*MG(I)*Y(I)/IZ(I)
242:      ALFE=EP/E(I)
243:      AP=P*COEFP(I)/FY
244:      ALF=ALFE*AP/(AC+ALFE*AP)
245:      XFLU=AP*FLU
246:      X=(RAZ*E(I)*AC+(P*COEFP(I)+DP(I))+NC)*(1.-EXP(-ALF*FINF))
247:      DP(I)=-X-XFLU
248: 100   CONTINUE
249:      DO 200 I=1,NJ
250:      DO 200 J=1,NJ
251: 200   DMP(I)=0.
252:      DO 300 I=1,NJ
253:      DO 300 J=1,NJ
254: 300   DMP(I)=DMP(I)+MIT(I,J)*Y(J)*DP(J)
255:      RETURN
256:      END
257:
258:      SUBROUTINE INVMA(A,N)
259:      DIMENSION L(32),M(32),A(32,32)
260:      DO 190 K=1,N
261:      L(K)=K
262:      M(K)=K
263:      PIVO=A(K,K)
264:      DO 20 I=K,N
265:      DO 20 J=K,N
266:      IF(ABS(PIVO)-ABS(A(I,J)))10,20,20
267: 10     PIVO=A(I,J)
268:      L(K)=I
269:      M(K)=J
270: 20     CONTINUE
271:      J=L(K)
272:      IF(J-K)50,50,30
273: 30     DO 40 I=1,N
274:      HELP=-A(K,I)
275:      A(K,I)=A(J,I)
276:      A(J,I)=HELP
277: 40     CONTINUE
278: 50     CONTINUE
279:      I=M(K)
280:      IF(I-K)80,80,60
281: 60     DO 70 J=1,N
282:      HELP=-A(J,K)
283:      A(J,K)=A(J,I)
284:      A(J,I)=HELP
285: 70     CONTINUE
286:      IF(ABS(PIVO)-.00001)90,90,100
287: 90     CONTINUE
288:      WRITE(1,95)
289: 95     FORMAT(//,5X,'MATRIZ COM DETERMINANTE NULO',//)
290:      RETURN
291: 100   CONTINUE
292:      DO 120 I=1,N
293:      IF(I-K)110,120,110
294: 110   A(I,K)=A(I,K)/(-PIVO)
295: 120   CONTINUE
296:      DO 160 I=1,N
297:      IF(I-K)130,160,130
298: 130   DO 150 J=1,N
299:      IF(J-K)140,150,140
300: 140   A(I,J)=A(I,K)*A(K,J)+A(I,J)

```

```

301: 150 CONTINUE
302: 160 CONTINUE
303: DO 180 J=1,N
304: IF(J-K)170,180,170
305: 170 A(K,J)=A(K,J)/PIVO
306: 180 CONTINUE
307: A(K,K)=1./PIVO
308: 190 CONTINUE
309: K=N
310: 200 K=K-1
311: IF(K)270,270,210
312: 210 CONTINUE
313: I=L(K)
314: IF(I-K)240,240,220
315: 220 DO 230 J=1,N
316: HELP=A(J,K)
317: A(J,K)=-A(J,I)
318: 230 A(J,I)=HELP
319: 240 CONTINUE
320: J=M(K)
321: IF(J-K)200,200,250
322: 250 DO 260 I=1,N
323: HELP=A(K,I)
324: A(K,I)=-A(J,I)
325: 260 A(J,I)=HELP
326: GO TO 200
327: 270 RETURN
328: END
329:
330: SUBROUTINE TESTE(P,LUZ)
331: REAL MIT(32,32), IZ(32), MMAX(32), MMIN(32), MP(32), MIT1(32,32),
332: 1MIT2(32,10)
333: INTEGER RL(62)
334: DIMENSION RS(32), RI(32), HS(32), A(32), FS(32), FI(32), AUX(32),
335: 1AUX1(32), AUX2(32), Y(32), HI(32), COEFF(32), YA(10), DP(32),
336: 2DMP(32), AUX4(32)
337: COMMON MIT, IZ, HS, FCK, FTK, MMAX, MMIN, A, FS, FI, RL, MP, AUX, AUX1, AUX2, Y,
338: 1RS, RI, HI, MIT1, NJ, NRJ, NPOSTO, CBR, COEFF, MIT2, YA, DMP, DP, TOL
339: I2=0
340: NPOSTO=NJ-NRJ+2
341: NJ1=NJ-1
342: DO 1650 I=2,NJ1
343: IF(RL(2*I-1).NE.1)GO TO 1650
344: I2=I2+1
345: YA(I2)=(HS(I)-CBR)*(P*COEFF(I)+DP(I))
346: Y(I)=(HS(I)-CBR)*(P*COEFF(I)+DP(I))
347: 1650 CONTINUE
348: I1=NJ-NPOSTO
349: DO 1656 I=1,NPOSTO
350: AUX(I)=0.
351: DO 1656 J=1,I1
352: 1656 AUX(I)=AUX(I)-MIT2(I,J)*YA(J)
353: C
354: C.....CALCULO DA MATRIZ (MIT1-CI1)
355: C
356: DO 1630 I=1,NJ
357: 1630 MIT(I,I)=MIT(I,I)-1.
358: DO 1560 I=1,NJ
359: RS(I)=0.
360: 1560 RI(I)=0.

```

```

361: C
362: C.....CALCULO DO CONTORNO DA FATIA DO FUSO
363: C
364: DO 1600 I=1,NJ
365: WS=IZ(I)/HS(I)
366: WI=-IZ(I)/HI(I)
367: ES1=-WS*(P*COEFF(I)+DP(I))/A(I)+WS*FCK/2.-MMAX(I)-DMP(I)
368: ES2=-WI*(P*COEFF(I)+DP(I))/A(I)-WI*FTK-MMAX(I)-DMP(I)
369: FS(I)=ES1
370: IF(ES2.LT.ES1)FS(I)=ES2
371: EI1=-WS*(P*COEFF(I)+DP(I))/A(I)-WS*FTK-MMIN(I)-DMP(I)
372: EI2=-WI*(P*COEFF(I)+DP(I))/A(I)+WI*FCK/2.-MMIN(I)-DMP(I)
373: FI(I)=EI1
374: IF(EI2.GT.EI1)FI(I)=EI2
375: 1600 CONTINUE
376: C
377: C.....VERIFICACAO DO CONTORNO
378: C
379: DO 2000 I=1,NJ
380: DO 2000 K=1,NJ
381: RS(I)=RS(I)+MIT(I,K)*FS(K)
382: 2000 RI(I)=RI(I)+MIT(I,K)*FI(K)
383: NJ1=NJ-1
384: DO 2100 I=2,NJ1
385: IF(RS(I).GT.0..OR.RI(I).LT.0.)GO TO 2300
386: 2100 CONTINUE
387: GO TO 3200
388: 2300 DO 2500 I=1,NJ
389: 2500 MIT(I,I)=MIT(I,I)+1.
390: LUZ=0
391: RETURN
392: C
393: C.....DETERMINACAO DA POSICAO DA LINHA DE PRESSAO E RECUP. DA MIT
394: C
395: 3200 DO 3500 I=1,NJ
396: IF(I.NE.1.OR.I.NE.NJ)GO TO 3250
397: MP(I)=0.
398: GO TO 3500
399: 3250 MP(I)=FI(I)-(FS(I)-FI(I))*RI(I)/(RS(I)-RI(I))
400: 3500 MIT(I,I)=MIT(I,I)+1.
401: I1=NJ-1
402: DO 3550 I=2,I1
403: IF(RL(2*I-1).NE.1)GO TO 3550
404: NA1=I
405: GO TO 3560
406: 3550 CONTINUE
407: 3560 DO 3570 I=2,I1
408: J=I1-I+2
409: IF(RL(2*J-1).NE.1)GO TO 3570
410: NA2=J
411: GO TO 3580
412: 3570 CONTINUE
413: 3580 A11=MIT(NA1,1)
414: A12=MIT(NA1,NJ)
415: A21=MIT(NA2,1)
416: A22=MIT(NA2,NJ)
417: B1=MP(NA1)
418: B2=MP(NA2)
419: DO 3590 I=2,I1
420: B1=B1-MIT(NA1,I)*MP(I)

```

```

421: 3590 B2=B2-MIT(NA2,I)*MP(I)
422:      MP(1)=(B1-A12*B2/A22)/(A11-A12*A21/A22)
423:      MP(NJ)=(B2-A21*MP(1))/A22
424:      IND=0
425:      IF(MP(1).LE.FS(1))GO TO 6000
426:      MP(1)=FS(1)
427:      IND=1
428:      GO TO 6100
429: 6000 IF(MP(1).GE.FI(1))GO TO 6100
430:      MP(1)=FI(1)
431:      IND=1
432: 6100 IF(MP(NJ).LE.FS(NJ))GO TO 6200
433:      MP(NJ)=FS(NJ)
434:      IND=1
435:      GO TO 6300
436: 6200 IF(MP(NJ).GE.FI(NJ))GO TO 6300
437:      MP(NJ)=FI(NJ)
438:      IND=1
439: 6300 IF(IND.EQ.0)GO TO 3598
440:      DO 6400 I=1,NJ
441: 6400 AUX4(I)=0.
442:      DO 6500 I=1,NJ
443:      DO 6500 J=1,NJ
444: 6500 AUX4(I)=AUX4(I)+MIT(I,J)*MP(J)
445:      DO 6600 I=1,NJ
446:      AUX4(I)=AUX4(I)-MP(I)
447:      IF(AUX4(I).LT.0.)MP(I)=FI(I)-(MP(I)-FI(I))*RI(I)/(AUX4(I)-RI(I))
448:      IF(AUX4(I).GT.0.)MP(I)=MP(I)-(FS(I)-MP(I))*AUX4(I)/(RS(I)-AUX4(I))
449: 6600 CONTINUE
450:      GO TO 3580
451: 3598 COEF=0.
452:      DO 3595 I=1,NJ
453:      COEFS=FS(I)/MP(I)
454:      IF(COEFS.GT.1.OR.COEFS.LT.0)COEFS=0.
455:      COEFI=FI(I)/MP(I)
456:      IF(COEFI.GT.1.OR.COEFI.LT.0)COEFI=0.
457:      IF(COEF.LT.COEFS)COEF=COEFS
458:      IF(COEF.LT.COEFI)COEF=COEFI
459: 3595 CONTINUE
460:      DO 3596 I=1,NJ
461: 3596 MP(I)=MP(I)*COEF
462:      NJ1=NJ-1
463:      I1=0
464:      DO 3600 I=2,NJ1
465:      IF(RL(2*I-1).EQ.1)GO TO 3650
466:      I2=I-I1
467:      AUX1(I2)=MP(I)
468:      GO TO 3600
469: 3650 I1=I1+1
470: 3600 CONTINUE
471:      AUX1(1)=MP(1)
472:      AUX1(NPOST0)=MP(NJ)
473:      DO 3700 I=1,NPOST0
474:      AUX1(I)=AUX1(I)+AUX(I)
475: 3700 AUX2(I)=0.
476:      DO 3800 I=1,NPOST0
477:      DO 3800 J=1,NPOST0
478: 3800 AUX2(I)=AUX2(I)+MIT1(I,J)*AUX1(J)
479:      Y(1)=AUX2(1)
480:      Y(NJ)=AUX2(NPOST0)

```

```

401:      I1=0
402:      NJ1=NJ-1
403:      DO 4000 I=2,NJ1
404:      IF(RL(2*I-1).EQ.1)GO TO 3900
405:      I2=I-I1
406:      Y(I)=AUX2(I2)
407:      GO TO 4000
408: 3900  I1=I1+1
409: 4000  CONTINUE
490:      DO 4190 I=1,NJ
491: 4190  Y(I)=Y(I)/(P*COEFF(I)+DP(I))
492:      DO 4200 I=1,NJ
493:      SISCOI=.01*(HI(I)-CER)
494:      IF(Y(I).LT.(-HI(I)+CER-SISCOI))GO TO 4300
495: 4200  CONTINUE
496:      DO 4250 I=1,NJ
497:      SISCOS=.01*(HS(I)-CER)
498:      IF(Y(I).GT.(HS(I)-CER+SISCOS))Y(I)=HS(I)-CER
499: 4250  CONTINUE
500: 4230  LUZ=1
501:      RETURN
502: 4300  LUZ=0
503:      RETURN
504:      END
505:
506:      SUBROUTINE IMPR(IOUT,IEX,FMIN,PMAX,INT,P)
507:      IF(INT.GT.1)GO TO 200
508:      WRITE(IOUT,100)IEX,FMIN,PMAX,INT,P
509: 100    FORMAT(/,10X,I3,5X,F11.2,2X,F11.2,10X,I3,5X,F11.2)
510:      GO TO 400
511: 200    WRITE(IOUT,300)INT,P
512: 300    FORMAT(52X,I3,5X,F11.2)
513: 400    RETURN
514:      END
515:
516:      SUBROUTINE INTERV(A,IZ,MMAX,MMIN,FCK,FTK,DP,DMP,HS,HI,P1,P2,
517: 1COEFF,IDIAG)
518:      REAL IZ,MMAX,MMIN
519:      IDIAG=0.
520:      WS=IZ/HS
521:      WI=-IZ/HI
522:      IF(DMP.LT.0.)GO TO 200
523:      IF((DMP+DP*WS/A).LT.0.)GO TO 100
524:      P1=-A*(-FCK/2.+(MMAX-MMIN)/(WS-WI)+DMP/(WS-WI)+
525: 1WS*DP/(A*(WS-WI)))/COEFF
526:      P2=-A*(FTK-(MMAX-MMIN)/(WS-WI)-DMP/(WS-WI)-
527: 1WI*DP/(A*(WS-WI)))/COEFF
528:      GO TO 400
529: 100    P1=-A*(-FCK/2.+(MMAX-MMIN)/(WS-WI))/COEFF
530:      P2=-A*(FTK-(MMAX-MMIN)/(WS-WI)-DP/A)/COEFF
531:      GO TO 400
532: 200    IF((DMP+DP*WI/A).LT.0.)GO TO 300
533:      P1=-A*(-FCK/2.+(MMAX-MMIN)/(WS-WI))/COEFF
534:      P2=-A*(FTK-(MMAX-MMIN)/(WS-WI)+DP/A)/COEFF
535:      GO TO 400
536: 300    P1=-A*(-FCK/2.+(MMAX-MMIN)/(WS-WI)-DMP/(WS-WI)-
537: 1WI*DP/(A*(WS-WI)))/COEFF
538:      P2=-A*(FTK-(MMAX-MMIN)/(WS-WI)+DMP/(WS-WI)+
539: 1WS*DP/(A*(WS-WI)))/COEFF
540: 400    IF(P1.GE.P2)GO TO 410

```

```
541:      IDIAG=1
542:      RETURN
543: 410    P=(P1+P2)/2.
544:      E1=-WS*(P*COEFF+DP)/R+WS*FCK/2.-MMAX-DMP
545:      E4=-WI*(P*COEFF+DP)/R-WI*FTK-MMAX-DMP
546:      E2=-WS*(P*COEFF+DP)/R-WS*FTK-MMIN-DMP
547:      E3=-WI*(P*COEFF+DP)/R+WI*FCK/2.-MMIN-DMP
548:      IF(E1.LT.E2)IDIAG=1
549:      IF(E4.LT.E3)IDIAG=1
550:      RETURN
551:      END
552:
553:
```

```

1:      PROGRAM TRES-B
2:      DIMENSION HI(32),HS(32),E(32),AUX1(32),Y(32),PMIN(32),YR(32),
3:      1A(32),RS(32),RI(32),P14(32),P24(32),P13(32),P23(32),X(32),DX(32),
4:      2NOE(10),NOD(10),COMP(10),FMAX(32),AUX2(32),P1(32),AA(8.8),B(8),
5:      3DP(32),DMP(32),AUX4(32)
6:      REAL MMAX(32),MMIN(32),L(32),IZ(32),MIT(32,32),MP(32),
7:      1MP23(32),MP14(32),MP13(32),MP24(32),MG(32)
8:      REAL*8 TIT(3)
9:      INTEGER RL(62)
10:     DATA AUX1/32*0./,RS,RI/64*0./,AUX2/32*0./,DP,DMP/64*0./,IEX/0/,
11:     1III/1/,TIT/'SEM PERD','INFINITO','T0      '//,IEX/0/,PULT/0./
12:     CALL OPEN(6,'DADOS  DAT',0)
13:     CALL OPEN(7,'MIT    DAT',0)
14:     CALL OPEN(8,'TRESA  ARQ',0)
15:     READ(6)HI,HS,YR,MMAX,MMIN,L,IZ,RL,E,M,NJ,NRJ,FCK,FTK,IOUT,CER,A,
16:     1IMPR,CA,BETA,X,CC,MG,AP,EP,TOL,INTE,UR,TG,FY,FLU,T0,ITIPO
17:     READ(7)MIT
18:     C      WRITE(1,105)
19:     C105   FORMAT(///,1X,'SELECIONE OPCAO DE SAIDA (1=VIDEO, 2=IMPR) : ')
20:     C      READ(1,101)IOUT
21:     C101   FORMAT(I5)
22:     C      WRITE(1,103)
23:     C103   FORMAT(//,1X,'FORNECER O NUMERO MAXIMO DE ITERACOES ',
24:     C      1'E A TOLERANCIA : ')
25:     C      READ(1,106)INTE,TOL
26:     C106   FORMAT(I5,F10.0)
27:     C      WRITE(1,100)
28:     C100   FORMAT(1H1,///,1X,'PROGRAMA TRES-B(FORCA DE PROTENCAO VARIABEL)',/)
29:     C      WRITE(IOUT,350)
30:     C350   FORMAT(1H1,///,5X,'ANALISE COM INTERRUPCAO DE CABOS',/,
31:     C      15X,'-----',///,5X,
32:     C      2'PRIMEIRA PARTE - SEM INFLUENCIA DAS PERDAS DE PROTENSAO',/,5X,
33:     C      3'-----',/)
34:     C450   DO 500 I=1,NJ
35:     C      CALL FUSO(A(I),IZ(I),MMAX(I),MMIN(I),FCK,FTK,DP(I),DMP(I),
36:     C      1HS(I),HI(I),P13(I),P24(I),MP14(I),MP23(I),MP24(I),P14(I),P23(I),
37:     C      2MP13(I),DIAG)
38:     C      IF(DIAG.EQ.1)GO TO 510
39:     C500   CONTINUE
40:     C      GO TO 520
41:     C510   WRITE(IOUT,515)I
42:     C515   FORMAT(//,5X,'VIGA SEM SOLUCAO : FUSO INTERROMPIDO NA SECAO ',
43:     C      1I2,/)
44:     C      STOP
45:     C
46:     C.....GERACAO DA MATRIZ (MITJ-LIJ)
47:     C
48:     C520   DO 1050 I=1,NJ
49:     C      MIT(I,I)=MIT(I,I)-1.
50:     C      RS(I)=0.
51:     C1050  RI(I)=0.
52:     C
53:     C.....CALCULO DE [RIJ] E [RSJ]
54:     C
55:     C      DO 1100 I=1,NJ
56:     C      DO 1100 J=1,NJ
57:     C      RS(I)=RS(I)+MIT(I,J)*MP14(J)
58:     C1100  RI(I)=RI(I)+MIT(I,J)*MP23(J)
59:     C      IF(IMPR.NE.2)GO TO 1140
60:     C      WRITE(IOUT,1110)

```

```

61: 1110  FORMAT(//,5X,'VETORES [RS],[MP14],[RI],[MP23]',/)
62:      DO 1120 I=1,NJ
63: 1120  WRITE(IOUT,1130)I,RS(I),MP14(I),RI(I),MP23(I)
64: 1130  FORMAT(5X,I2,4(5X,F15.3))
65: 1140  NJ1=NJ-1
66:      DO 1200 I=2,NJ1
67:      IF(RS(I).GT.0..OR.RI(I).LT.0.)GO TO 1300.
68: 1200  CONTINUE
69:      GO TO 1500
70: 1300  WRITE(IOUT,1400)
71: 1400  FORMAT(//,5X,'NAO EXISTE SOLUCAO POSSIVEL PARA A VIGA',/)
72:      GO TO 99999
73: C
74: C.....DETERMINACAO DA POSICAO DO VETOR MOMENTO E RECUP. DA MIT
75: C
76: 1500  DO 1550 I=1,NJ
77:      IF(I.NE.1.OR.I.NE.NJ)GO TO 1510
78:      MP(I)=0.
79:      GO TO 1550
80: 1510  MP(I)=MP23(I)-(MP14(I)-MP23(I))*RI(I)/(RS(I)-RI(I))
81: 1550  MIT(I,I)=MIT(I,I)+1.
82:      I1=NJ-1
83:      DO 1660 I=2,I1
84:      IF(RL(2*I-1).NE.1)GO TO 1660
85:      NA1=I
86:      GO TO 1670
87: 1660  CONTINUE
88: 1670  DO 1680 I=2,I1
89:      J=I1-I+2
90:      IF(RL(2*J-1).NE.1)GO TO 1680
91:      NA2=J
92:      GO TO 1690
93: 1680  CONTINUE
94: 1690  A11=MIT(NA1,1)
95:      A12=MIT(NA1,NJ)
96:      A21=MIT(NA2,1)
97:      A22=MIT(NA2,NJ)
98:      B1=MP(NA1)
99:      B2=MP(NA2)
100:     DO 1695 I=2,I1
101:     B1=B1-MIT(NA1,I)*MP(I)
102: 1695  B2=B2-MIT(NA2,I)*MP(I)
103:     MP(1)=(B1-A12*B2/A22)/(A11-A12*A21/A22)
104:     MP(NJ)=(B2-A21*MP(1))/A22
105:     IND=0
106:     IF(MP(1).LE.MP14(1))GO TO 7000
107:     MP(1)=MP14(1)
108:     IND=1
109:     GO TO 7100
110: 7000  IF(MP(1).GE.MP23(1))GO TO 7100
111:     MP(1)=MP23(1)
112:     IND=1
113: 7100  IF(MP(NJ).LE.MP14(NJ))GO TO 7200
114:     MP(NJ)=MP14(NJ)
115:     IND=1
116:     GO TO 7300
117: 7200  IF(MP(NJ).GE.MP23(NJ))GO TO 7300
118:     MP(NJ)=MP23(NJ)
119:     IND=1
120: 7300  IF(IND.EQ.0)GO TO 7700

```



```

121:      DO 7400 I=1,NJ
122: 7400  AUX4(I)=0.
123:      DO 7500 I=1,NJ
124:      DO 7500 J=1,NJ
125: 7500  AUX4(I)=AUX4(I)+MIT(I,J)*MP(J)
126:      DO 7600 I=1,NJ
127:      AUX4(I)=AUX4(I)-MP(I)
120:      IF(AUX4(I).LT.0.)MP(I)=MP23(I)-(MP(I)-MP23(I))*RI(I)/
129:      1(AUX4(I)-RI(I))
130:      IF(AUX4(I).GT.0.)MP(I)=MP(I)-(MP14(I)-MP(I))*AUX4(I)/
131:      1(RS(I)-AUX4(I))
132: 7600  CONTINUE
133:      GO TO 1690
134: 7700  IF(IMPR.NE.2)GO TO 1720
-135:      WRITE(IOUT,1696)
136: 1696  FORMAT(//,5X,'VETOR [MP] INICIAL',/)
137:      DO 1700 I=1,NJ
138: 1700  WRITE(IOUT,1710)I,MP(I)
139: 1710  FORMAT(5X,I2,5X,F15.3)
140: 1720  NJ1=NJ-1
141:      DX(1)=(X(2)-X(1))/2.
142:      DX(NJ)=(X(NJ)-X(NJ1))/2.
143:      DO 1730 I=2,NJ1
144: 1730  DX(I)=(X(I+1)-X(I-1))/2.
145:      COEFS=MP14(1)/MP(1)
146:      COEFI=MP23(1)/MP(1)
147:      IF(COEFI.LE.COEFS)GO TO 1750
148:      U=COEFS
149:      COEFS=COEFI
150:      COEFI=U
151: 1750  DO 1900 I=2,NJ
152:      ALFAS=MP14(I)/MP(I)
153:      ALFAI=MP23(I)/MP(I)
154:      IF(ALFAI.LE.ALFAS)GO TO 1800
155:      U=ALFAS
156:      ALFAS=ALFAI
157:      ALFAI=U
158: 1800  IF(COEFS.GT.ALFAS)COEFS=ALFAS
159:      IF(COEFI.LT.ALFAI)COEFI=ALFAI
160: 1900  CONTINUE
161:      IF(IMPR.NE.2)GO TO 1911
162:      WRITE(IOUT,1910)COEFS,COEFI
163: 1910  FORMAT(//,5X,'COEFS= ',F9.5,5X,'COEFI= ',F9.5,/)
164: 1911  IF(COEFI.GT.0)GO TO 1950
165:      WRITE(IOUT,1920)
166: 1920  FORMAT(//,5X,'ATENCAO - VIGA ADMITE MP=0 EM TODAS AS SECOES',/)
167:      COEFI=COEFS
168: C
169: C.....PARAMETROS DOS TRAMOS
170: C
171: 1950  NT=1
172:      NE=2
173: 2100  DO 2200 I=NE,NJ
174:      IF(RL(2*I-1).EQ.1)GO TO 2300
175: 2200  CONTINUE
176:      WRITE(IOUT,2250)
177: 2250  FORMAT(//,5X,'ERRO: O ULTIMO NO DA VIGA NAO ESTA APOIADO',/)
178:      GO TO 99999
179: 2300  COMP(NT)=X(I)-X(NE-1)
180:      NOE(NT)=NE-1

```

```

181:      NOD(NT)=I
182:      IF(I.EQ.NJ)GO TO 2400
183:      NT=NT+1
184:      NE=I+1
185:      GO TO 2100
186: C
187: C.....APLICACAO DOS MINIMOS QUADRADOS PARA MP OTIMO
188: C
189: 2400  SMP=0.
190:      SMP24=0.
191:      DO 2750 I=1,NJ
192:      SMP=SMP+MP(I)**2*DX(I)**2
193: 2750  SMP24=SMP24+MP24(I)*MP(I)*DX(I)**2
194:      ALFOTM=SMP24/SMP
195:      IF(IMPR.NE.2)GO TO 2801
196:      WRITE(IOUT,2760)ALFOTM,COEFS
197: 2760  FORMAT(//,5X,'ALFOTM= ',F12.5,5X,'COEFS= ',F12.5,/)
198: 2801  IF(ALFOTM.GT.COEFS)ALFOTM=COEFS
199:      DO 2800 I=1,NJ
200: 2800  MP(I)=MP(I)*ALFOTM
201:      DO 2900 I=1,NJ
202:      WS=IZ(I)/HS(I)
203:      WI=-IZ(I)/HI(I)
204:      FM1=-A(I)*(MP(I)+DMP(I)+WS*DP(I)/A(I)+WS*FTK+MMIN(I))/WS
205:      FM2=-A(I)*(MP(I)+DMP(I)+WI*DP(I)/A(I)+WI*FTK+MMAX(I))/WI
206:      PMIN(I)=FM1
207:      IF(FM2.GT.FM1)PMIN(I)=FM2
208:      IF(PMIN(I).LT.0.)PMIN(I)=0.
209:      FM1=A(I)*(-MP(I)-DMP(I)-WS*DP(I)/A(I)+WS*FCK/2.-MMAX(I))/WS
210:      FM2=A(I)*(-MP(I)-DMP(I)-WI*DP(I)/A(I)+WI*FCK/2.-MMIN(I))/WI
211:      PMAX(I)=FM1
212:      IF(FM2.LT.FM1)PMAX(I)=FM2
213: 2900  CONTINUE
214:      NT1=NT-1
215:      DO 2910 I=1,NT1
216:      B(I)=0.
217:      DO 2910 J=1,NT1
218: 2910  AA(I,J)=0.
219: C
220: C.....APLICACAO DO PROC. MINIMOS QUADRADOS PARA OTIMIZAR MPI
221: C
222:      DO 3000 K=1,NT1
223:      NE=NOE(K)
224:      ND=NOD(K)
225:      NE1=NE+1
226:      IF(K.NE.1)GO TO 3030
227:      DO 3010 I=NE,ND
228:      CM=(HS(I)-HI(I))*PMIN(I)/2.
229:      DR=MP(I)-CM
230:      XR=(X(I)-X(NE))/COMP(K)
231:      AA(K,K)=AA(K,K)+XR*XR*DX(I)**2
232:      B(K)=B(K)-DR*XR*DX(I)**2
233: 3010  CONTINUE
234:      NE=NOE(K+1)
235:      ND=NOD(K+1)
236:      NE1=NE+1
237:      DO 3020 I=NE1,ND
238:      CM=(HS(I)-HI(I))*PMIN(I)/2.
239:      DR=MP(I)-CM
240:      XR=(X(I)-X(NE))/COMP(K+1)

```

```

241:      AA(K,K)=AA(K,K)+(1.-XR)**2*DX(I)**2
242:      AA(K,K+1)=AA(K,K+1)+XR*(1-XR)*DX(I)**2
243:      B(K)=B(K)-DR*(1.-XR)*DX(I)**2
244: 3020  CONTINUE
245:      GO TO 3000
246: 3030  IF(K.EQ.NT1)GO TO 3050
247:      DO 3035 I=NE1,ND
248:      CM=(HS(I)-HI(I))*PMIN(I)/2.
249:      DR=MP(I)-CM
250:      XR=(X(I)-X(NE))/COMP(K)
251:      AA(K,K)=AA(K,K)+XR*XR*DX(I)**2
252:      AA(K,K-1)=AA(K,K-1)+(1.-XR)*XR*DX(I)**2
253:      B(K)=B(K)-DR*XR*DX(I)**2
254: 3035  CONTINUE
255:      NE=NOE(K+1)
256:      ND=NOD(K+1)
257:      NE1=NE+1
258:      DO 3040 I=NE1,ND
259:      CM=(HS(I)-HI(I))*PMIN(I)/2.
260:      DR=MP(I)-CM
261:      XR=(X(I)-X(NE))/COMP(K+1)
262:      AA(K,K)=AA(K,K)+(1.-XR)**2*DX(I)**2
263:      AA(K,K+1)=AA(K,K+1)+(1.-XR)*XR*DX(I)**2
264:      B(K)=B(K)-DR*(1.-XR)*DX(I)**2
265: 3040  CONTINUE
266:      GO TO 3000
267: 3050  DO 3060 I=NE1,ND
268:      CM=(HS(I)-HI(I))*PMIN(I)/2.
269:      DR=MP(I)-CM
270:      XR=(X(I)-X(NE))/COMP(K)
271:      AA(K,K)=AA(K,K)+XR*XR*DX(I)**2
272:      AA(K,K-1)=AA(K,K-1)+(1.-XR)*XR*DX(I)**2
273:      B(K)=B(K)-DR*XR*DX(I)**2
274: 3060  CONTINUE
275:      NE=NOE(K+1)
276:      ND=NOD(K+1)
277:      NE1=NE+1
278:      DO 3070 I=NE1,ND
279:      CM=(HS(I)-HI(I))*PMIN(I)/2.
280:      DR=MP(I)-CM
281:      XR=(X(I)-X(NE))/COMP(K+1)
282:      AA(K,K)=AA(K,K)+(1.-XR)**2*DX(I)**2
283:      B(K)=B(K)-DR*(1.-XR)*DX(I)**2
284: 3070  CONTINUE
285: 3000  CONTINUE
286:      CALL SOLVE(AA,B,NT1,8,IOUT,IND)
287:      IF(IND.EQ.0)GO TO 99999
288:      DO 3080 K=1,NT1
289:      ND=NOD(K)
290:      AUX1(ND)=MP(ND)+B(K)
291: 3080  CONTINUE
292:      AUX1(1)=MP(1)
293:      AUX1(NJ)=MP(NJ)
294:      DO 3085 K=1,NT
295:      NE=NOE(K)
296:      ND=NOD(K)
297:      NE1=NE+1
298:      ND1=ND-1
299:      DO 3085 I=NE1,ND1
300:      FP=(MP(ND)-MP(NE))*(X(I)-X(NE))/COMP(K)+MP(NE)-MP(I)

```

```

301:      AUX1(I)=(AUX1(ND)-AUX1(NE))*(X(I)-X(NE))/COMP(K)+AUX1(NE)-FP
302: 3085  CONTINUE
303: C
304: C.....VERIFICACAO DA EXISTENCIA DE SOLUCAO
305: C
306:      DO 3110 I=1,NJ
307:      IF(AUX1(I).GT.((HS(I)-CBR)*PMAX(I)).OR.AUX1(I).LT.((-HI(I)+CBR)*
308:      1PMAX(I)))GO TO 3120
309: 3110  CONTINUE
310:      GO TO 3130
311: 3120  WRITE(IOUT,3125)
312: 3125  FORMAT(//,5X,'NAO EXISTE SOLUCAO PARA A VIGA',//)
313:      GO TO 99999
314: C
315: C.....DETERMINACAO DA POSICAO DO CABO E DE PMIN
316: C
317: 3130  DO 3090 I=1,NJ
318: 3090  P1(I)=PMIN(I)
319:      DO 3100 I=1,NJ
320:      Y(I)=AUX1(I)/PMIN(I)
321:      IF(Y(I).LE.(HS(I)-CBR).AND.Y(I).GT.(-HI(I)+CBR))GO TO 3100
322:      Y(I)=HS(I)-CBR
323:      IF(AUX1(I).LT.0.)Y(I)=-HI(I)+CBR
324:      PMIN(I)=AUX1(I)/Y(I)
325: 3100  CONTINUE
326:      SINT=0
327:      DO 3200 I=1,NJ
328:      AUX2(I)=0.
329: 3200  SINT=SINT+DX(I)*PMIN(I)
330:      FPM=SINT/(X(NJ)-X(1))
331:      DO 3300 I=1,NJ
332:      DO 3300 J=1,NJ
333: 3300  AUX2(I)=AUX2(I)+MIT(I,J)*MP(J)
334:      IF(IEX.EQ.0)GO TO 5440
335:      IF(IEX.NE.1)GO TO 3340
336:      WRITE(IOUT,3310)
337: 3310  FORMAT(1H1,//,5X,'SEGUNDA PARTE - COM INFLUENCIA DAS PERDAS DE ',
338: 1'PROTENSAO',//,5X,'-----',
339: 2'-----',//,5X,
340: 3'CONVERGENCIA DA SOLUCAO',//,5X,'ITERACAO',15X,
341: 4'P MEDIO',//)
342: 3340  WRITE(IOUT,3350)IEX,FPM
343: 3350  FORMAT(9X,I2,9X,F15.3)
344:      IF(ABS(2.*(FPM-PULT)/(FPM+PULT)).LT.TOL)IEX=INTE
345:      IF(IEX.EQ.INTE)III=2
346:      IF(IEX.EQ.INTE)GO TO 5360
347:      GO TO 5810
348: 5360  WRITE(IOUT,5370)
349: 5370  FORMAT(//,5X,'PERDAS DE PROTENSAO',//,5X,'NO',18X,'DP',17X,
350: 1'DMP',//)
351:      DO 5380 JP=1,NJ
352: 5380  WRITE(IOUT,5390)JP,DP(JP),DMP(JP)
353: 5390  FORMAT(5X,I2,2(5X,F15.3))
354: 5440  WRITE(IOUT,5445)TIT(III)
355: 5445  FORMAT(//,5X,'NUCLEO LIMITE PARA T= ',A8,//,5X,'NO',9X,'P24/MP24',
356: 19X,'P13/MP13',9X,'P23/MP23',9X,'P14/MP14',//)
357:      DO 5447 I=1,NJ
358:      WRITE(IOUT,5446)I,P24(I),P13(I),P23(I),P14(I)
359: 5446  FORMAT(5X,I2,4(5X,E12.6))
360: 5447  WRITE(IOUT,5448)MP24(I),MP13(I),MP23(I),MP14(I)

```

```

361: 5448  FORMAT(7X,4(5X,E12.6),/)
362:      WRITE(IOUT,5450)FPM,TIT(III)
363: 5450  FORMAT(//,5X,'FORCA DE PROTENSAO MEDIA = ',F9.2,//,5X,
364:      1'VERIFICACAO DO LUGAR GEOMETRICO DA CURVA-MOMENTO FLETOR',
365:      2' PARA T= ',A8,//,
366:      35X,'NO',5X,'VETOR MPI',3X,'MP/[MIT]*MP',4X,'REG. OTIMA',3X,
367:      4'REG. LIMITE',5X,'PMIN/PMAX',/)
368:      DO 5480 I=1,NJ
369:          XFS=(HS(I)-CBR)*(P1(I)+DP(I))
370:          XFI=(-HI(I)+CBR)*(P1(I)+DP(I))
371:          XFSS=(HS(I)-CBR)*(PMAX(I)+DP(I))
372:          XFII=(-HI(I)+CBR)*(PMAX(I)+DP(I))
373:          WRITE(IOUT,5490)I,AUX1(I),MP(I),XFS,XFSS,P1(I)
374: 5490  FORMAT(5X,I2,5(3X,F11.2))
375: 5480  WRITE(IOUT,5495)AUX2(I),XFI,XFII,PMAX(I)
376: 5495  FORMAT(21X,4(3X,F11.2),/)
377: 5496  WRITE(IOUT,5600)TIT(III)
378: 5600  FORMAT(//,5X,'TRACADO DO CABO RESULTANTE E VERIF. DAS TENSOES',
379:      1' PARA T= ',A8,//,
380:      25X,'NO',6X,'FORCA',2X,'QUANT',3X,'ORDENADA',6X,
381:      3'TENSAO BORDA SUP',6X,'TENSAO BORDA INF',/,
382:      49X,' PROT',2X,'CABOS'3X,'CABO RES',8X,'MAX',8X,'MIN',8X,
383:      5'MAX',8X,'MIN',/)
384:      DO 5500 I=1,NJ
385:          WS=IZ(I)/HS(I)
386:          WI=-IZ(I)/HI(I)
387:          S1MIN=-((PMIN(I)+DP(I))/A(I)-MMAX(I)/WS-(MP(I)+DMP(I))/WS
388:          S1MAX=-((FMIN(I)+DP(I))/A(I)-MMIN(I)/WS-(MP(I)+DMP(I))/WS
389:          S2MIN=-((PMIN(I)+DP(I))/A(I)-MMIN(I)/WI-(MP(I)+DMP(I))/WI
390:          S2MAX=-((FMIN(I)+DP(I))/A(I)-MMAX(I)/WI-(MP(I)+DMP(I))/WI
391:          NC=PMIN(I)/CC
392:          IF(NC.EQ.0)NC=1
393:          PAUX=PMIN(I)+DP(I)
394: 5500  WRITE(IOUT,5800)I,PAUX,NC,Y(I),S1MAX,S1MIN,S2MAX,S2MIN
395: 5800  FORMAT(5X,I2,2X,F9.3,2X,I5,5(2X,F9.3))
396: 5810  IEX=IEX+1
397:      IF(IEX.GT.INTE)GO TO 99998
398:      IF(UR.EQ.0.)GO TO 99999
399:      PULT=FPM
400:      CALL DELR(Y,A,MG,DP,PMIN,IZ,FCK,NJ,EP,E,TG,T0,MP,FY,FLU,UR,IOUT,
401:      1MIT,DMP)
402:      GO TO 450
403: 99998 IF(III.EQ.3)GO TO 99999
404:      III=3
405:      DO 99997 I=1,NJ
406:          DP(I)=0.
407: 99997 DMP(I)=0.
408:      GO TO 5496
409: 99999 WRITE(0) IOUT,PMIN,Y,CC,NJ,HI,HS,X,BETA,CA,A,IZ,MIT,MMAX,MMIN,
410:      1MG,FCK,EP,E,TG,T0,FY,FLU,UR
411:      WRITE(1,6000)
412: 6000  FORMAT(//,5X,'FIM DO PROCESSAMENTO DO PROGRAMA TRESB')
413:      WRITE(IOUT,6100)
414: 6100  FORMAT(/,1H1)
415:      CALL FCHAIN('TRESB COM',0)
416:      STOP
417:      END
418:
419:      SUBROUTINE SOLVE(A,B,N,NX,IOUT,IND)
420:      DIMENSION A(NX,NX),B(NX)

```

```

421:      IND=1
422:      IF(N.NE.1)GO TO 500
423:      IF(ABS(A(1,1)).LT.1E-20)GO TO 499
424:      B(1)=1/A(1,1)*B(1)
425:      RETURN
426: 499  WRITE(IOUT,501)
427: 501  FORMAT(//,5X,'ENCONTRADA SINGULARIDADE NA MATRIZ AA',//)
428:      IND=0
429:      RETURN
430: 500  N1=N-1
431:      DO 100 K=1,N1
432:      K1=K+1
433:      C=A(K,K)
434:      IF(ABS(C)-0.000001) 1,1,3
435: 1     DO 7 J=K1,N
436:      IF(ABS(A(J,K))-0.000001) 7,7,5
437: 5     DO 6 L=K,N
438:      C=A(K,L)
439:      A(K,L)=A(J,L)
440: 6     A(J,L)=C
441:      C=B(K)
442:      B(K)=B(J)
443:      B(J)=C
444:      C=A(K,K)
445:      GO TO 3
446: 7     CONTINUE
447: 8     WRITE(2,2) K
448: 2     FORMAT(/5X,'***ERRO: Singularidade na linha ',I3,' ***',/)
449:      GO TO 300
450: 3     C=A(K,K)
451:      DO 4 J=K1,N
452: 4     A(K,J)=A(K,J)/C
453:      B(K)=B(K)/C
454:      DO 10 I=K1,N
455:      C=A(I,K)
456:      DO 9 J=K1,N
457: 9     A(I,J)=A(I,J)-C*A(K,J)
458: 10    B(I)=B(I)-C*B(K)
459: 100   CONTINUE
460:      IF(ABS(A(N,N))-0.000001) 8,8,101
461: 101   B(N)=B(N)/A(N,N)
462:      DO 200 L=1,N1
463:      K=N-L
464:      K1=K+1
465:      DO 200 J=K1,N
466: 200   B(K)=B(K)-A(K,J)*B(J)
467: 300   RETURN
468:      END
469:
470:      SUBROUTINE DELR(Y,A,MG,DP,P,IZ,FCK,NJ,EP,E,TG,T0,MP,
471: 1FY,FLU,UR,IOUT,MIT,DMP)
472:      DIMENSION Y(32),A(32),DP(32),E(32),DMP(32),P(32)
473:      REAL IZ(32),MG(32),KP,MP(32),NC,MIT(32,32)
474:      E(NJ)=E(NJ-1)
475:      ECS=TG*(1.-UR)/1000.
476:      FINF=(0.*(1.-UR)/(3.-2.*UR))*(7.+3.*T0)/(4.+6.*T0)
477:      RAZ=ECS/FINF
478:      DO 100 I=1,NJ
479:      EE=(MP(I)+DMP(I))/(P(I)+DP(I))
480:      AC=1./(1./A(I)+EE*Y(I)/IZ(I))

```

```

481:      NC=AC*MG(I)*Y(I)/IZ(I)
482:      ALFE=EP/E(I)
483:      AP=P(I)/FY
484:      ALF=ALFE*AP/(AC+ALFE*AP)
485:      XFLU=AP*FLU
486:      X=(RAZ*E(I)*AC+(P(I)+DP(I))+NC)*(1.-EXP(-ALF*FINF))
487:      DP(I)=-X-XFLU
488: 100   CONTINUE
489:      DO 200 I=1,NJ
490:      DO 200 J=1,NJ
491: 200   DMP(I)=0.
492:      DO 300 I=1,NJ
493:      DO 300 J=1,NJ
494: 300   DMP(I)=DMP(I)+MIT(I,J)*Y(J)*DP(J)
495: C     DO 44444 I=1,NJ
496: C44444 WRITE(IOUT,55555)I,DP(I),DMP(I)
497: C55555 FORMAT(1X,'I,DP,DMP...',I3,2(3X,F15.3))
498:      RETURN
499:      END

500:
501:      SUBROUTINE FUSO(A, IZ, MMAX, MMIN, FCK, FTK, DP, DMP, HS, HI, P13, P24,
502: 1MP14, MP23, MP24, P14, P23, MP13, DIAG)
503:      REAL IZ, MMAX, MMIN, MP14, MP23, MP24, MP13
504:      WS=IZ/HS
505:      WI=-IZ/HI
506:      IF(DMP.LT.0.)GO TO 200
507:      IF((DMP+DP*WS/A).LT.0.)GO TO 100
508:      P13=-A*(-FCK/2.+(MMAX-MMIN)/(WS-WI))+DMP/(WS-WI)+
509: 1WS*DP/(A*(WS-WI))
510:      P24=-A*(FTK-(MMAX-MMIN)/(WS-WI)-DMP/(WS-WI)-
511: 1WI*DP/(A*(WS-WI)))
512:      P14=-A*(DP/A-FCK/2.*WS/(WS-WI)-FTK*WI/(WS-WI))
513:      P23=-A*(FTK*WS/(WS-WI)+FCK/2.*WI/(WS-WI))
514:      MP13=-MMAX/(WS*(1./WS-1./WI))+MMIN/(WI*(1./WS-1./WI))-
515: 1DMP/(WS*(1./WS-1./WI))-DP/(A*(1./WS-1./WI))
516:      MP14=(FTK+FCK/2.)/(1./WS-1./WI)-MMAX-DMP
517:      MP23=-(FTK+FCK/2.)/(1./WS-1./WI)-MMIN
518:      MP24=(MMAX+DMP)/(WI*(1./WS-1./WI))-MMIN/(WS*(1./WS-1./WI))+
519: 1DP/(A*(1./WS-1./WI))
520:      GO TO 400
521: 100   P13=-A*(-FCK/2.+(MMAX-MMIN)/(WS-WI))
522:      P24=-A*(FTK-(MMAX-MMIN)/(WS-WI)+DP/A)
523:      P14=A*(WI*DP/(A*(WS-WI))+DMP/(WS-WI)+FCK/2.*WS/(WS-WI)+
524: 1FTK*WI/(WS-WI))
525:      P23=A*(-DMP/(WS-WI)-DP*WS/(A*(WS-WI))-FTK*WS/(WS-WI)-
526: 1FCK/2.*WI/(WS-WI))
527:      MP13=-MMAX/(WS*(1./WS-1./WI))+MMIN/(WI*(1./WS-1./WI))
528:      MP14=(FTK+FCK/2.)/(1./WS-1./WI)-MMAX+DMP/(WI*(1./WS-1./WI))+
529: 1DP/(A*(1./WS-1./WI))
530:      MP23=-(FTK+FCK/2.)/(1./WS-1./WI)-MMIN-DMP/(WS*(1./WS-1./WI))-
531: 1DP/(A*(1./WS-1./WI))
532:      MP24=MMAX/(WI*(1./WS-1./WI))-MMIN/(WS*(1./WS-1./WI))-DMP
533:      GO TO 400
534: 200   IF((DMP+DP*WI/A).LT.0.)GO TO 300
535:      P13=-A*(-FCK/2.+(MMAX-MMIN)/(WS-WI))
536:      P24=-A*(FTK-(MMAX-MMIN)/(WS-WI)+DP/A)
537:      P14=A*(WI*DP/(A*(WS-WI))+DMP/(WS-WI)+FCK/2.*WS/(WS-WI)+
538: 1FTK*WI/(WS-WI))
539:      P23=A*(-DMP/(WS-WI)-DP*WS/(A*(WS-WI))-FTK*WS/(WS-WI)-
540: 1FCK/2.*WI/(WS-WI))

```

```

541:      MP13=-MMAX/(WS*(1./WS-1./WI))+MMIN/(WI*(1./WS-1./WI))
542:      MP14=(FTK+FCK/2.)/(1./WS-1./WI)-MMAX+DMP/(WI*(1./WS-1./WI))+
543:      1DP/(A*(1./WS-1./WI))
544:      MP23=- (FTK+FCK/2.)/(1./WS-1./WI)-MMIN-DMP/(WS*(1./WS-1./WI))-
545:      1DP/(A*(1./WS-1./WI))
546:      MP24=MMAX/(WI*(1./WS-1./WI))-MMIN/(WS*(1./WS-1./WI))-DMP
547:      GO TO 400
548: 300   P13=-A*(-FCK/2.+(MMAX-MMIN)/(WS-WI))-DMP/(WS-WI)-
549:      1WI*DP/(A*(WS-WI))
550:      P24=-A*(FTK-(MMAX-MMIN)/(WS-WI)+DMP/(WS-WI)+
551:      1WS*DP/(A*(WS-WI)))
552:      P14=A*(FCK/2.*WS/(WS-WI)+FTK*WI/(WS-WI))
553:      P23=A*(-DP/A-FTK*WS/(WS-WI)-FCK/2.*WI/(WS-WI))
554:      MP13=-MMAX/(WS*(1./WS-1./WI))+MMIN/(WI*(1./WS-1./WI))+
555:      1DMP/(WI*(1./WS-1./WI))+DP/(A*(1./WS-1./WI))
556:      MP14=(FTK+FCK/2.)/(1./WS-1./WI)-MMAX
557:      MP23=- (FTK+FCK/2.)/(1./WS-1./WI)-MMIN-DMP
558:      MP24=MMAX/(WI*(1./WS-1./WI))- (MMIN+DMP)/(WS*(1./WS-1./WI))-
559:      1DP/(A*(1./WS-1./WI))
560: 400   IF(MP24.LT.MP23)DIAG=1
561:      IF(MP14.LT.MP24)DIAG=1
562:      RETURN
563:      END

```



```

1:      PROGRAM TRESO
2:      DIMENSION P(32),Y(32),PC(50,32),YC(50,32),HI(32),HS(32),X(32),
3:      1PMIN(32),DMPI(32),NJI(50),NJF(50),NCC(32)
4:      DATA YC/1600*0./,PC/1600*0./,NC/0/,DMPI/32*0./,NCC/32*0/
5:      CALL OPEN(6,'TRESO  ARQ',0)
6:      CALL OPEN(7,'TRESO  ARQ',0)
7:      READ(6) IOUT,PMIN,Y,CC,NJ,HI,HS,X,BETA,CA
8:      WRITE(1,20)
9:  20   FORMAT(//,1X,'PROGRAMA TRESO - ANALISE PRELIMINAR DE LANCAMENTO ',
10:  1'DE CABOS')
11:  C    WRITE(1,30)
12:  C30  FORMAT(//,1X,'FORNECER OPCAO DE SAIDA (1=VIDEO, 2=IMPR) : ')
13:  C    READ(1,35)IOUT
14:  C35  FORMAT(I5)
15:  C    WRITE(1,50)
16:  C50  FORMAT(//,1X,'FORNECER A CAPACIDADE DO CABO : ')
17:  C    READ(1,55)CC
18:  C55  FORMAT(F10.0)
19:      WRITE(IOUT,60)
20:  60   FORMAT(//,5X,'ANALISE PRELIMINAR DE LANCAMENTO DE CABOS',//,5X,
21:  1'-----',//)
22:      DO 90 I=1,NJ
23:  90   P(I)=PMIN(I)
24:      DO 1500 I=1,50
25:      DO 100 J=1,NJ
26:      IF(P(J).NE.0.)GO TO 200
27:  100  CONTINUE
28:      GO TO 2100
29:  200  NC=NC+1
30:      JI=J
31:      J1=J+1
32:      DO 300 J=J1,NJ
33:      IF(P(J).EQ.0.)GO TO 400
34:  300  CONTINUE
35:      JF=NJ
36:      GO TO 450
37:  400  JF=J-1
38:  450  DO 500 J=JI,JF
39:  500  YC(I,J)=Y(J)
40:      JI1=JI+1
41:      DIF=Y(JI)-Y(JI1)
42:      IF(DIF.GT.0.)YC(I,JI)=HS(JI)
43:      IF(DIF.LT.0.)YC(I,JI)=-HI(JI)
44:      IF(JI.EQ.1)YC(I,1)=Y(1)
45:      JF1=JF-1
46:      DIF=Y(JF)-Y(JF1)
47:      IF(DIF.GT.0.)YC(I,JF)=HS(JF)
48:      IF(DIF.LT.0.)YC(I,JF)=-HI(JF)
49:      IF(JF.EQ.NJ)YC(I,NJ)=Y(NJ)
50:  C    WRITE(IOUT,501)I,YC(I,JI),YC(I,JF)
51:  C501  FORMAT(' I,YC(I,JI),YC(I,JF)...',I5,2(5X,F15.3))
52:      PC(I,JI)=CC
53:      PC(I,JF)=CC
54:      DMPI(JI)=DMPI(JI)-(YC(I,JI)-Y(JI))*PC(I,JI)
55:      DMPI(JF)=DMPI(JF)+(YC(I,JF)-Y(JF))*PC(I,JF)
56:      NJI(I)=JI
57:      NJF(I)=JF
58:      IF((JF-JI).LE.1)GO TO 1200
59:      ALFAT=0.
60:      DO 800 J=JI1,JF1

```

```

61: 800  ALFAT=ALFAT+ABS(1./(X(J)-X(J-1))*Y(J-1)-(X(J+1)-X(J-1))/((X(J+1)-
62: 1X(J))*X(J)-X(J-1))*Y(J)+1./(X(J+1)-X(J))*Y(J+1)+BETA*(X(J)-
63: 2X(J-1)))
64:  ALFAT=ALFAT+BETA*(X(JF)-X(JF1))
65:  ALFA=0.
66:  DO 900 J=JI1,JF1
67:  ALFA=ALFA+ABS(1./(X(J)-X(J-1))*Y(J-1)-(X(J+1)-X(J-1))/((X(J+1)-
68: 1X(J))*X(J)-X(J-1))*Y(J)+1./(X(J+1)-X(J))*Y(J+1)+BETA*(X(J)-
69: 2X(J-1)))
70:  IF(ALFA.GT.ALFAT/2.)GO TO 1000
71:  PC(I,J)=CC*EXP(-CA*ALFA)
72: 900  CONTINUE
73: 1000  PC(I,J)=CC*EXP(-CA*ALFA)
74:  ALFA=0.
75:  JL=JF1-JI1
76:  DO 1100 J=1,JL
77:  K=JF1-J+1
78:  ALFA=ALFA+ABS(1./(X(K)-X(K-1))*Y(K-1)-(X(K+1)-X(K-1))/((X(K+1)-
79: 1X(K))*X(K)-X(K-1))*Y(K)+1./(X(K+1)-X(K))*Y(K+1)+BETA*(X(K+1)-
80: 2X(K)))
81:  IF(ALFA.GT.ALFAT/2.)GO TO 1200
82:  PC(I,K)=CC*EXP(-CA*ALFA)
83: 1100  CONTINUE
84: 1200  DO 1300 J=JI,JF
85:  P(J)=P(J)-PC(I,J)
86:  IF(P(J).LT.0.)P(J)=0.
87: 1300  CONTINUE
88: 1500  CONTINUE
89: 2100  DO 1700 I=1,NJ
90:  PNE=0.
91:  XME=0.
92:  PE=0.
93:  DO 1600 J=1,NC
94:  IF(NJI(J).EQ.1.OR.NJF(J).EQ.1)GO TO 1550
95:  PNE=PNE+PC(J,I)
96:  GO TO 1600
97: 1550  XME=XME+PC(J,I)*YC(J,I)
98:  PE=PE+PC(J,I)
99: 1600  CONTINUE
100: C    WRITE(IOUT,1601)I,PNE,XME
101: C1601  FORMAT(//,5X,'I= ',I2,3X,'PNE= ',F15.3,5X,'XME= ',F15.3)
102:  IF(PNE.NE.0.)GO TO 1640
103:  YN=Y(I)
104:  IF(I.EQ.1.OR.I.EQ.NJ)YN=PMIN(I)*Y(I)/PE
105:  GO TO 1645
106: 1640  YN=(PMIN(I)*Y(I)-XME)/PNE
107: 1645  DO 1650 J=1,NC
108:  IF(NJI(J).EQ.1.OR.NJF(J).EQ.NJ)YC(J,I)=YN
109:  IF(NJI(J).GE.1.OR.NJF(J).LE.I)GO TO 1650
110:  YC(J,I)=YN
111: 1650  CONTINUE
112: 1700  CONTINUE
113:  DO 1800 I=1,NC
114:  DO 1800 J=1,NJ
115:  IF(PC(I,J).NE.0.)GO TO 1800
116:  YC(I,J)=0.
117: 1800  CONTINUE
118:  NN=NC/2.
119:  IF((2*NN).LT.NC)NN=NN+1
120:  DO 3000 K=1,NN

```

```

121:      I=2*K-1
122:      I1=I+1
123:      IF(I1.GT.NC)GO TO 2500
124:      WRITE(IOUT,2200)I,I1
125: 2200  FORMAT(//,5X,'/----- CABO ',I2,'-----//',5X,
126:      1'/----- CABO ',I2,'-----//',//,5X,'SECAO',5X,
127:      2'          P',5X,'          Y',5X,'SECAO',5X,'          P',5X,
128:      3'          Y',/)
129:      DO 2400 J=1,NJ
130:      IF(PC(I,J).EQ.0..AND.PC(I+1,J).EQ.0.)GO TO 2400
131:      WRITE(IOUT,2300)J,PC(I,J),YC(I,J),J,PC(I+1,J),YC(I+1,J)
132: 2300  FORMAT(8X,I2,2(5X,F10.3),8X,I2,2(5X,F10.3))
133: 2400  CONTINUE
134:      GO TO 3000
135: 2500  WRITE(IOUT,2600)I
136: 2600  FORMAT(//,5X,'/----- CABO ',I2,'-----//',/)
137:      DO 2800 J=1,NJ
138:      IF(PC(I,J).EQ.0.)GO TO 2800
139:      WRITE(IOUT,2700)J,PC(I,J),YC(I,J)
140: 2700  FORMAT(8X,I2,2(5X,F10.3))
141: 2800  CONTINUE
142: 3000  CONTINUE
143:      DO 3100 I=1,NJ
144:      P(I)=0.
145:      DO 3100 J=1,NC
146: 3100  P(I)=P(I)+PC(J,I)
147:      DO 3200 I=1,NJ
148:      DO 3200 J=1,NC
149:      IF(PC(J,I).EQ.0.)GO TO 3200
150:      NCC(I)=NCC(I)+1
151: 3200  CONTINUE
152: C      DO 80000 I=1,NJ
153: C80000 WRITE(IOUT,80100)I,P(I),FMIN(I)
154: C80100 FORMAT(5X,I2,2(5X,F15.3))
155: C      DO 90000 I=1,NJ
156: C      XMIN=0.
157: C      DO 70000 J=1,NC
158: C70000 XMIN=XMIN+PC(J,I)*YC(J,I)
159: C      AUX=FMIN(I)*Y(I)
160: C90000 WRITE(IOUT,80100)I,XMIN,AUX
161:      WRITE(7)P,Y,NCC
162:      ENDFILE 7
163:      CALL FCHAIN('TRESO COM',0)
164:      STOP
165:      END

```

```

1: PROGRAM TRESO
2: DIMENSION PMIN(32),Y(32),HI(32),HS(32),X(32),A(32),P(32),DP(32),
3: 1DMP(32),E(32),NC(32)
4: REAL IZ(32),MIT(32,32),MMAX(32),MMIN(32),MP(32),MG(32)
5: REAL*8 TIT(2)
6: DATA MP/32*0./,III/1/,TIT/'T0      ','INFINITO'/,DP,DMP/64*0./
7: CALL OPEN(6,'TRESO  ARQ',0)
8: CALL OPEN(7,'TRESO  ARQ',0)
9: WRITE(1,100)
10: 100  FORMAT(/,1X,'PROGRAMA TRESO',//)
11: READ(6) IOUT,PMIN,Y,CC,NJ,HI,HS,X,BETA,CA,A,IZ,MIT,MMAX,MMIN,
12: 1MG,FCK,EP,E,TG,T0,FY,FLU,UR
13: READ(7)P,Y,NC
14: DO 200 I=1,NJ
15: DO 200 J=1,NJ
16: 200  MP(I)=MP(I)+MIT(I,J)*P(J)*Y(J)
17: 500  WRITE(IOUT,600)TIT(III)
18: 600  FORMAT(/,5X,'VERIFICACAO DAS TENSOES PARA TRACADO PRELIMINAR',
19: 1' COM T= ',A8,/,
20: 25X,'NO',6X,'FORCA',2X,'QUANT',3X,'ORDENADA',6X,
21: 3'TENSAO BORDA SUP',6X,'TENSAO BORDA INF',/,
22: 49X,'      PROT',2X,'CABOS'3X,'CABO RES',8X,'MAX',8X,'MIN',8X,
23: 5'MAX',8X,'MIN',/)
24: DO 5500 I=1,NJ
25: WS=IZ(I)/HS(I)
26: WI=-IZ(I)/HI(I)
27: S1MIN=-(P(I)+DP(I))/A(I)-MMAX(I)/WS-(MP(I)+DMP(I))/WS
28: S1MAX=-(P(I)+DP(I))/A(I)-MMIN(I)/WS-(MP(I)+DMP(I))/WS
29: S2MIN=-(P(I)+DP(I))/A(I)-MMIN(I)/WI-(MP(I)+DMP(I))/WI
30: S2MAX=-(P(I)+DP(I))/A(I)-MMAX(I)/WI-(MP(I)+DMP(I))/WI
31: PAUX=P(I)+DP(I)
32: 5500 WRITE(IOUT,5800)I,PAUX,NC(I),Y(I),S1MAX,S1MIN,S2MAX,S2MIN
33: 5800 FORMAT(5X,I2,2X,F9.3,2X,I5,5(2X,F9.3))
34: III=III+1
35: IF(III.EQ.3)GO TO 99999
36: CALL DELR(Y,A,MG,DP,P,IZ,FCK,NJ,EP,E,TG,T0,MP,FY,FLU,UR,IOUT,
37: 1MIT,DMP)
38: GO TO 500
39: 99999 WRITE(IOUT,6000)
40: 6000 FORMAT(/,5X,'FIM DO PROCESSAMENTO',1H1)
41: STOP
42: END
43:
44: SUBROUTINE DELR(Y,A,MG,DP,P,IZ,FCK,NJ,EP,E,TG,T0,MP,
45: 1FY,FLU,UR,IOUT,MIT,DMP)
46: DIMENSION Y(32),A(32),DP(32),E(32),DMP(32),P(32)
47: REAL IZ(32),MG(32),KP,MP(32),NC,MIT(32,32)
48: E(NJ)=E(NJ-1)
49: ECS=TG*(1.-UR)/1000.
50: FINF=(8.*(1.-UR)/(3.-2.*UR))*(7.+3.*T0)/(4.+6.*T0)
51: RAZ=ECS/FINF
52: DO 100 I=1,NJ
53: EE=(MP(I)+DMP(I))/(P(I)+DP(I))
54: AC=1./(1./A(I)+EE*Y(I)/IZ(I))
55: NC=AC*MG(I)*Y(I)/IZ(I)
56: ALFE=EP/E(I)
57: AP=P(I)/FY
58: ALF=ALFE*AP/(AC+ALFE*AP)
59: XFLU=AP*FLU
60: X=(RAZ*E(I)*AC+(P(I)+DP(I))+NC)*(1.-EXP(-ALF*FINF))

```

```
61:      DP(I)=-X-XFLU
62: 100  CONTINUE
63:      DO 200 I=1,NJ
64:      DO 200 J=1,NJ
65: 200  DMP(I)=0.
66:      DO 300 I=1,NJ
67:      DO 300 J=1,NJ
68: 300  DMP(I)=DMP(I)+MIT(I,J)*Y(J)*DP(J)
69: C    DO 44444 I=1,NJ
70: C44444 WRITE(IOUT,55555)I,DP(I),DMP(I)
71: C55555 FORMAT(1X,'I,DP,DMP...',I3,2(3X,F15.3))
72:      RETURN
73:      END
```