

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PROPRIEDADES SECCIONAIS DE PERFIS DE PAREDES FINAS
INCLUINDO O EFEITO DA FLAMBAGEM LOCAL

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

CARLSON ANTONIO MENDES VERÇOSA

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 1981

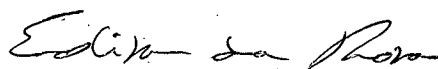
PROPRIEDADES SECCIONAIS DE PERFIS DE PAREDES FINAS INCLUINDO O
EFEITO DA FLAMBAGEM LOCAL

CARLSON ANTONIO MENDES VERÇOSA

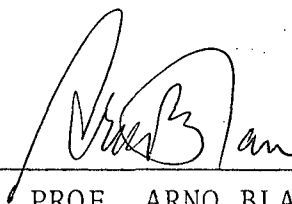
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE

"MESTRE EM ENGENHARIA"

ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO PROJE-
TO, E, APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.



PROF. EDISON DA ROSA, M.Sc.
ORIENTADOR

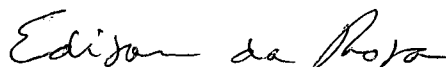


PROF. ARNO BLASS, Ph.D.
COORDENADOR

BANCA EXAMINADORA:



PROF. NELSON BACK, Ph.D.



PROF. EDISON DA ROSA, M.Sc.



PROF. LUIZ TEIXEIRA DO VALE PEREIRA, M.Sc.

À Helena e Carla.

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

- Ao Professor Arno Blass, na figura de coordenador do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, pela oportunidade;
- Em especial ao Professor Edison da Rosa pela orientação técnica e pessoal;
- Ao engenheiro Vilson Wronscki Ricardo pela ajuda na parte computacional;
- Aos funcionários do NPD da UFSC, em especial aos amigos Luiz Carlos Pereira, Edson Luiz da Silva e Vilton Wronscki, pelo atendimento;
- Aos amigos Altamir Dias, João Pedro Quirino e Maurice Boulos Halal, pelo interesse;
- A Roberto José Dias pela excelente qualidade dos desenhos;
- A Josemar Maso pelo excelente trabalho de datilografia;
- À Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pelo apoio financeiro.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao caríssimo Professor Domingos Boechat Alves, minha gratidão. É uma honra tê-lo como mestre e amigo. Admirã-por sua simplicidade, por seu espírito de luta, dedicação e por seu magnífico trabalho em prol do desenvolvimento científico do país.

E finalmente pela proposição do presente tema de dissertação, sugestões e interesse.

SUMÁRIO

SIMBOLOGIA	viii
RESUMO	xi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 - Introdução	3
2.2 - Estabilidade de placas delgadas	7
2.2.1 - Introdução	7
2.2.2 - Flambagem de uma placa retangular simplesmente apoiada. Casos I e II	9
2.3 - Resistência pós-flambagem	19
2.4 - Largura efetiva	22
2.4.1 - Elementos enrijecidos em ambas as bordas paralelas à direção da tensão	22
2.4.2 - Elementos com uma borda enrijecida e outra livre, sendo ambas paralelas à direção da tensão de compressão	32
2.5 - Membros em compressão axial	41
CAPÍTULO 3 - PROCESSO NUMÉRICO COMPUTACIONAL	47
3.1 - Introdução	47
3.2 - Configuração geométrica do i-ésimo elemento	49
3.3 - Propriedades geométricas do i-ésimo elemento ...	51
3.3.1 - Elemento retilíneo	51
3.3.2 - Elemento circular	52
3.4 - Propriedades seccionais	55
3.4.1 - Propriedades seccionais - seção plena	56
3.4.2 - Propriedades seccionais - seção reduzida ...	58
3.5 - Programa condificado em FORTRAN	73
CAPÍTULO 4 - EXEMPLOS E COMPARAÇÕES	74
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
APÊNDICE A	91

APÊNDICE B - MANUAL DO USUÁRIO	93
B.1 - Introdução	93
B.2 - Modelagem da seção transversal	93
B.3 - Entrada de dados	102
APÊNDICE C	118
APÊNDICE D	122
APÊNDICE E	124

SIMBOLOGIA

LISTA BÁSICA DE SÍMBOLOS

- A, A_{ef} - Área e Área efetiva da seção transversal, respectivamente (L^2);
- a, b, t - Dimensões da placa (comprimento, largura e espessura, respectivamente (L));
- a/b - Relação de aspecto;
- b_e - Largura efetiva (L);
- b'_e - Largura efetiva para sub-elemento (L);
- C - Centróide da seção transversal
 - Coeficiente de flambagem para coluna
 - Coeficiente de proporcionalidade;
- D - Rigidez flexional;
- E - Módulo de elasticidade;
- $f(y)$ - Função deslocamento na direção transversal ao carregamento, para elemento apoiado nos lados $x=0$, $x=a$ e $y=0$ e livre no lado $y=b$;
- $I_\xi, I_\eta, I_{\xi\eta}$ - Momentos e Produto de inércia de área - seção plena (L^4);
- $I_{x_g}(ef), I_{y_g}(ef),$
 $I_{x_g y_g}(ef)$ - Momentos e Produtos de inércia de área - seção efetiva (L^4);
- K - Coeficiente de flambagem;
- L - Comprimento de flambagem (L);
- M_x, M_y - Momento fletor segundo os eixos x e y , respectivamente (FL);
- M_1, M_2 - Momento fletor máximo obtido com o módulo de resistência para seção plena e para seção reduzida respectivamente (FL);
- M_t - Momento fletor médio máximo na falha (experimental) (FL);

M_x, M_y	- Momento fletor em relação aos eixos x e y, respectivamente (FL);
N_x, N_y, N_{xy}	- Tensões resultantes de membrana;
n	- número de elementos da seção transversal;
\tilde{N}_x	- Tensão crítica de flambagem (força por unidade de comprimento - F/L);
P	- Força de compressão (F);
Q	- Fator de forma ou de coluna, isto é, fator de área ou fator de tensão;
R_ξ, R_η	- Raio de giração (L);
$R_{\xi p}, R_{\eta p}$	- Raio de giração mínimo e máximo (L);
S_ξ, S_η	- Módulo de resistência - seção plena (L ³);
$S_{\xi(ef)}, S_{\eta(ef)}$	- Módulo de resistência - seção efetiva (L ³);
V_y	- Força cisalhante (FL);
w	- Deflexão de um ponto da superfície de referência da placa;
x, y	- Eixos coordenados do sistema de referência global;
x_C, y_C	- Coordenadas do centróide da seção;
x_S, y_S	- Coordenadas do centro de cisalhamento;
ξ, η	- Eixos coordenados com centro no centróide C e paralelos aos eixos x e y;
ξ_p, η_p	- Eixos principais de inércia;
ν	- Coeficiente de Poisson;
σ	- Tensão de trabalho;
σ_b	- Tensão básica ou de projeto;
σ_{cc}	- Tensão calculada pelas expressões (2.54) e (2.55);
σ_{ct}	- Tensão de flambagem obtida de testes;
σ_{cr}	- Tensão crítica de flambagem;
σ_{ca}	- Tensão admissível reduzida;

- σ_e - Tensão de escoamento;
 σ_m - Limite de resistência obtido dos testes;
 $\sigma_{m\acute{a}x}$ - Tensão máxima de borda;
- (Unidade de Tensão - FL^{-2})

Demais símbolos - Descritos no Texto.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um processo numérico computacional e um programa codificado em FORTRAN, para se obter as propriedades seccionais plenas e efetivas de membros estruturais de paredes delgadas. As propriedades efetivas são de correntes de uma redução na área da seção transversal, como consequência da flambagem local.

O programa está fundamentalmente baseado nas especificações para o projeto de membros estruturais leves, AISI (American Iron and Steel Institute) e NB-143 (Norma Brasileira - ABNT) e tem por suporte o programa computacional SEDEL.

São apresentados alguns resultados obtidos com o referido processo.

ABSTRACT

This work presents the development of a numerical procedure and the implementation of a computer program for the determination of the cross-sectional properties of thin wall members when local buckling is taken into account.

The numerical procedure complies with the Specification for the Design of Light Gage Cold-Formed Steel Structural Members (AISI), the Brazilian Norm NB-143 (ABNT) and has the support of the computational program SEDEL.

Several examples are presented and compared with known results.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A resistência pós-flambagem apresentada à compressão por elementos delgados, é vista como o principal aspecto no campo de projeto de estruturas leves. Ela, quando considerada, proporciona um melhor aproveitamento na capacidade de carga do elemento e conseqüente economia de material.

Paralelamente, o efeito da flambagem local é de fundamental importância em projetos que envolvem membros estruturais de paredes delgadas, uma vez que seu efeito é refletido através de uma redução nas propriedades seccionais plenas. Esta redução se torna mais aparente quando os elementos componentes do perfil possuem suas respectivas razões largura-espessura elevadas e, notadamente, quando sujeitos a níveis elevados de tensão.

Evidentemente, o conhecimento das propriedades seccionais considerando a seção plena e a efetiva (reduzida), é imprescindível a todo e qualquer projeto de estruturas que envolva tais membros.

Com o propósito de se obter as propriedades seccionais plenas e efetivas, desenvolve-se um procedimento numérico computacional e programa codificado em FORTRAN. Os perfis são obtidos por conformação a frio a partir de chapas finas de aço ou de outros materiais.

O processo numérico, aqui elaborado, baseia-se nas especificações para projeto de membros estruturais leves, NB-143 (Norma Brasileira - ABNT) [17] e AISI (American Iron and Steel Institute) [4], e tem como suporte o programa computacional SEDEL [22]. A hipótese fundamental para a elaboração deste processo, é que os elementos de parede das seções transversais possam ser discretizados em tantos elementos quantos necessários, de tal modo que a seção venha a ser modelada por um conjunto de nós interligados por elementos retilíneos e/ou circulares.

No apêndice B é apresentado um manual do usuário. Nele encontra-se as informações necessárias para a utilização do programa PEPAD. Estas consistem de procedimentos básicos referentes a modelagem da seção transversal, bem como da entrada de dados.

Para verificar a validade da formulação desenvolvida e apresentada no capítulo 3, são determinadas as propriedades plenas e efetivas para uma variedade de seções transversais de uso corrente. Para efeito comparativo, os resultados são apresentados no capítulo 4, em tabelas, simultaneamente com resultados conhecidos.

No apêndice E são apresentadas tabelas contendo propriedades plenas e efetivas de perfis estruturais, de aço, conformados a frio e, amplamente utilizados em estruturas. As dimensões dos perfis estão em acordo com a Norma Brasileira Registrada - NBR 6355 [24].

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - INTRODUÇÃO

O problema da estabilidade de placas delgadas sob compressão tem sido extremamente investigado por muitos pesquisadores. Historicamente, a primeira solução deste problema data de 1891, quando Bryan [9] apresentou a análise para uma placa retangular simplesmente apoiada em todas as bordas, e sujeita a uma carga compressiva uniformemente distribuída no plano de referência, atuando em dois lados opostos. A solução apresentada provém da equação diferencial de equilíbrio estático da placa, a qual relaciona as forças de contorno com o deslocamento normal da placa.

A contribuição de Timoshenko [2] neste campo foi valiosa, uma vez que ele obteve resultados simples para a maioria dos casos que são importantes na engenharia. Outra análise deste problema é vista por Marguerre [15] para várias condições de carregamento e apoio das placas.

Em estruturas aeronáuticas, entretanto, chapas delgadas são frequentemente utilizadas além do limite de estabilidade, e a carga que pode ser suportada pela estrutura é determinada pelo limite de resistência à compressão. A resistência apresentada por esses elementos para valores de tensão acima da tensão crítica, ou tensão de Bryan, foi estudada inicialmente por Von Karman [3] em 1928. Contudo, a complexidade das equações governantes levou-o a introduzir a hipótese de largura efetiva.

Os primeiros testes com finalidade de determinar-se experimentalmente o limite de resistência de placas delgadas, foram realizados por Shuman e Back [11]. Eles observaram que, para placas largas e delgadas, o limite de resistência chegava a ser cerca de trinta vezes maior que a carga crítica de Bryan, e que para placas espessas e estreitas, a carga máxima não excedia a de Bryan. Além disso, foi observado que para placas largas e delga-

das, a carga máxima torna-se praticamente independente da largura da placa.

A questão da resistência máxima de uma placa delgada, particularmente de placas com reforços na direção da carga, foi nesta época de vital importância para a engenharia aeronáutica. Métodos empíricos [12] foram, então, propostos, até que Von Karman [3] desenvolveu uma fórmula semi-empírica para a determinação da capacidade plena de uma placa simplesmente apoiada. Sua formulação é simplificativa e está baseada na hipótese de que na falha, duas tiras adjacentes às bordas enrijecidas estão sujeitas a tensões de compressão uniformemente distribuídas e iguais a tensão de escoamento do material; a região central da placa mais energicamente distorcida, pode ser considerada livre de tensão.

Adicionalmente, numerosos testes foram realizados e espessões desenvolvidas para a engenharia aeronáutica, mas que não cobriam outras faixas de interesse. De principal interesse para a engenharia naval, foram os extensivos testes conduzidos através de U. S. Experimental Model Basin, com a finalidade de se determinar o limite de resistência de placas retangulares de aço sob compressão. Os testes apresentados na referência [13] foram realizados sob vários aspectos e os resultados criteriosamente analisados. Convém ressaltar que numa série destes testes foi mantida constante a espessura de 2,77mm, e a largura variou entre 127 e 762mm, inclusive. Já em outro grupo era a espessura a variar, numa faixa entre 1,27 e 2,77mm, inclusive. Os resultados foram incisivos para a utilização da formulação proposta por Von Karman [3] uma vez que ela era compatível com os ensaios experimentais, mais explicitamente para placas cuja largura excedia 254mm. Para razões largura-espessura maiores que 100, a capacidade máxima de carga era pouco afetada pela largura da placa. As placas com largura em torno de 762mm apresentam uma resistência insignificante, com relação às de 254mm de largura.

O caminho experimental era evidente, tendo em vista a complexidade matemática da equação diferencial de equilíbrio para placas no campo de grandes deflexões. Esta teoria foi desenvolvida por Kirchhoff [18]. A forma final das equações foi dada por Von Karman. A partir daí ficou conhecida como equação diferencial

de Von Karman. Algumas soluções aproximadas desta equação para os casos mais simples, isto é, placas retangulares e circulares uniformemente comprimidas, podem ser encontradas em [19].

Obviamente, a grande variedade de formas existentes e soluções altamente complicadas, levaram Winter e outros a buscarem relações simples para o problema. Uma nova verificação da hipótese apresentada em [3], foi levada a efeito por Sechler [8] e Winter [1,6,7]. A diferença entre os testes realizados por Winter e os apresentados em [8,11], é que os últimos trabalharam com placas isoladas, enquanto que o primeiro, com flanges, como parte integrante de um elemento estrutural, como por exemplo os flanges de uma viga I. Por outro lado, Winter não se limitou a tensões da ordem de escoamento, mas considerou também tensões na faixa elástica. A expressão proposta em [3] foi mais uma vez confirmada, mas um coeficiente variável função da geometria e integridade do carregamento pareceu em melhor concordância com os resultados experimentais. A expressão proposta em [3] superestima o valor da largura efetiva para pequenos e médios valores da razão largura-espessura. Ficou, portanto, desenvolvida uma expressão simples e coerente com as evidências experimentais, para a determinação da largura efetiva.

Por outro lado, para placas com uma borda livre paralela à direção da tensão, e outra oposta simplesmente apoiada, interessa de perto o seu comportamento. Uma vez observado [1] que esses elementos diferiam frontalmente dos enrijecidos em ambas as bordas paralelas à direção da tensão, expressões foram desenvolvidas para o projeto destes elementos. Efetivamente, o projeto destes elementos se baseia em tensões admissíveis reduzidas em função da relação largura-espessura do elemento, conforme é visto nas especificações de projeto [4,17].

Como resultado do comportamento de pós-flambagem as propriedades geométricas da seção mudam com o aumento de carga. A área da seção transversal é então reduzida e na forma de satisfazer a condição de que a força através da seção transversal é zero, o eixo neutro muda correspondentemente de posição. Em consequência, momentos de inércia, módulos de resistência e outras propriedades ligadas direta ou indiretamente à área, tem seus valo-

res plenos reduzidos.

Pretende-se, então, desenvolver um processo numérico computacional e programa em FORTRAN, para calcular estas propriedades para os diversos tipos de seções. Uma visão sumária deste procedimento é apresentada em [23].

Inúmeros são os programas computacionais encontrados na literatura para determinação de propriedades seccionais plenas. Por exemplo, o apresentado por Kollbrunner e Basler [20] baseado em diferenças finitas, porém limitado a seções abertas. um programa mais geral que o anterior, denominado PROSEC [21], determina as propriedades requeridas na flexão, torção uniforme ou não uniforme de seções de paredes delgadas. Este programa, por sua vez, é limitado às seções abertas constituídas por elementos retilíneos em que no máximo, concorrem quatro elementos a um único nó. Aplica-se também, para seções com apenas uma cavidade tubular.

Outro programa mais abrangente é o SEDEL [22]. Com ele determina-se as mesmas propriedades de [21]. Contudo, este programa supera limitações comuns à maioria dos trabalhos citados anteriormente e encontrados na literatura. Dentre estas limitações pode-se citar, entre outras, a forma da seção transversal, o número de ramificações a partir de um único nó e o número de cavidades tubulares.

Perfis de paredes delgadas, quando sob ação de forças compressivas, devida a flexão ou compressão axial, podem vir a sofrer uma redução nas suas propriedades seccionais plenas. Neste caso, a redução é reflexo da flambagem local verificada em alguns elementos que constituem o membro estrutural.

Apesar da importância de se conhecer as propriedades efetivas, nenhum dos processos mencionados considera a flambagem local. Este é, pois, o objetivo desta dissertação.

O programa que ora se desenvolve tem por base o programa SEDEL [22], devido a sua generalidade e, ainda, as recomendações das normas para o projeto de membros estruturais leves, AISI [4] e NB-143 [17].

2.2 - ESTABILIDADE DE PLACAS DELGADAS

2.2.1 - INTRODUÇÃO

Flanges, almas e outros elementos planos de membros estruturais apresentam boa resistência quando sob tração. Contrariamente, quando sujeitos a cargas de compressão além de um valor determinado (crítico), diminuem em muito sua resistência, e apresentam uma configuração ondulada caracterizando o que se denomina de flambagem local.

As placas possuem a propriedade, talvez única dentre os componentes estruturais, de suportarem cargas bem maiores que a carga inicial de flambagem local, sem no entanto afetar o desempenho do componente estrutural.

As investigações sobre a estabilidade de placas delgadas, sujeitas a tensões resultantes de membrana em seu plano de referência, figura 2.1, estão baseadas na seguinte questão: considerando que a distribuição de tensões resultantes de membrana N_x , N_y , N_{xy} , na configuração de equilíbrio de flambagem incipiente são mantidas invariáveis, existirá uma configuração de equilíbrio alternativa admitindo flexão, que satisfaça as equações de equilíbrio, isto é:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{yx}}{\partial y} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = 0 \quad (2.2)$$

$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) + \left(N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2 N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = 0 \quad \dots \quad (2.3)$$

onde:

D é a rigidez flexional da placa definida por

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2.4)$$

E - Módulo de elasticidade.

ν - Coeficiente de Poisson.

w - Deflexão de um ponto na superfície média da placa.

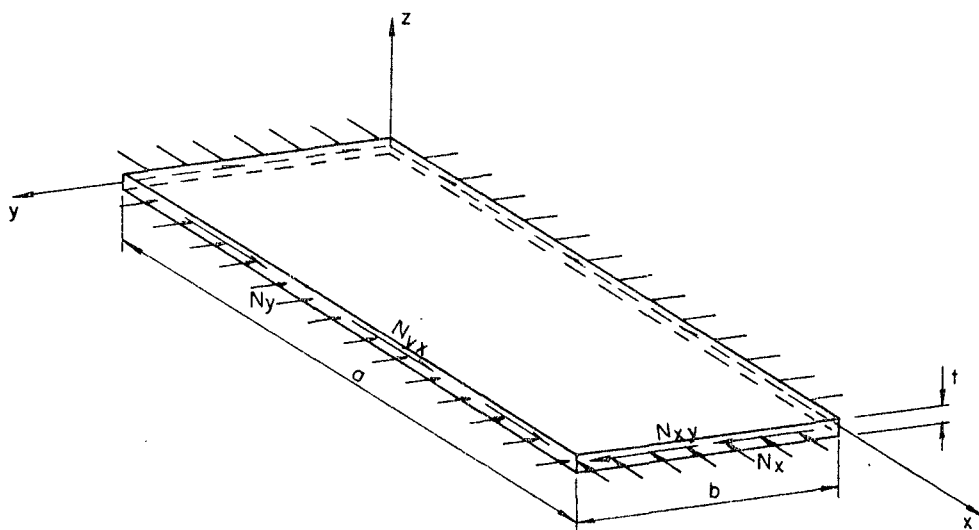


Figura 2.1 - Placa retangular plana carregada no plano médio.

A equação (2.3) relaciona as forças de contorno com o deslocamento normal da placa. Desta forma, pode-se determinar o menor valor da carga que permite a existência de duas configurações, isto é, uma plana e uma flambada. Assume-se que as tensões N_x e N_y nas equações (2.1), (2.2) e (2.3) são compressivas, conforme é ilustrado na figura 2.1.

Nos itens que se seguem, são apresentados duas aplicações da equação diferencial de equilíbrio, equação (2.3); intimamente ligada ao comportamento de flanges de membros estruturais de paredes delgadas, sujeitos a carregamento compressivo.

2.2.2 - FLAMBAGEM DE UMA PLACA RETANGULAR SIMPLEMENTE APOIADA

- CASO I

Considerar a placa retangular, simplesmente apoiada em todos os lados e sujeita a um carregamento compressivo, uniformemente distribuído ao longo dos lados $x=0$ e $x=a$, atuando no seu plano de referência conforme é visto através da figura 2.2.

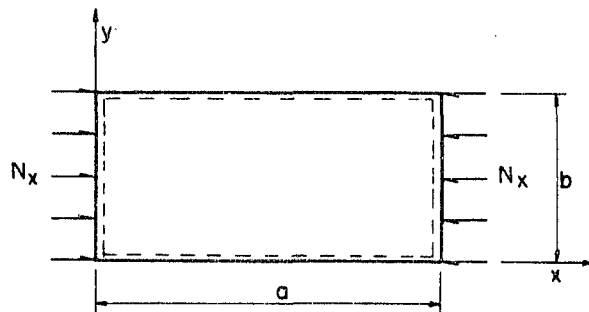


Figura 2.2 - Placa retangular uniformemente comprimida.

Então, para a condição de carregamento da placa, figura 2.2, resulta:

$$N_y = N_{xy} = 0 \quad (2.5)$$

Considerar que a tensão resultante N_x seja incrementada gradativamente até a configuração de flambagem incipiente. Neste estágio, denota-se N_x por \tilde{N}_x , e a equação diferencial governante (2.3), tendo em vista que $N_x = \tilde{N}_x$, torna-se:

$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) + \tilde{N}_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (2.6)$$

A configuração da placa pode ser expressa pela seguinte função deslocamento:

$$w(x,y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn} \operatorname{sen} \frac{m\pi}{a} x \operatorname{sen} \frac{n\pi}{b} y \quad (2.7)$$

que além de satisfazer a equação diferencial (2.6), satisfaz também as condições de contorno para a placa simplesmente apoiada, isto é:

$$\text{Em } x=0 \quad w(0,y)=0 \quad \text{e} \quad M_x(0,y)=0 \quad (2.8)$$

$$y=0 \quad w(x,0)=0 \quad \text{e} \quad M_y(x,0)=0 \quad (2.9)$$

$$x=a \quad w(a,y)=0 \quad \text{e} \quad M_x(a,y)=0 \quad (2.10)$$

$$y=b \quad w(x,b)=0 \quad \text{e} \quad M_y(x,b)=0 \quad (2.11)$$

Substituindo a função deslocamento, $w(x,y)$, na equação diferencial (2.6) resulta:

$$D \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn} \left[\left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 + 2\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4 - \frac{\tilde{N}_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \right] \\ \times \operatorname{sen} \frac{m\pi}{a} x \operatorname{sen} \frac{n\pi}{b} y = 0 \quad (2.12)$$

que para uma solução não trivial, requer

$$\left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 + 2\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4 - \frac{\tilde{N}_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 = 0 \quad (2.13)$$

de onde se obtêm

$$\tilde{N}_x = \frac{\pi^2 D}{b^2} \left[m \left(\frac{b}{a} \right) + \frac{n^2}{m} \left(\frac{a}{b} \right) \right]^2 \quad (2.14)$$

ou, tendo em vista a relação (2.4), resulta

$$\tilde{N}_x = \frac{\pi^2 E t^3}{12(1-\nu^2)b^2} \left[m \left(\frac{b}{a} \right) + \frac{n^2}{m} \left(\frac{a}{b} \right) \right]^2 = K \frac{\pi^2 E t^3}{12(1-\nu^2)b^2} \quad (2.15)$$

onde K , conhecido como coeficiente de flambagem, depende das condições de contorno, da relação de aspecto a/b , e dos inteiros m e n . A equação (2.15), através do coeficiente K , expressa a relação entre a carga crítica de flambagem para as várias possibilidades dos inteiros m e n , conforme é visto através da figura 2.3.

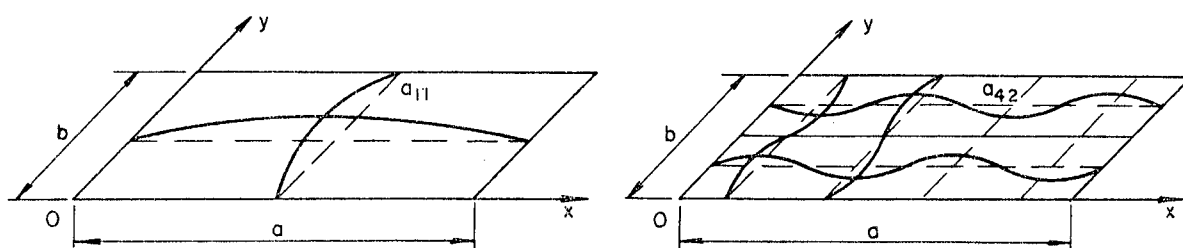


Figura 2.3 - Forma da superfície defletida da placa para os termos a_{11} e a_{42} da função-deslocamento.

A equação (2.15) é satisfeita para um número infinito de valores de \tilde{N}_x . Contudo, interessa apenas o menor destes valores para o qual a forma defletida existe. Evidentemente que o menor valor dos inteiros m e n fornece o menor valor de \tilde{N}_x ,

que é de interesse prático. Por simples inspeção na equação (2.15), é aparente que o valor de n que produz o menor valor de \tilde{N}_x é 1. Uma análise para o inteiro m é dada através da figura 2.5. Por conseguinte, o coeficiente K , na equação (2.15), fica

$$K = \left[m \left(\frac{b}{a} \right) + \frac{1}{m} \left(\frac{a}{b} \right) \right]^2 \quad (2.16)$$

Assim, a equação (2.15), com K dado por (2.16), representa a carga crítica mínima de flambagem para a qual a placa flamba em meia onda senoidal através da largura da placa, conforme é visto na figura 2.4.

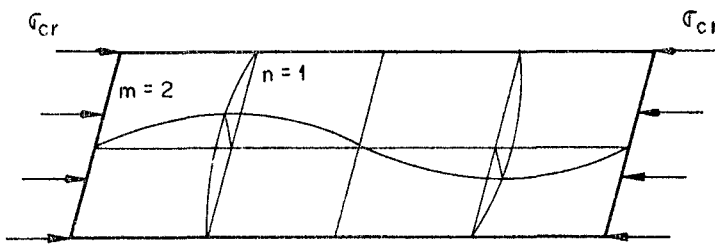


Figura 2.4 - Flambagem local para σ_{cr} mínima.

Dividindo-se ambos os membros da relação (2.15) por t , obtém-se a tensão crítica de flambagem ou tensão de Bryan, portanto

$$\frac{\tilde{N}_x}{t} = \sigma_{cr} = K \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} \quad (2.17)$$

O coeficiente de flambagem K indica a dependência da tensão crítica com a relação de aspecto. Na figura 2.5 estão representadas curvas dos valores de K para os diversos valores de m ($m=1, 2, 3, \dots$) e $n=1$.

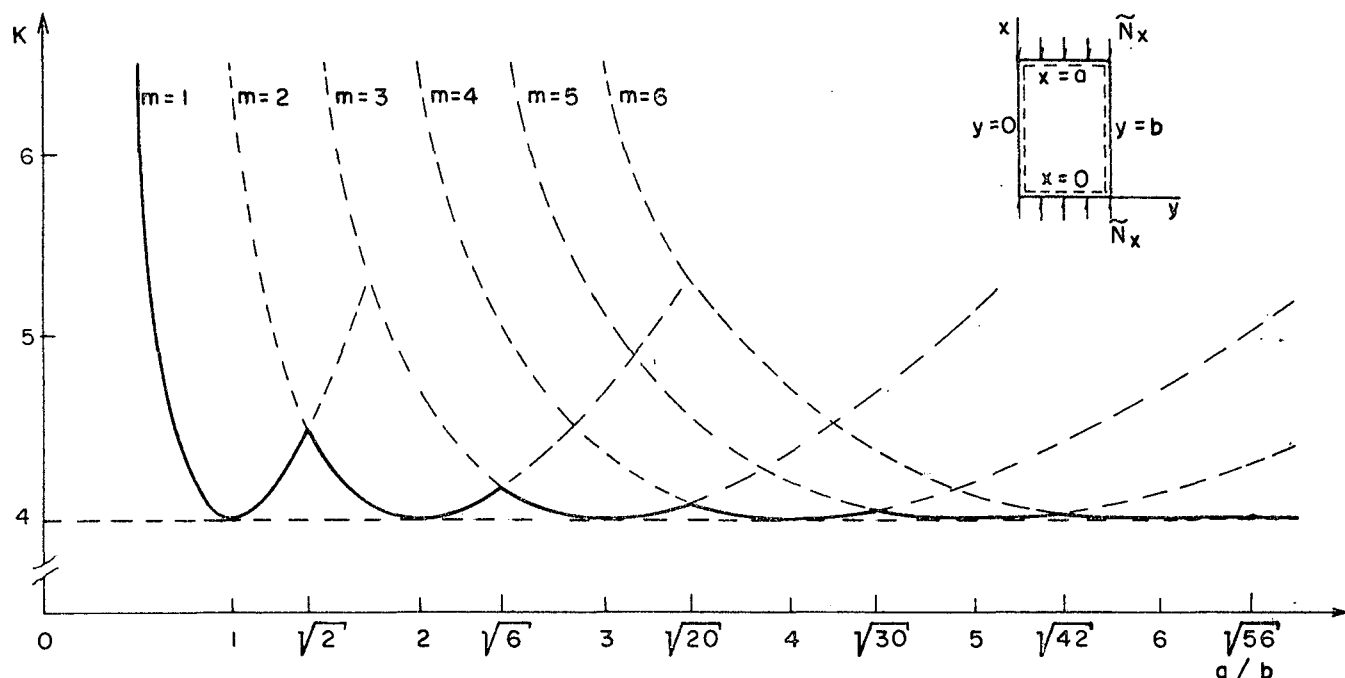


Figura 2.5 - Coeficiente de flambagem para a tensão crítica mínima em função da relação de aspecto.

Observa-se, através da figura 2.5, que para cada número de meias ondas senoidais na direção do carregamento, existe uma relação de aspecto a/b , para a qual K , e portanto σ_{cr} , assume um valor mínimo.

Derivando-se a expressão (2.16) com respeito a relação de aspecto, o valor minimizante é então determinado pela relação

$$\frac{dK}{d\left(\frac{a}{b}\right)} = 0 = 2 \left[m\left(\frac{a}{b}\right)^{-1} + \frac{1}{m}\left(\frac{a}{b}\right) \right] \left[-m\left(\frac{a}{b}\right)^{-2} + \frac{1}{m} \right] \quad (2.18)$$

resultando $\frac{a}{b} = m$

Assim, σ_{cr} assume o valor mínimo para a relação de aspecto igual a um número inteiro positivo, e o valor correspon

dente de K é 4. Observa-se também que K tende para o valor mínimo mencionado, à medida que a relação de aspecto cresce e paralelamente aumenta o número de meias ondas na direção do carregamento. As relações a/b correspondentes aos pontos de transição, em que a configuração passa de m para $m+1$ ondas, é obtida considerando-se que $K(m)=K(m+1)$. Então, utilizando a relação (2.16), pode-se escrever:

$$m \frac{b}{a} + \frac{1}{m} \frac{a}{b} = (m+1) \frac{b}{a} + \frac{1}{(m+1)} \frac{a}{b} \quad (2.19)$$

Desta equação resulta

$$\frac{a}{b} = \left[m(m+1) \right]^{1/2} \quad (2.20)$$

Substituindo m por 1, 2, 3, 4, 5 obtém-se, para a/b , respectivamente, os valores $\sqrt{2}$, $\sqrt{6}$, $\sqrt{12}$, $\sqrt{20}$, $\sqrt{30}$ conforme é indicado na figura 2.5. Para placas longas, m é um número grande e usando a relação (2.20) pode-se escrever:

$$\frac{a}{b} \approx m \quad (2.21)$$

isto é, uma placa muito longa flamba em meias ondas longitudinais de comprimentos aproximadamente iguais a largura da placa. Assim, a placa fica aproximadamente subdividida em quadrados.

Dentro da faixa elástica, a configuração flambada existe para um valor bem definido dado pela equação (2.17). Este é o valor da tensão crítica mínima de flambagem. Acima do limite de proporcionalidade, a expressão (2.17) fornece valores exagerados para σ_{cr} . Para a sua utilização nesta faixa é necessário substituir E por E_t , dado pela tangente à curva do diagrama compressivo tensão-deformação [2,10].

- CASO II

Considerar a placa carregada em seu plano de referência conforme é visto na figura 2.6, onde os lados $x=0$, $x=a$ e $y=0$ são simplesmente apoiados, enquanto o lado $y=b$ é livre.

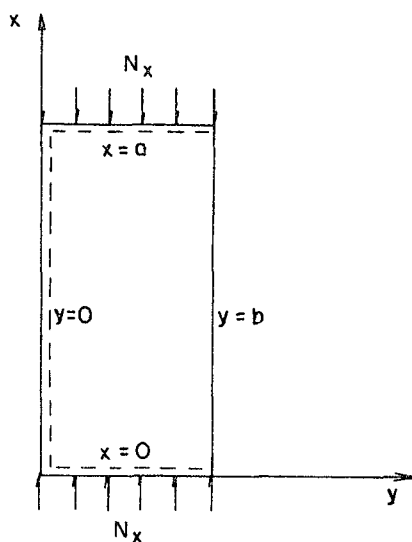


Figura 2.6 - Placa simplesmente apoiada nos lados $x=0$, $x=a$ e $y=0$ e livre no lado $y=b$.

Para este caso, sob a ação da carga compressiva, a placa flamba em meias ondas senoidais na direção do carregamento [2,10,14], e a função deslocamento é dada pela expressão

$$w(x,y) = f(y) \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{m\pi}{a} x \quad (2.22)$$

que satisfaz automaticamente as condições de contorno.

$$\text{Em } x=0 \quad w(0,y)=0 \quad \text{e} \quad M_x(0,y)=0 \quad (2.23)$$

$$x=a \quad w(a,y)=0 \quad \text{e} \quad M_x(a,y)=0 \quad (2.24)$$

Substituindo (2.22) na equação diferencial de equilíbrio (2.6), resulta na seguinte equação diferencial ordinária:

$$\frac{d^4 f(y)}{dy^4} - 2\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \frac{d^2 f(y)}{dy^2} + \left[\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \frac{N_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \right] f(y) = 0 \quad (2.25)$$

cuja solução é

$$f(y) = C_1 \cosh(\alpha y) + C_2 \sinh(\alpha y) + C_3 \cos(\beta y) + C_4 \sin(\beta y) \quad \dots \quad (2.26)$$

onde

$$\alpha = \left[\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{N_x}{D}\right)^{1/2} \right]^{1/2}$$

$$e \quad \beta = \left[-\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{N_x}{D}\right)^{1/2} \right]^{1/2} \quad (2.27)$$

Levando a equação (2.26) na relação (2.22) obtém-se

$$w(x,y) = \left[C_1 \cosh(\alpha y) + C_2 \sinh(\alpha y) + C_3 \cos(\beta y) + C_4 \sin(\beta y) \right] \sin \frac{m\pi}{a} x \quad (2.28)$$

Para as faces $y=0$ e $y=b$ pode-se escrever as seguintes condições de contorno

$$\text{Em } y = 0 \quad w(x,0) = 0 \quad \text{e } M_y(x,0) = 0 \quad (2.29)$$

$$y = b \quad M_y(x,b) = 0 \quad \text{e } V_y(x,b) = 0 \quad (2.30)$$

As condições de contorno dadas em (2.29), juntamente com a equação (2.28) fornecem

$$C_1 = C_3 = 0 \quad (2.31)$$

e a equação (2.28) reduz-se a

$$w(x,y) = \left[C_2 \sinh(\alpha y) + C_4 \sin(\beta y) \right] \sin \frac{m\pi}{a} x \quad (2.32)$$

Das condições de contorno dadas em (2.30) vem:

$$C_2 \left[\alpha^2 - \nu \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \right] \sinh(\alpha b) - C_4 \left[\beta^2 + \nu \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \right] \sin(\beta b) = 0 \quad \dots \quad (2.33)$$

$$C_2 \alpha \left[\alpha^2 - (2-\nu) \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \right] \cosh(\alpha b) - C_4 \beta \left[\beta^2 + (2-\nu) \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \right] \times \cos(\beta b) = 0 \quad (2.34)$$

Para uma solução não trivial das equações (2.33) e (2.34) é requerido que seu determinante seja nulo, resultando na equação transcendental

$$\beta \left(\alpha^2 - \nu \frac{m^2 \pi^2}{a^2} \right) \operatorname{tgh}(\alpha b) - \alpha \left(\beta^2 + \nu \frac{m^2 \pi^2}{a^2} \right) \operatorname{tgh}(\beta b) = 0 \quad (2.35)$$

Usando as relações dadas em (2.27), em conjunto com a equação (2.35), determina-se o valor mínimo de N_x , denotado por \tilde{N}_x , para cada m . Os cálculos mostram que o menor valor de \tilde{N}_x é obtido quando $m=1$. Portanto, a placa flamba em meia onda na direção do carregamento.

Timoshenko [2] apresenta, para placas longas, a seguinte expressão empírica para o coeficiente de flambagem:

$$K = 0,456 + \left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad (2.36)$$

que traçado em função da relação de aspecto fornece o gráfico da figura 2.7.

O gráfico da figura 2.7 revela que uma placa com uma borda livre paralela ao carregamento e com as outras simplesmente apoiadas, flamba em meia onda senoidal independentemente da relação de aspecto a/b .

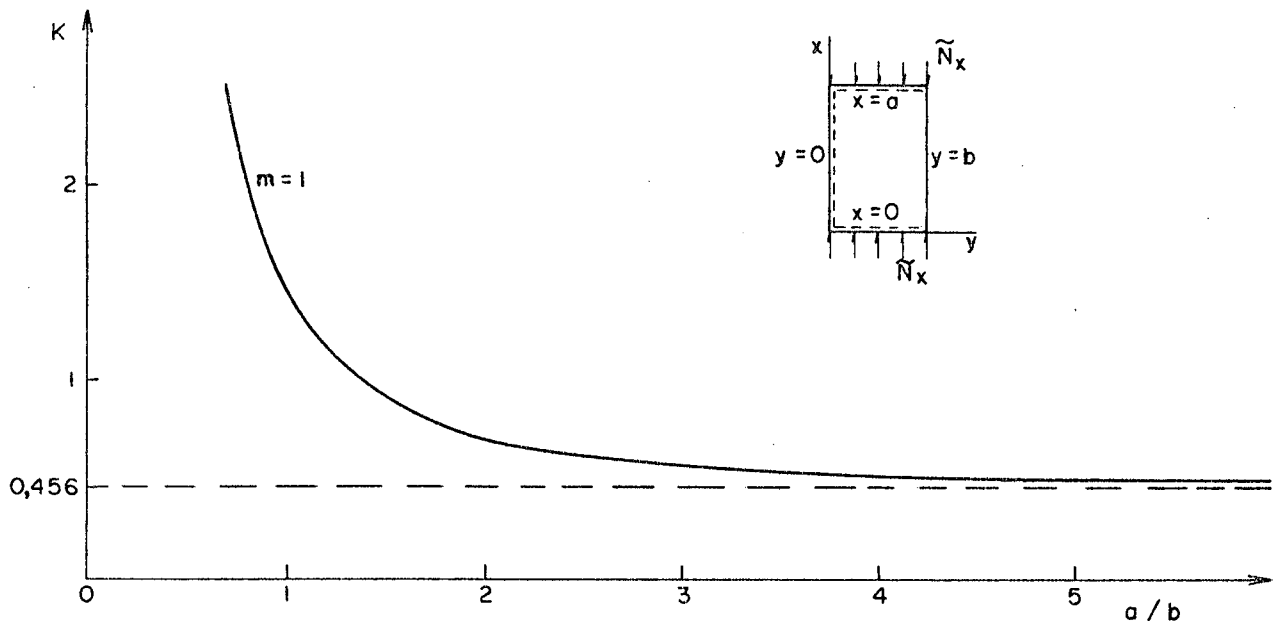


Figura 2.7 - Coeficiente de flambagem para a tensão crítica mínima em função da relação de aspecto.

2.3 - RESISTÊNCIA PÓS-FLAMBAGEM

A teoria clássica de pequena deflexão [2,9,10,19], estabelece que uma placa retangular, sujeita a tensões resultantes de membrana compressivas ou cisalhantes, flamba para uma tensão dada pela equação (2.17), onde o coeficiente de flambagem K depende das condições de contorno e da relação de aspecto a/b . Esta equação é inteiramente análoga à equação de Euler para flambagem de coluna, dada por

$$\sigma_{cr} = C \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} \quad (2.37)$$

onde o coeficiente C depende do carregamento e das condições de fixação das extremidades.

Contudo, a analogia entre a flambagem de colunas e placas acaba aqui. Experiências com placas comprimidas revelaram uma diferença fundamental entre o significado prático da tensão crítica de Euler para colunas, equação (2.37), e a tensão de Bryan para placas dada pela equação (2.17). Colunas longas falham para a tensão de Euler, ou um valor levemente abaixo dela. Entretanto, para uma placa enrijecida ao longo das bordas paralelas à direção da tensão, aparece uma leve e gradual ondulação quando o valor da tensão dada pela equação (2.17) é alcançado, conforme é visto através da figura 2.8. Isto, absolutamente, não implica a falha da placa. Ela continua a suportar aumento de carga, algumas vezes um múltiplo grande [11] daquela que causou o aparecimento da primeira onda, escassamente perceptível, notadamente quando a razão largura-espessura (b/t) da placa é grande. Esta capacidade de suportar cargas adicionais após a flambagem local é denominada de resistência pós-flambagem.

O comportamento de placas planas na faixa da pós-flambagem é explicado através do modelo de grade, uma vez que é difícil visualizar o desempenho de um elemento bidimensional. A placa é substituída, então, pelo modelo que é mostrado na figura 2.9. Este consiste de uma grade onde o material da placa é

discretizado em barras longitudinais e transversais. A placa está uniformemente comprimida com uma carga P , portanto cada barra longitudinal representa uma coluna carregada com uma carga $P/5$.

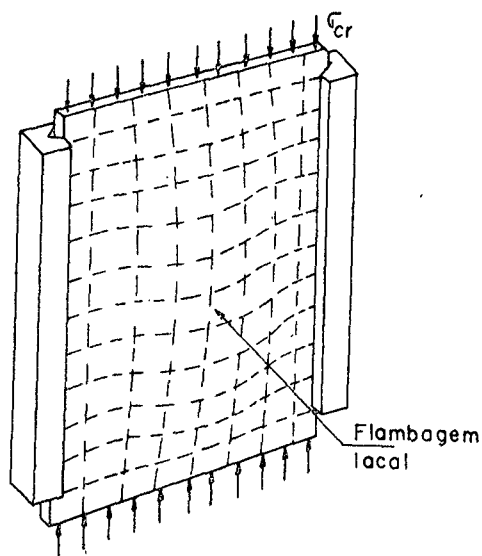


Figura 2.8 - Elemento capaz de suportar carga adicional.

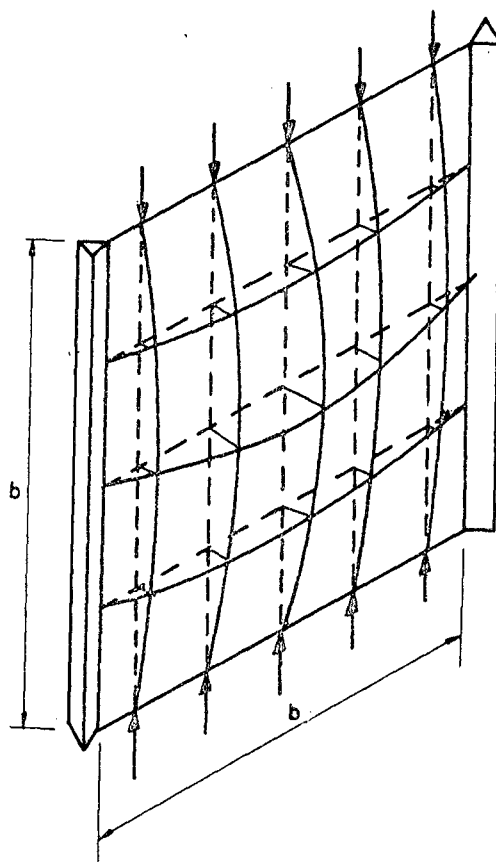


Figura 2.9 - Modelo de grade para placas na faixa de pós-flambagem.

Com o aumento gradual da carga, a tensão de compressão em cada uma das colunas ou barras alcança a tensão crítica de flambagem dada pela equação (2.37) e, portanto, todas as cinco colunas flambam simultaneamente. Porém, tal fato não ocorre no modelo de grade da placa. As barras transversais restringem as deflexões das barras longitudinais. Em consequência, não ocorre a falha das barras longitudinais e elas defletem em quantidades diferentes. O efeito das barras transversais é mais efetivo para aquelas colunas (porções da placa) próximas às bordas enrijecidas. Na região central da placa, as deflexões são bem acentuadas. Por essa razão é que a placa é capaz de suportar cargas adicionais após ter alcançado a carga crítica de flambagem local.

A placa não pode suportar cargas adicionais, e falha apenas quando a parte mais solicitada (região adjacente às bordas) alcança o limite de resistência do material.

O modelo da figura 2.9 representa eficazmente o comportamento de elementos planos enrijecidos ao longo das bordas longitudinais (paralelas à direção da tensão), como por exemplo, o flange da figura 2.10.

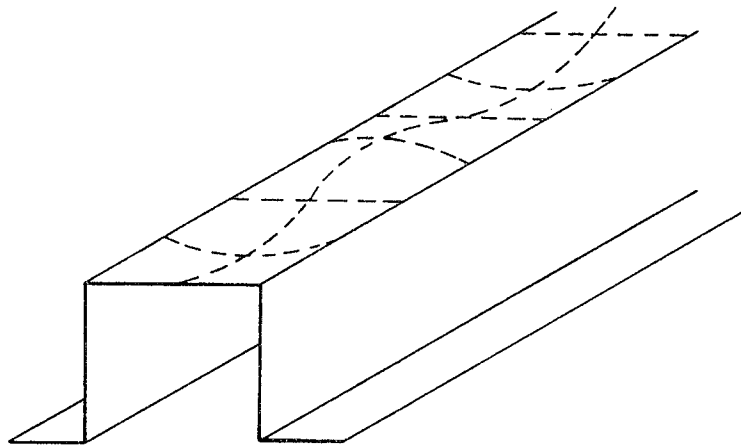


Figura 2.10 - Flambagem do flange em compressão de uma viga de seção cartola.

2.4 - LARGURA EFETIVA

2.4.1 - ELEMENTOS ENRIJECIDOS EM AMBAS AS BORDAS PARALELAS À DIREÇÃO DA TENSÃO

O conceito de largura efetiva para o projeto de placas em compressão foi introduzido por Von Karman [3], em 1932. À medida em que a tensão compressiva é gradualmente aumentada, além da tensão crítica de Bryan, a distribuição uniforme de tensão dá lugar a uma distribuição não uniforme, conforme é visto através da figura 2.11.

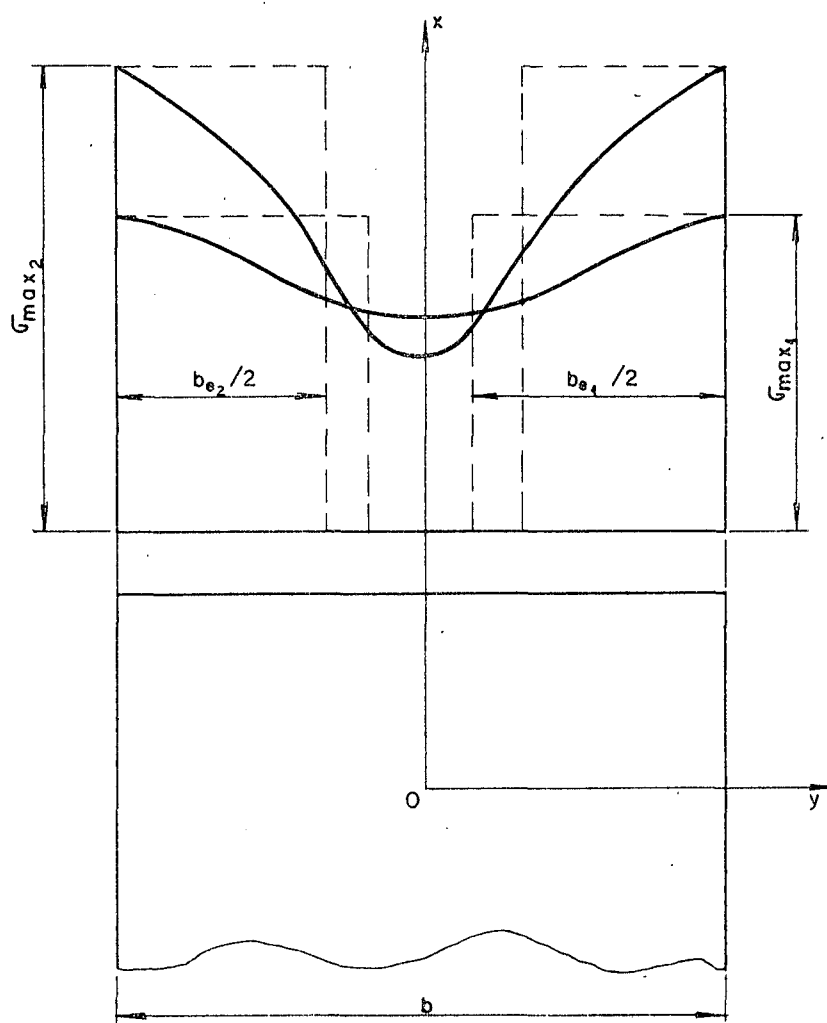


Figura 2.11 - Distribuição de tensão e largura efetiva no campo da pós-flambagem.

A distribuição não uniforme de tensão através da largura da placa é substituída por uma outra, equivalente, que é uniforme sobre uma porção da placa denominada largura efetiva b_e , de intensidade $\sigma_{\text{máx}}$. A figura 2.11 mostra que a largura efetiva diminui com o aumento da tensão na borda, $\sigma_{\text{máx}}$.

Assim, com apenas duas tiras efetivas de largura $b_e/2$ cada, a placa de largura geométrica b , é equivalente a uma placa estreita totalmente efetiva, de largura equivalente b_e .

A expressão analítica derivada por Von Karman para a largura efetiva é:

$$b_e = 1,9t \sqrt{E/\sigma_e} \quad (2.38)$$

ou

$$b_e = Ct \sqrt{E/\sigma_e} \quad (2.39)$$

Com este conceito, a parte central da placa, em compressão, é imaginada como removida e a tensão uniforme age através da largura efetiva b_e .

Sechler [8], através de experimentos, tentou verificar o coeficiente 1,9 da equação (2.38) e concluiu que em vez de fixar o valor de 1,9 dever-se-ia considerar um coeficiente, que de acordo com seus testes seria função de $\sqrt{E/\sigma_e} (t/b)$.

A figura 2.12 apresenta os resultados dos experimentos realizados por Sechler, onde o coeficiente C é traçado em função do parâmetro $\sqrt{E/\sigma_e} (t/b)$. Também representa-se nesta figura a equação (2.38).

Vê-se que a equação (2.38) super-estima o valor da largura efetiva pois, quase em sua totalidade, os pontos experimentais estão abaixo da reta dada pela equação (2.38). Somente para valores muito pequenos de $\sqrt{E/\sigma_e} (t/b)$, o que corresponde a placas extremamente largas e delgadas, C torna-se próximo de 1,9.

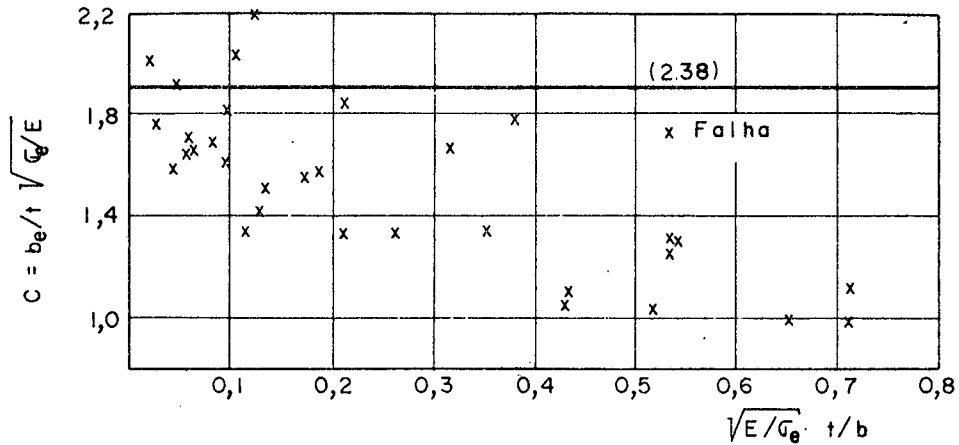


Figura 2.12 - Determinação experimental de largura efetiva.

Winter [1], imbuído do mesmo objetivo que Sechler, realizou uma extensiva série de experiências. Como resultado, mais uma vez, a hipótese de Von Karman se confirmara. Além disso, Winter não se limitou apenas a tensões da ordem da tensão de escoamento, como Karman e Sechler, mas considerou tensões na faixa elástica. A figura 2.13 apresenta os resultados da série A, onde a razão largura espessura variou entre 64 e 170, inclusive.

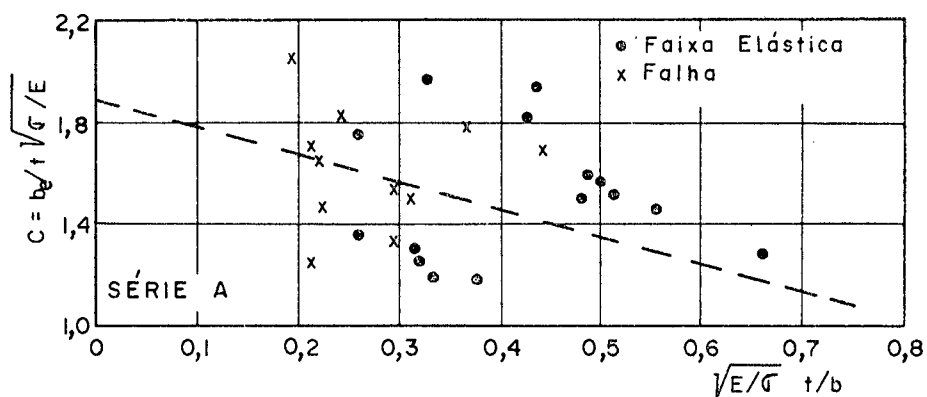


Figura 2.13 - Determinação experimental da largura efetiva.

Os experimentos realizados por Sechler foram feitos com placas individuais e para tensões da ordem de escoamento. Winter, por sua vez, trabalhou com flanges, representando partes de componentes estruturais. Contudo, os resultados são semelhantes. Além disso, os pontos na figura 2.13 obtidos para tensões baixas, estão localizados de forma geral como aqueles obtidos para tensões da ordem da tensão de escoamento. Assim, a equação (2.39) é usada indiferentemente para ambos os tipos de tensão, e portanto resulta

$$b_e = Ct \sqrt{E/\sigma} \quad (2.40)$$

na qual σ é a tensão nominal de compressão que atua no flange, limitada ao valor da tensão de escoamento.

Uma vez determinada a relação entre o coeficiente C e o parâmetro $\sqrt{E/\sigma}$ (t/b), ficou estabelecida experimentalmente a expressão para a largura efetiva b_e . Representando os valores médios de ambos os testes, figura 2.12, 2.13, resulta na seguinte equação para C :

$$C = 1,9 - 1,09 \sqrt{E/\sigma} (t/b) \quad (2.41)$$

e que substituída em (2.40) resulta na equação de largura equivalente, comumente denominada de efetiva.

$$b_e = 1,9t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1 - 0,574 \left(\frac{t}{b} \right) \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \quad (2.42)$$

Uma representação gráfica da equação (2.42), em termos dos parâmetros adimensionais b/t e b_e/b , é mostrada através da figura 2.14, para o valor particular de $E/\sigma = 1000$.

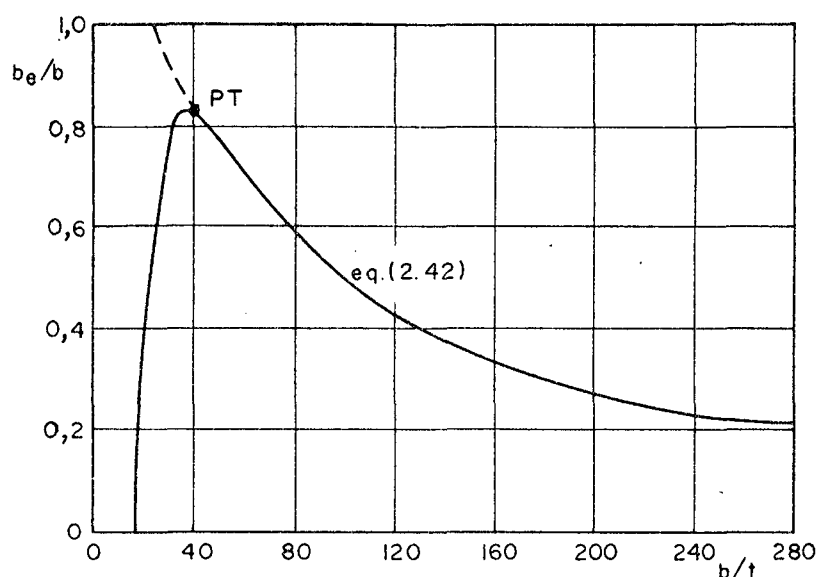


Figura 2.14 - Razão b_e/b em função de b/t .

Observa-se que para médios e altos valores da razão b/t , a relação b_e/b diminui com o aumento de b/t . Entretanto, o inverso ocorre para pequenos valores de b/t , o que é fisicamente impossível. Por conseguinte, a equação (2.42) dá resultados incorretos para pequenos valores da relação largura-espessura. Portanto, seu campo de aplicação está restrito àquela faixa de b/t correspondente aos ensaios. Nestes ensaios, cujos resultados estão representados na figura 2.13, a relação largura-espessura b/t variou de 64 até 170 [1].

Para investigar o comportamento de flanges em compressão, para pequenos valores de b/t , foi idealizado um novo conjunto de experimentos intitulado série B, onde b/t variou desde 14,3 até 56. Os resultados dos testes (figura 2.15) estão sumariados na referência [1], e são aqui reproduzidos.

b/t	TIPO	(a) Séries B e C LARGURA EFETIVA			Col. 5	(b) Séries B e C MOMENTO MÁXIMO		
		σ (psi)	TESTE	GRÁFICO	Col. 4	σ_e	M_1/M_t	M_2/M_t
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
14,3	I-1	26300	14,1t	14,3t	1,01	35700	0,98	0,98
16,3	I-2	27200	16,5t	16,3t	0,99	33100	0,94	0,94
16,4	I-3	26600	16,6t	16,4t	0,99	33100	0,93	0,93
19,2	I-4	27600	19,2t	19,2t	1,00	35100	0,90	0,90
22,0	I-5	27200	21,8t	22,9t	1,05	33100	0,95	0,95
23,6	I-6	26300	23,4t	23,6t	1,01	36200	0,95	0,95
24,0	I-7	29200	22,6t	24,0t	1,06	35100	0,95	0,95
28,9	I-8	27400	27,4t	27,0t	0,98	30200	0,98	0,95
32,0	I-9	27200	31,7t	29,0t	0,91	36200	1,06	0,90
33,5	I-14 α	...	...	...	...	37900	1,07	1,00
36,0	I-15	...	...	...	...	36400	0,84	0,76
38,3	I-10	25600	37,2t	32,5t	0,87	30200	1,02	0,92
42,6	I-11	27400	39,6t	35,0t	0,88	37300	1,14	1,02
45,0	I-12	23500	40,8t	37,0t	0,90	30300	1,04	0,92
49,5	I-16 α	...	...	...	...	37900	1,20	1,04
49,9	I-17	...	...	...	...	36400	0,98	0,84
51,6	I-18 α	...	...	...	...	32200	1,08	0,95
56,0	I-13	28000	48,8t	41,5t	0,85	37300	1,17	0,97
77,7	I-19 α	...	...	...	...	37900	1,55	1,12
86,6	I-20 α	...	...	...	...	32200	1,47	1,10

Figura 2.15 - Resultados dos testes com viga I para pequenos valores de b/t. Séries B e C (α - resultado médio de três ensaios)

Na coluna 4 da tabela da figura 2.15 é visto que flanges com razão largura-espessura na faixa de 14,3 até 30, são praticamente efetivos, isto é, $b_e \approx b$. Para valores crescentes de b/t, a partir de 30, b_e torna-se progressivamente menor que b. Conseqüentemente, é razoável obter-se uma curva de transição, linha pontilhada na figura 2.16, a partir do ponto de coordenadas $(b/t, b_e/b) = (25, 1)$, e tangente à curva representada pela equação (2.42). Como nesta faixa de b/t, a largura efetiva é igual ou muito próxima da largura geométrica b, parece

razoável [1] representar tal relação por uma reta.

Com esta proposição a abscissa do ponto de tangência T, figura 2.16, é determinada pela expressão

$$\left(\frac{b}{t}\right)_1 = \frac{1,0906 \frac{E}{\sigma} + \sqrt{\left(1,0906 \frac{E}{\sigma}\right)^2 - 27,265 \frac{E}{\sigma} \left(1,9 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} - 25\right)}}{1,9 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} - 25} \dots (2.43)$$

e a correspondente equação da reta é

$$b_e = \left[\frac{1,0906}{\left(\frac{b}{t}\right)_1^2} \frac{E}{\sigma} \left(\frac{b}{t} - 25\right) + 25 \right] t \quad (2.44)$$

A obtenção das equações (2.43) e (2.44) é mostrada no apêndice C.

Traçando os valores de b_e em termos de b/t , obtêm-se a curva mostrada na figura 2.16, a qual é constituída de três segmentos denotados por AB, BT e TS.

Assim, utilizando o gráfico da figura 2.16, pode-se obter diretamente a largura efetiva para um dado valor da relação b/t . Uma outra forma seria utilizar diretamente as equações correspondentes a cada trecho da curva na figura 2.16, ou seja,

$$b_e = b \quad \text{para} \quad 0 < \frac{b}{t} \leq 25 \quad (2.45)$$

$$b_e = \left[\frac{1,0906}{\left(\frac{b}{t}\right)_1^2} \frac{E}{\sigma} \left(\frac{b}{t} - 25\right) + 25 \right] t \quad \text{para} \quad 25 < \frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_1 \dots (2.46)$$

$$b_e = 1,9t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1,0 - 0,574 \left(\frac{t}{b} \right) \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} > \left(\frac{b}{t} \right)_1 \quad (2.47)$$

onde $\left(\frac{b}{t} \right)_1$ é dado pela relação (2.43).

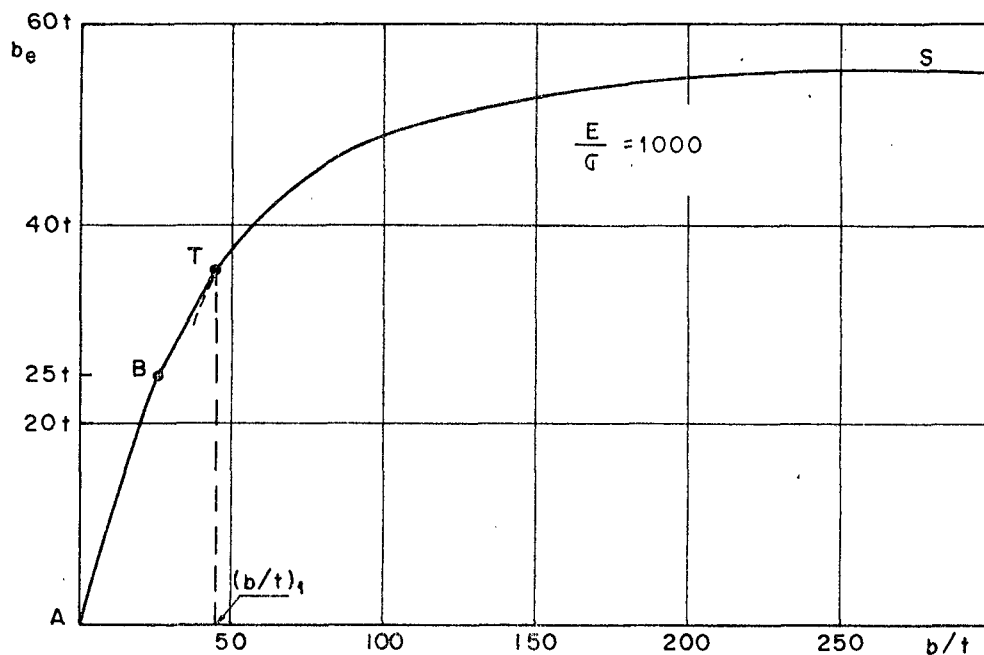


Figura 2.16 - Determinação da largura efetiva.

Mais tarde é apresentado pelo próprio Winter [6], uma pequena correção para o coeficiente C, dado pela equação (2.41). Desta proposição, resulta para C a expressão

$$C = 1,9 - 0,9025 \sqrt{E/\sigma} \quad (2.48)$$

e, conseqüentemente, para a largura efetiva, a expressão

$$b_e = 1,9t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1,0 - 0,475 \left(\frac{t}{b} \right) \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \quad (2.49)$$

Uma representação da equação (2.49), em termos dos parâmetros adimensionais b/t e b_e/b , é mostrada através da figura 2.17, para o valor particular de $E/\sigma = 1000$.

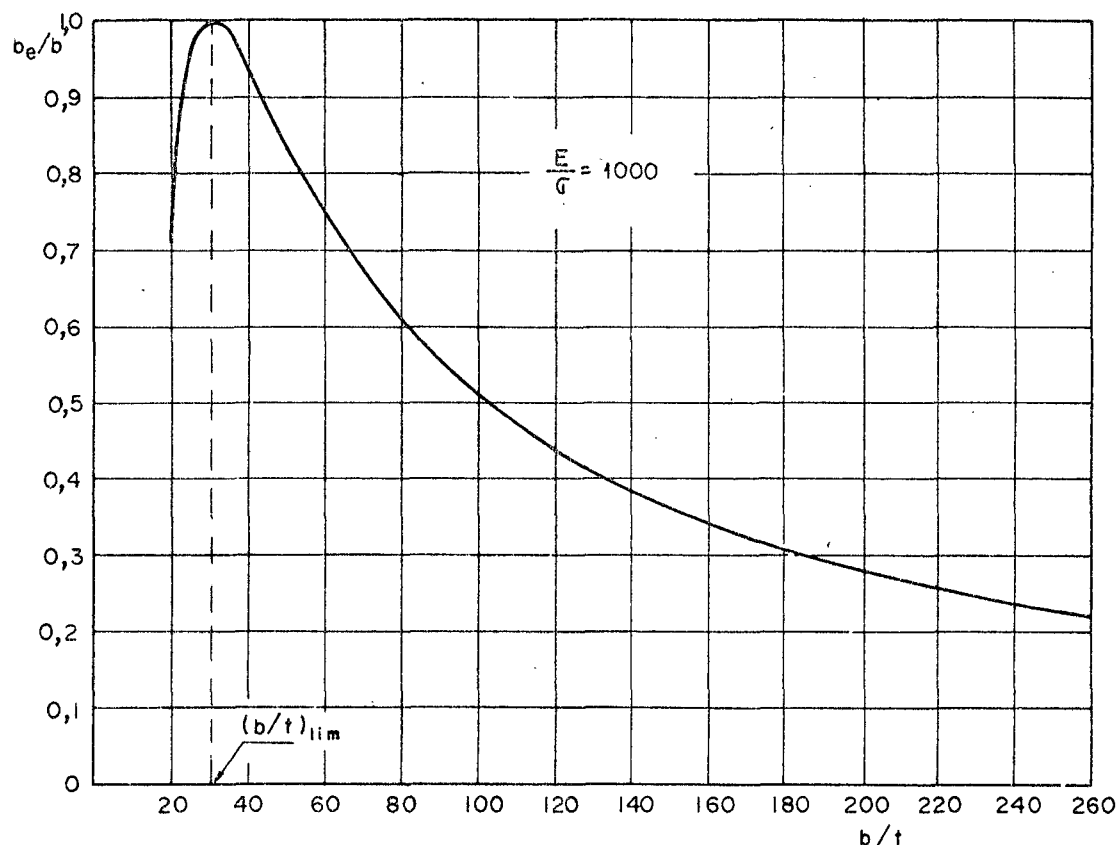


Figura 2.17 - Razão b_e/b em função de b/t .

Vê-se que fica perfeitamente definido um valor b/t , que é função da tensão atuante, abaixo do qual o elemento é totalmente efetivo, isto é, a largura efetiva é igual à largura geométrica. Acima deste valor particular, a largura efetiva torna-se progressivamente menor que a largura geométrica, e tanto menor quanto maior for b/t . Este valor particular de b/t é denominado de $(\frac{b}{t})_{lim}$.

Para se determinar este valor limite de b/t , basta substituir, na relação (2.49), b_e por b e resolver para b . Assim, resulta:

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,95 \sqrt{E/\sigma} \quad (2.50)$$

Desta forma a largura equivalente fica efetivamente determinada em toda a faixa útil de b/t apenas por duas equações

$$b_e = b \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} \quad (2.51)$$

$$b_e = 1,9t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1,0 - 0,475 \left(\frac{t}{b}\right) \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} > \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} \quad (2.52)$$

Estas expressões são utilizadas nas especificações de projeto estrutural de membros leves AISI e NB-143, edições 1961 e 1967, respectivamente. Nesta última em unidades do Sistema Internacional de Unidades.

Para fins práticos, traça-se b_e em função b/t , que para o caso particular de $E=2,1 \times 10^5$ MPa e para os níveis de tensão 60, 100, 140 e 210 em MPa, resulta nas curvas A, B, C e D, conforme está indicado na figura 2.18.

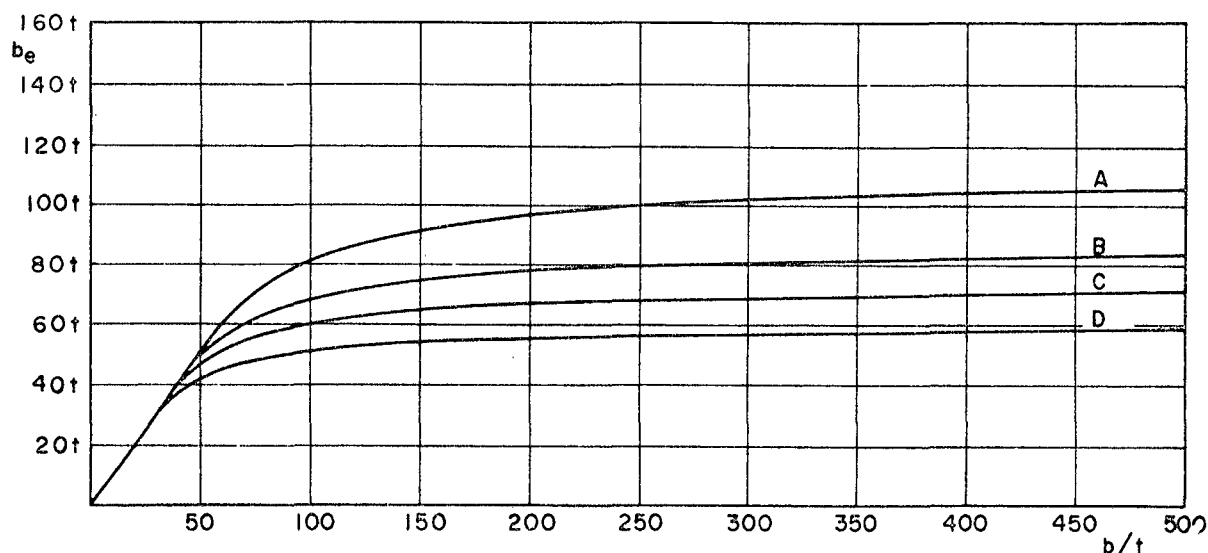


Figura 2.18 - Largura efetiva para vários níveis de tensão em função da relação largura-espessura b/t .

Outras curvas podem ser obtidas, para outros níveis de tensão, de forma similar. Para outros materiais, utilizar o correspondente módulo de elasticidade E .

2.4.2 - ELEMENTOS COM UMA BORDA ENRIJECIDA E OUTRA LIVRE, SENDO AMBAS PARALELAS À DIREÇÃO DA TENSÃO DE COMPRESSÃO

- Aspectos Gerais

Elementos deste tipo ocorrem em vigas I, por exemplo, como mostradas através da figura 2.19.

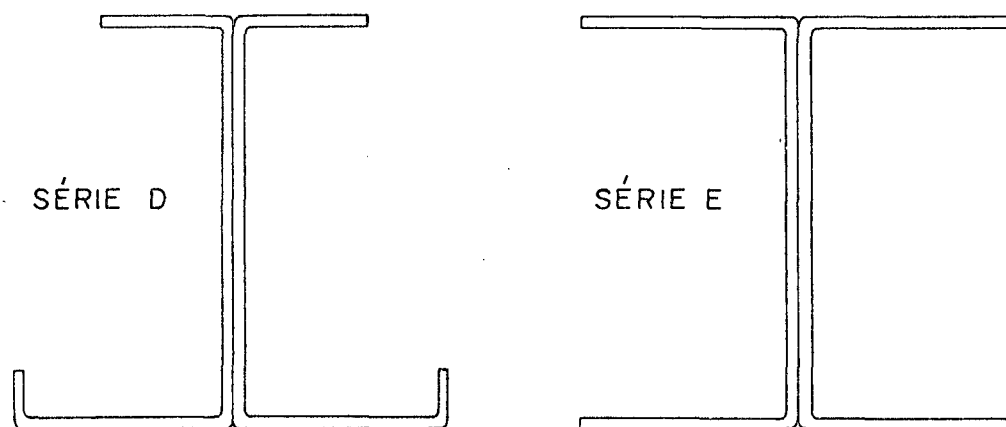


Figura 2.19 - Formas de seção I onde as bordas externas dos flanges em compressão não são enrijecidas.

Quando em compressão, este tipo de elemento desenvolve ondas de flambagem de considerável magnitude, imediatamente após ter alcançado a tensão crítica de flambagem e mostra pouca resistência pós-flambagem. Assim, seu comportamento difere totalmente daquele apresentado por um elemento em que ambas as bordas longitudinais são enrijecidas. Com o objetivo de investigar este comportamento e traduzi-lo em termos de expressões simples, Winter [1] idealizou duas séries de testes D e E, com vigas de forma geral mostradas na figura 2.19, como o fize-

ra para elementos enrijecidos.

Os resultados experimentais foram expressos, qualitativamente, nos seguintes termos:

- 1 - Flanges com razão largura-espessura menor que 12 falham por escoamento, com pouca ou nenhuma distorção perpendicular ao plano do flange;
- 2 - Flanges com razão largura-espessura na faixa de 12 até 30, aproximadamente, permanecem indeformados e resistentes até o momento em que ocorre a flambagem local dos flanges, de forma repentina;
- 3 - Flanges com razão largura-espessura maior que 30, apresentam boa resistência pós-flambagem e são capazes de suportarem cargas bem maiores que a carga crítica. Por outro lado, o não enrijecimento da borda externa permite que o flange fique seriamente distorcido. Assim, nesta faixa, eles não podem ser vistos como estruturalmente aplicáveis, exceto se usados sob tensão extremamente baixa.

- Tensão de Flambagem e Tensão Admissível Reduzida

As tensões críticas σ_{cr} , para as quais a flambagem local foi inicialmente observada [1], foram computadas e traçadas em função da relação largura-espessura b/t , conforme é visto através da figura 2.20. A curva representando a fórmula

$$\sigma_{cr} = 0,5 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} \quad (2.53)$$

é mostrada pela linha cheia. A equação (2.53) dá a tensão crítica teórica de flambagem local para uma placa onde uma das bordas paralelas à direção da tensão de compressão é simplesmente apoiada e a outra livre. (Ver figura 2.6).

Observa-se na figura 2.20 que para valores de b/t a partir de 25, de forma crescente, a flambagem local ocorre pa

ra tensões iguais ou maiores que as tensões dadas pela equação (2.53), e que para valores de b/t menores que 25, as tensões de flambagem local são consideravelmente menores que as dadas pela mesma relação.

Para desenvolver um procedimento que determine os valores da tensão crítica de flambagem na faixa onde b/t é pequeno, o valor médio das tensões de escoamento é computado, tabela 4 de [1] aqui reproduzida apenas para referência, figura 2.21. Os elementos com $\sigma_e = 347$ MPa foram excluídos para o valor médio, uma vez esta tensão é alta comparada com as demais. O valor médio de σ_e então obtido é 245 MPa.

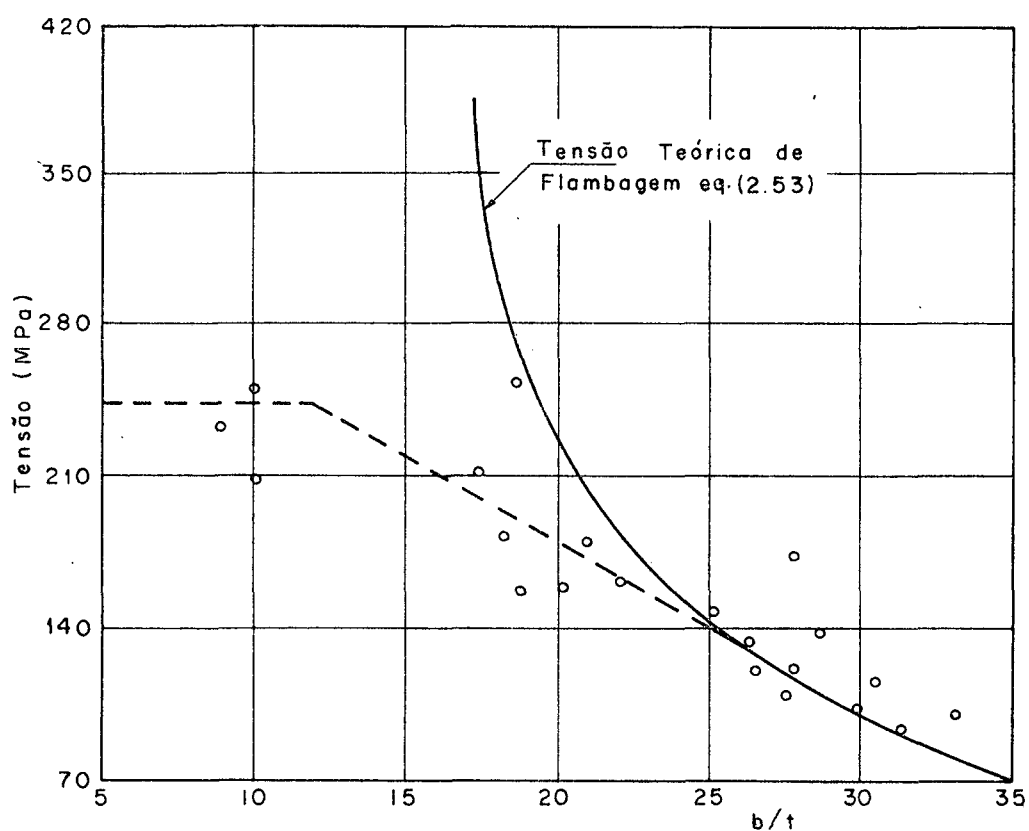


Figura 2.20 - Valores observados da tensão crítica plotados em função de b/t , séries D e E.

Na tabela da figura 2.21 apresentam-se os resultados dos testes para os espécimes com b/t menor que 33,1, que por sua vez flambaram repentinamente. O limite de resistência σ_m , é computado para colunas por $\sigma_m = P_m/A$ e para vigas por $\sigma_m = M_m/s$, onde A e S são, respectivamente, a área e o módulo de resistência da seção plena; σ_{ct} é a tensão de flambagem obtida dos testes, computada de forma similar a σ_m ; e σ_{cc} é a tensão computada das expressões (2.54) e (2.55), conforme o valor de b/t .

Uma vez que flanges com b/t menor que 12 falham por escoamento, parece razoável assumir uma linha reta, iniciando em σ_e para $b/t=12$ e terminando com σ_{cr} dado pela relação (2.53), para $b/t=30$, como representando aproximadamente os valores de σ_{ct} . (Ver figura 2.20).

Então, pode-se escrever:

$$\sigma_{cc} = \sigma_e \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} \leq 12 \quad (2.54)$$

$$\sigma_{cc} = \sigma_e - \left(\frac{\sigma_e - \sigma_{cr}}{18} \right) \left(\frac{b}{t} - 12 \right) \quad \text{para} \quad 12 < \frac{b}{t} \leq 30$$

... (2.55)

onde σ_{cr} é dada pela equação (2.53).

TIPO	Nº	b/t	T E N S ã O (psi)				$\frac{\sigma_{cc}}{\sigma_{ct}}$
			σ_e	σ_m	σ_{ct}	σ_{cc}	
I-S-2	3	9,3	35400	34600	33400	35400	1,06
I-S-3	3	10,1	49400	35800	35800	49400	1,38
I-B-3	3	10,1	37300	30200	29600	37300	1,26
I-B-4	3	17,5	36800	40300	30400	30200	0,99
I-S-6	3	18,5	35400	31800	25600	28000	1,09
I-S-7	3	19,0	34500	26100	22800	27000	1,18
I-S-8	3	19,1	49400	38800	35400	36500	1,03
I-B-5	2	20,3	37300	29400	23600	27000	1,14
I-B-6	3	20,8	34000	29200	26100	24700	0,95
I-B-7	3	21,6	32600	28300	23400	23100	0,99
I-S-9	3	21,6	34000	25500	23900	23700	0,99
I-B-8	3	25,2	38700	30000	21200	21200	1,00
I-S-10	3	27,1	34500	22900	16700	18000	1,08
I-S-11	3	27,8	34000	23900	15600	17200	1,10
I-S-12	3	27,8	34500	29200	23700	17300	0,73
I-S-13	3	28,3	49400	29200	17600	18200	1,03
I-B-9	1	28,9	29200	26200	19700	15900	0,18
I-B-10	3	29,9	32600	24600	15200	15200	1,00
I-B-11	3	30,6	34900	25700	17400	14500	0,83
I-B-12	2	31,2	37300	28300	14200	13800	0,97
I-B-14	3	33,1	34000	23000	15200	12300	0,81

Figura 2.21 - Resultados dos testes com vigas I
Séries D e E
Tabela 4 da referência [1].

- Largura Efetiva

Conforme é relatado em [1], Miller sob orientação de Winter, computou as larguras efetivas para os flanges das vigas referenciadas nas séries D e E. Por conseguinte, foi apresentada uma expressão similar à equação (2.49) para a largura efetiva b_e , desses flanges. Ela é:

$$b_e = 1,25t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1,0 - 0,333 \left(\frac{t}{b} \right) \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \quad (2.56)$$

válida para $\sqrt{E/\sigma}$ (t/b) em torno de 1,55, e que representa com boa precisão os valores médios determinados experimentalmente para b_e . Assim, no dimensionamento de flanges não enrijecidos deve-se tomar b e t , tais que

$$\frac{b}{t} \cong \frac{1}{1,55} \sqrt{E/\sigma} \quad (2.57)$$

Haja visto a considerável dispersão nos resultados experimentais, uma expressão mais conservativa foi desenvolvida, e que com poucas exceções, parece uma boa aproximação para os pequenos valores de b_e obtidos experimentalmente. A expressão é

$$b_e = 0,8t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1 - 0,202 \left(\frac{t}{b} \right) \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \quad (2.58)$$

válida para $\sqrt{E/\sigma}$ (t/b) em torno de 1,75.

Portanto, como no caso anterior, deve-se tomar b e t , tais que

$$\frac{b}{t} \cong \frac{1}{1,75} \sqrt{E/\sigma} \quad (2.59)$$

É mostrado em [1] que quando as condições (2.57) e (2.59) são observadas, a redução média máxima da largura do flange é somente 6% e 16%, respectivamente. Este fato revela que os cálculos baseados na largura plena do flange são tão precisos quanto podem ser esperados, considerando que:

- 1 - O grau de dispersão dos valores experimentais para as tensões de flambagem local σ_{ct} , torna a alta precisão de cálculo ilusória;
- 2 - Uma redução na largura de 6% ou mesmo 16% resulta numa pequena redução nos valores significantes de A e S, pois o flange representa apenas uma fração muito pequena com respeito à seção transversal como um todo.

Pela discussão anterior, ê-se porque as especificações [4,17] de projeto de membros leves, com flanges não enrijecidos, utilizam as propriedades seccionais plenas juntamente com tensões admissíveis reduzidas. As expressões para o cálculo destas tensões são obtidas em conformidade com as curvas a, b, c e d apresentadas na figura 2.22.

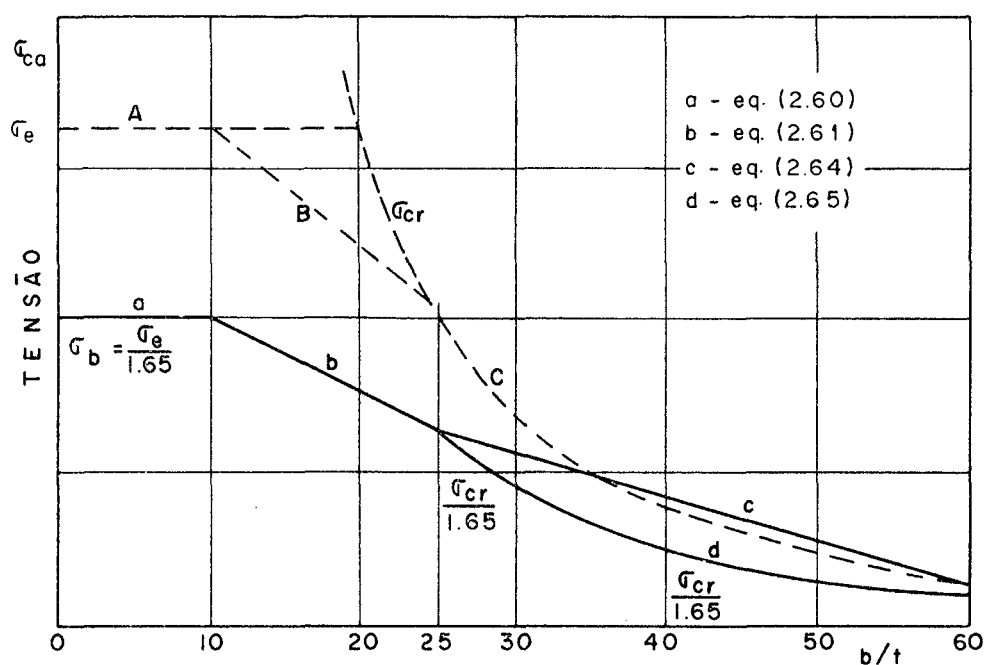


Figura 2.22 - Tensões admissíveis reduzidas σ_{ca} , em função da razão largura espessura b/t .

Assim, na faixa em que b/t varia de 0 a 25, as ordenadas das linhas A e B são divididas por um coeficiente de segurança. Em ambas as normas, ou seja, AISI e NB-143, o valor prescrito é 1,65. Desta forma resulta nas linhas a e b (ver figura 2.22) e que são representadas pelas equações:

$$\sigma_{ca} = \sigma_b \quad ; \quad \frac{b}{t} \leq 10 \quad (2.60)$$

$$\sigma_{ca} = (1,667\sigma_b - 0,404\sigma_{cr}) - \frac{1}{15}(\sigma_b - \frac{\sigma_{cr}}{1,65})\frac{b}{t} \quad ; \quad 10 < \frac{b}{t} \leq 25 \quad \dots \quad (2.61)$$

onde

$$\sigma_b = \frac{\sigma_e}{1,65} \quad (2.62)$$

e

$$\sigma_{cr} = 0,5 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(25)^2} \quad (2.63)$$

Para os valores de b/t na faixa de 25 a 60, são apresentadas duas curvas, ou seja, c e d (ver figura 2.22). A reta denotada por c é dada pela equação:

$$\sigma_{ca_i} = \frac{1}{57,75} (\sigma_{cr/60} - \sigma_{cr/25})\frac{b}{t} - \frac{25}{57,75} \times (\sigma_{cr/60} - \sigma_{cr/25}) + \frac{1}{1,65} \sigma_{cr/25} \quad \dots \quad (2.64)$$

onde $\sigma_{cr/25}$ e $\sigma_{cr/60}$ são dadas pela expressão (2.53) com b/t igual a 25 e 60, respectivamente, e a curva denotada por d, representa as tensões de compressão admissíveis para cantoneiras em compressão axial, haja visto que nenhuma resistência pós-flambagem é verificada em tais membros. Assim, a tensão de com-

pressão admissível reduzida é a própria tensão crítica teórica de flambagem local ou tensão de Bryan, equação (2.53), dividida pelo coeficiente de segurança 1,65, conforme está indicado na figura 2.22. Desta forma resulta a expressão

$$\sigma_{ca} = 0,303 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} ; 25 < \frac{b}{t} \leq 60 \quad (2.65)$$

As expressões correspondentes utilizadas nas especificações de projeto NB-143 [17] e AISI [4] são:

1 - NB-143 (ed. 1967)

$$a) \quad \sigma_{ca} = \sigma_b ; \quad \frac{b}{t} \leq 10 \quad (2.66)$$

$$b) \quad \sigma_{ca} = (1,667\sigma_b - 600) - \frac{1}{15}(\sigma_b - 900)\frac{b}{t} ; \quad 10 < \frac{b}{t} \leq 25$$

... (2.67)

c.1) para cantoneiras em compressão axial

$$\sigma_{ca} = \frac{570.000}{(b/t)^2} ; \quad 25 < \frac{b}{t} \leq 60 \quad (2.68)$$

c.2) para outras seções em flexão ou compressão e também para cantoneiras em flexão

$$\sigma_{ca} = 1400 - 20\left(\frac{b}{t}\right) ; \quad 25 < \frac{b}{t} \leq 60 \quad (2.69)$$

onde σ_{ca} é expressa em kgf/cm².

2 - AISI (ed. 1961)

$$a) \quad \sigma_{ca} = \sigma_b \quad ; \quad \frac{b}{t} \leq 10 \quad (2.70)$$

$$b) \quad \sigma_{ca} = (1,667\sigma_b - 8640) - \frac{1}{15}(\sigma_b - 12950)\frac{b}{t} \quad ; \quad 10 < \frac{b}{t} \leq 25$$

... (2.71)

c.1) para cantoneiras em compressão axial

$$\sigma_{ca} = \frac{8.090.000}{(b/t)^2} \quad ; \quad 25 < \frac{b}{t} \leq 60 \quad (2.72)$$

c.2) para outras seções em flexão ou compressão e também para cantoneiras em flexão

$$\sigma_{ca} = 20.000 - 282\left(\frac{b}{t}\right) \quad ; \quad 25 < \frac{b}{t} \leq 60 \quad (2.73)$$

onde σ_{ca} é expressa em psi.

Em ambas as normas, b/t está limitado ao valor 60.

2.5 - MEMBROS EM COMPRESSÃO AXIAL

Como consequência da flambagem local em membros de parede delgada em compressão axial, há uma redução de sua resistência. Esta perda de resistência é considerada através de um fator de forma ou fator coluna Q .

A expressão para o cálculo da tensão, para a qual a coluna carregada axialmente começa a flambar por deflexão lateral, é dada pela equação (2.37). Entretanto, esta equação é

efetivamente representada por outras duas, dependendo do valor do índice de esbeltez L/r . As equações são as que se seguem:

a) para pequenos e médios valores de L/r ,

$$\sigma_{cr} = \sigma_e - \left(\frac{\sigma_e^2}{4\pi^2 E} \right) \left(\frac{L}{r} \right)^2 \quad (2.74)$$

b) para grandes valores de L/r ,

$$\sigma_{cr} = \pi^2 E / \left(\frac{L}{r} \right)^2 \quad (2.75)$$

onde as tensões admissíveis são obtidas dividindo-se σ_{cr} , dada acima, por um coeficiente de segurança. Em ambas as normas [4,17] o valor prescrito para este coeficiente é 1,95.

Com o objetivo de considerar o efeito da flambagem local em membros de paredes delgadas em compressão axial, o fator de coluna Q é introduzido apenas na equação (2.74). Segundo a referência [5], isto é explicado através do seguinte fato:

"Na faixa de utilização da equação (2.75), isto é, para grandes valores de índices de esbeltez, as colunas flambam para tensões tão baixas que nenhuma flambagem local ocorre".

O fator de coluna Q é definido [4,17] conforme a seção seja constituída somente de elementos enrijecidos, apenas de elementos não enrijecidos (cantoneiras) ou de ambos os elementos. Desta forma, tem-se a seguinte classificação:

- 1 - para seções constituídas somente de elementos enrijecidos, o fator Q , também denominado fator de área, é definido por:

$$Q_a = \frac{\text{Área plena} - \text{Área removida}}{\text{Área plena}} = \frac{A_{ef}}{A} \quad (2.76)$$

onde A_{ef} é a área efetiva da seção transversal e A é a área plena da seção. O termo área removida é usado para indicar a área hipoteticamente retirada da seção transversal, para se obter a área efetiva.

- 2 - para seções constituídas apenas de elementos não enrijecidos, o fator Q , também denominado fator de tensão, é definido por:

$$Q_t = \frac{\text{Tensão admissível reduzida}}{\text{Tensão de projeto}} = \frac{\sigma_{ca}}{\sigma_b} \quad (2.77)$$

onde σ_{ca} é dada pelas equações (2.60), (2.61), (2.64) e (2.65) conforme o valor de b/t .

- 3 - para seções constituídas de ambos os elementos, ou seja, enrijecidos e não enrijecidos, o fator de coluna Q é o produto de Q_a por Q_t , como calculado nos itens 1 e 2, respectivamente. Assim,

$$Q_m = Q_a Q_t \quad (2.78)$$

As expressões apresentadas para o fator de coluna podem ser justificadas da seguinte forma:

Um membro compacto e muito curto, concentricamente comprimido falha por simples escoamento em vez de flambar, para a tensão de escoamento σ_e . Este fato é perfeitamente explicado através da equação (2.74), considerando pequenos valores de L/r . Assim, quando $L/r \rightarrow 0$ a equação (2.74) fornece

$$\left(\frac{P}{A}\right)_{\text{máx}} = \sigma_e \quad (2.79)$$

Para um membro de parede delgada em compressão, a deformação local excessiva de certos elementos componentes, po

de ocorrer para cargas consideravelmente abaixo da máxima carga que o membro como um todo pode suportar. Por essa razão, para tal membro pode-se escrever:

$$\left(\frac{P}{A}\right)_{\text{máx}} = Q \sigma_e \quad (2.80)$$

onde Q é um fator igual ou menor que a unidade. Se igual à unidade, então nenhuma flambagem local ocorre. Ele representa, portanto, uma redução na resistência da coluna devida a flambagem local.

Para elementos estruturais constituídos apenas de elementos enrijecidos, a carga máxima é:

$$P_{\text{máx}} = A_{\text{ef}} \sigma_e \quad (2.81)$$

onde A_{ef} é a área efetiva da seção transversal calculada para a tensão σ_e .

Dividindo-se ambos os membros da equação (2.81) pela área plena da seção transversal resulta:

$$\left(\frac{P}{A}\right)_{\text{máx}} = \frac{A_{\text{ef}}}{A} \sigma_e \quad (2.82)$$

Por simples comparação desta última equação com a equação (2.79), resulta que para tais membros

$$Q_a = \frac{A_{\text{ef}}}{A} \quad (2.83)$$

É evidente que para um membro constituído inteiramente de elementos não enrijecidos, como por exemplo uma canto-

neira, a carga máxima é:

$$P_{\text{máx}} = A \sigma_{\text{ct}} \quad (2.84)$$

onde A é a área plena da seção transversal e σ_{ct} é a tensão crítica de flambagem local, correspondente ao elemento da seção com maior razão largura-espessura, dada pelas curvas A, B e C da figura 2.22, conforme o valor de b/t . Contudo, $\sigma_{\text{ct}} = 1,65\sigma_{\text{ca}}$ e $\sigma_e = 1,65\sigma_b$. Portanto, tem-se:

$$\left(\frac{P}{A}\right)_{\text{máx}} = \sigma_{\text{ct}} = \left(\frac{\sigma_{\text{ct}}}{\sigma_e}\right)\sigma_e = \left(\frac{1,65\sigma_{\text{ca}}}{1,65\sigma_b}\right)\sigma_e = \left(\frac{\sigma_{\text{ca}}}{\sigma_b}\right)\sigma_e \quad (2.85)$$

Por simples comparação das equações (2.85) e (2.79) pode-se escrever:

$$Q_t = \frac{\sigma_{\text{ca}}}{\sigma_b} \quad (2.86)$$

Como último caso, apresenta-se um elemento estrutural constituído de ambos os elementos, isto é, elementos enrijecidos e não enrijecidos (ver figura B.1, exemplos a e b). Neste caso, o limite de resistência é alcançado quando o elemento não enrijecido flamba para a tensão σ_{ct} , dada pelas curvas A, B e C, conforme explicado anteriormente. Para esta tensão, a área efetiva da seção transversal consiste das áreas plenas de todos os elementos não enrijecidos e das áreas efetivas de todos os elementos enrijecidos. Esta última parcela é calculada para a tensão de flambagem governante, ou seja, σ_{ct} . Assim, para uma seção mista, no que diz respeito a elementos constituintes, a máxima carga é dada por

$$P_{\text{máx}} = A_{\text{ef}} \sigma_{\text{ct}} \quad (2.87)$$

De forma similar aos dois casos precedentes, pode-se escrever:

$$\left(\frac{P}{A}\right)_{\text{m\`ax}} = \left(\frac{A_{\text{ef}}}{A}\right) \left(\frac{\sigma_{\text{ca}}}{\sigma_b}\right) \sigma_e \quad (2.88)$$

Comparando a equa\~ao (2.88) com a equa\~ao (2.79) resulta imediatamente

$$Q_m = \left(\frac{A_{\text{ef}}}{A}\right) \left(\frac{\sigma_{\text{ca}}}{\sigma_b}\right) \quad (2.89)$$

ou,

$$Q_m = Q_a Q_t \quad (2.90)$$

CAPÍTULO 3

PROCESSO NUMÉRICO COMPUTACIONAL

3.1 - INTRODUÇÃO

A importância e o grau de dificuldade existente na determinação das propriedades planas de membros estruturais de paredes delgadas, levaram ao desenvolvimento de processos numéricos computacionais tais como os apresentados em [21,22], com o objetivo de se obter estas propriedades.

Um fenômeno comum em membros estruturais de paredes delgadas é a flambagem local de certas partes da seção de tais membros. Ela, por sua vez, não significa a falha do membro, mas induz uma redução na área plana daquele membro que flambou localmente. Em consequência, há uma redução nas propriedades seccionais planas, sendo estas agora denominadas de propriedades seccionais efetivas ou equivalentes.

O programa SEDEL [22] foi desenvolvido para calcular as propriedades seccionais planas requeridas na análise da flexão, da torção uniforme e não uniforme de membros de paredes delgadas, abertas, fechadas ou mistas. O programa PEDAD, por sua vez, considera o efeito da flambagem local em membros estruturais, e utiliza o SEDEL como uma subrotina. Com o PEDAD determina-se propriedades seccionais planas e efetivas. Pode-se citar entre outras, as seguintes propriedades:

- a) Momentos e produto de inércia de área, momentos de inércia efetivos;
- b) Posição da linha neutra para a seção plana e para a seção reduzida;
- c) Momentos principais de inércia plenos e efetivos;
- d) Coordenadas do centro de cisalhamento;
- e) Tensões admissíveis e fatores de coluna.

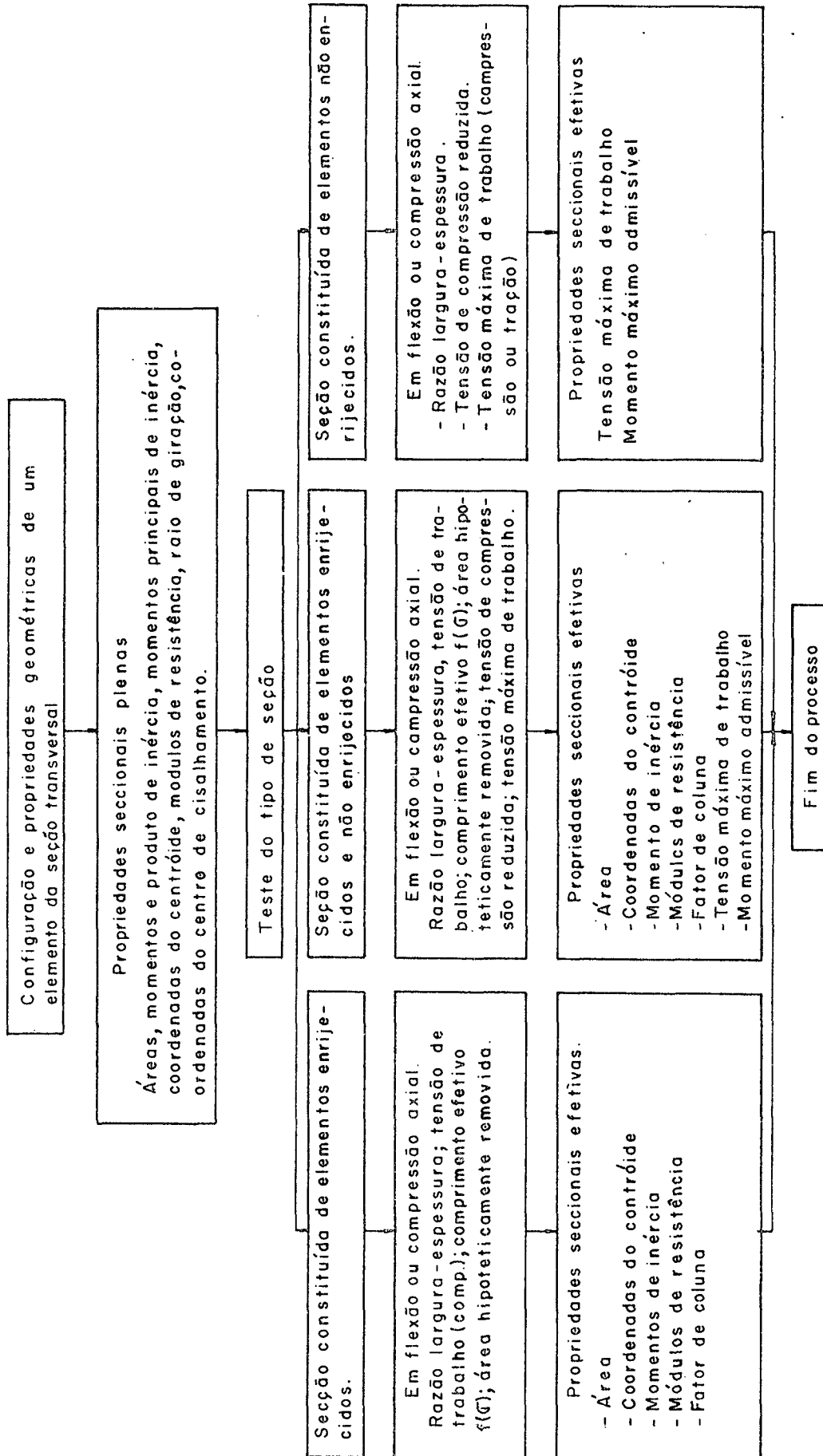


Figura 3.1 - Fluxo de desenvolvimento do processo numérico computacional.

Um fluxo de desenvolvimento do referido processo é mostrado na figura 3.1.

O processo é utilizado para seções transversais sujeitas às seguintes hipóteses:

- 1 - Cada seção transversal é modelada por um conjunto de nós interconectados por elementos retilíneos e/ou circulares, definidos pela ordem de seus nós origem e término;
- 2 - Os nós origem e término para cada elemento são formados sobre a linha média da seção transversal e a espessura da parede, entre estes dois nós é considerada constante;
- 3 - Elementos circulares devem ter arcos, no máximo, correspondentes a 180° . Para arcos maiores, subdividí-lo de tal forma que cada novo elemento satisfaça a restrição anterior;
- 4 - Áreas concentradas são consideradas como elementos retilíneos de espessura nula e cujos nós origem e término têm as mesmas coordenadas;
- 5 - As seções fechadas são tratadas como se fossem abertas. Isto é conseguido através de cortes hipotéticos e, em cada corte, formam-se dois nós de mesmas coordenadas.

3.2 - CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA DO I-ÉSIMO ELEMENTO

A configuração geométrica do i -ésimo elemento é apresentada na figura 3.2, onde:

- A_i, B_i - nós origem e término, respectivamente, do elemento. O sentido origem-término é definido de A_i para B_i .
- C_i - Centróide do elemento.
- M_i - Ponto médio entre A_i e B_i .
- D_i - Centro de curvatura (raio de curvatura denotada por R_i).
- C - Centróide da seção.
- O - Origem do sistema de referência global.

x'_i, y'_i - Eixos paralelos aos eixos x, y e com origem em C'_i .
 x''_i, y''_i - Eixos paralelos aos eixos x, y e com origem em D_i .

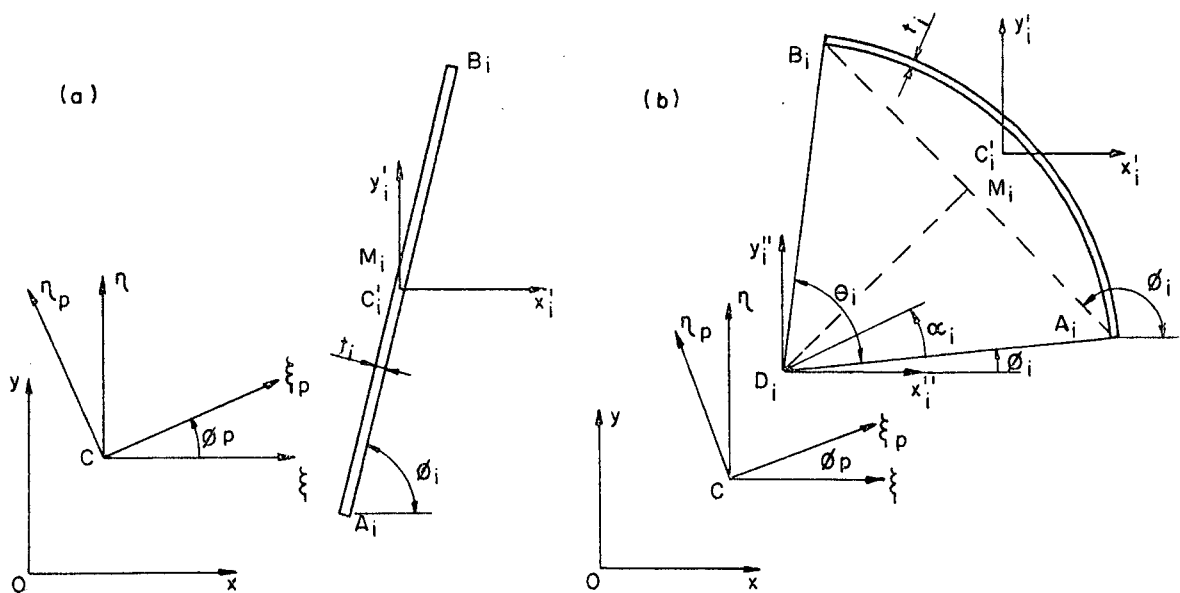


Figura 3.2 - Elementos: (a) retilíneo,
 (b) circular.

- ξ, η - Eixos paralelos aos eixos x, y e com origem no centróide da seção C .
- ξ_p, η_p - Eixos principais de inércia.
- ϕ_p - Direção dos eixos principais de inércia.
- ϕ_i - Ângulo que o segmento de reta orientado $\overline{A_i B_i}$ faz com o eixo x .
- ϕ'_i - Ângulo que o segmento de reta orientado $\overline{D_i A_i}$ faz com o eixo x .
- θ_i - Ângulo subtendido pelo arco de circunferência $\widehat{A_i B_i}$.
- t_i - Espessura do elemento.

3.3 - PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO I-ÉSIMO ELEMENTO

3.3.1 - ELEMENTO RETILÍNEO

- 1 - Distância entre os nós A_i e B_i ou comprimento do elemento.

$$d_i = b_i = \left[(y_{B_i} - y_{A_i})^2 + (x_{B_i} - x_{A_i})^2 \right]^{1/2} \quad (3.1)$$

- 2 - Área do elemento.

$$Ar_i = b_i t_i \quad (3.2)$$

Em elementos de áreas concentradas Ar_i é dado.

- 3 - Inclinação do segmento de reta $\overline{A_i B_i}$

$$\text{sen } \phi_i = (y_{B_i} - y_{A_i})/d_i \quad (3.3)$$

$$\text{cos } \phi_i = (x_{B_i} - x_{A_i})/d_i \quad (3.4)$$

- 4 - Coordenadas do ponto médio M_i ou centróide C_i' .

$$x_{M_i} = (x_{A_i} + x_{B_i})/2 \quad (3.5)$$

$$y_{M_i} = (y_{A_i} + y_{B_i})/2 \quad (3.6)$$

5 - Momentos de inércia e produto de inércia em relação aos eixos x'_i e y'_i .

$$I_{x'_i} = Ar_i(t_i^2 \cos^2 \phi_i + b_i^2 \sin^2 \phi_i)/12 \quad (3.7)$$

$$I_{y'_i} = Ar_i(t_i^2 \sin^2 \phi_i + b_i^2 \cos^2 \phi_i)/12 \quad (3.8)$$

$$I_{x'_i y'_i} = Ar_i(b_i^2 - t_i^2) \sin \phi_i \cos \phi_i /12 \quad (3.9)$$

Em elementos de áreas concentradas.

$$I_{x'_i} = I_{y'_i} = I_{x'_i y'_i} = 0 \quad (3.10)$$

3.3.2 - ELEMENTO CIRCULAR

Nas expressões apresentadas a seguir, adota-se a seguinte convenção:

"Quando o sentido origem-término no i -ésimo elemento é anti-horário, em relação a D_i , toma-se R_i com sinal positivo e caso contrário, negativo".

1 - Distância entre os nós A_i e B_i

$$d_i = \left\{ (y_{B_i} - y_{A_i})^2 + (x_{B_i} - x_{A_i})^2 \right\}^{1/2} \quad (3.11)$$

2 - Distância entre os pontos D_i e M_i

$$h_i = \left\{ R_i^2 - (d_i/2)^2 \right\}^{1/2} \quad (3.12)$$

3 - Coordenadas do ponto M_i

$$x_{M_i} = (x_{B_i} + x_{A_i})/2 \quad (3.13)$$

$$y_{M_i} = (y_{B_i} + y_{A_i})/2 \quad (3.14)$$

4 - Ângulo do arco $\widehat{A_i B_i}$

$$\theta_i = 2 \operatorname{tg}^{-1} (d_i/2h_i) \quad ; \quad 0 < \theta_i < \pi \quad (3.15)$$

5 - Inclinação do segmento de reta $\overline{A_i B_i}$

$$\operatorname{sen} \phi_i = (y_{B_i} - y_{A_i})/d_i \quad (3.16)$$

$$\operatorname{cos} \phi_i = (x_{B_i} - x_{A_i})/d_i \quad (3.17)$$

6 - Coordenadas do centro de curvatura

$$x_{D_i} = x_{M_i} - R_i \operatorname{sen} \phi_i \operatorname{cos} (\theta_i/2) \quad (3.18)$$

$$y_{D_i} = y_{M_i} + R_i \operatorname{cos} \phi_i \operatorname{cos} (\theta_i/2) \quad (3.19)$$

7 - Inclinação do segmento de reta $\overline{D_i A_i}$

$$\text{sen } \phi_i' = (y_{A_i} - y_{D_i}) / |R_i| \quad (3.20)$$

$$\text{cos } \phi_i' = (x_{A_i} - x_{D_i}) / |R_i| \quad (3.21)$$

8 - Comprimento do elemento

$$b_i = |R_i| \theta_i \quad (3.22)$$

9 - Área do elemento

$$Ar_i = b_i t_i \quad (3.23)$$

Em elementos de áreas concentradas Ar_i é dado.

10 - Momentos de inércia e produto de inércia em relação aos eixos x_i'' , y_i''

$$I_{x_i''} = Ar_i R_i^2 \left[1 + \text{sen } \theta_i (\text{cos}^2 \phi_i - \text{sen}^2 \phi_i) / \theta_i \right] / 2 \quad \dots \quad (3.24)$$

$$I_{y_i''} = Ar_i R_i^2 \left[1 - \text{sen } \theta_i (\text{cos}^2 \phi_i - \text{sen}^2 \phi_i) / \theta_i \right] / 2 \quad \dots \quad (3.25)$$

$$I_{x_i'' y_i''} = - Ar_i R_i^2 \text{sen } \theta_i \text{sen } \phi_i \text{cos } \phi_i / \theta_i \quad (3.26)$$

11 - Raios interno e externo

$$RI_i = R_i - t_i/2 \quad (3.27)$$

$$RE_i = R_i + t_i/2 \quad (3.28)$$

12 - Coordenadas do centróide

$$x_i = x_{D_i} + \frac{4}{3} \left(\frac{RE_i^3 - RI_i^3}{RE_i^2 - RI_i^2} \right) \text{sen} (\theta_i/2) \text{sen} \phi_i/\theta_i \quad (3.29)$$

$$y_i = y_{D_i} - \frac{4}{3} \left(\frac{RE_i^3 - RI_i^3}{RE_i^2 - RI_i^2} \right) \text{sen} (\theta_i/2) \text{cos} \phi_i/\theta_i \quad (3.30)$$

13 - Momentos de inércia e produto de inércia em relação aos eixos x'_i , y'_i

$$I_{x'_i} = I_{x''_i} - Ar_i (y_i - y_{D_i})^2 \quad (3.31)$$

$$I_{y'_i} = I_{y''_i} - Ar_i (x_i - x_{D_i})^2 \quad (3.32)$$

$$I_{x'_i y'_i} = I_{x''_i y''_i} - Ar_i (y_i - y_{D_i})(x_i - x_{D_i}) \quad (3.33)$$

3.4 - PROPRIEDADES SECCIONAIS

Em se tratando de seções transversais de paredes delgadas, constituídas por n elementos binodais, resulta nas seguintes expressões para a determinação das correspondentes propriedades geométricas:

3.4.1 - PROPRIEDADES SECCIONAIS - SEÇÃO PLENA

1 - Área da seção transversal

$$\text{AREA} = \sum_{i=1}^n \text{Ar}_i \quad (3.34)$$

2 - Centróide da seção

$$x_C = \left(\sum_{i=1}^n \text{Ar}_i x_i \right) / \text{AREA} \quad (3.35)$$

$$y_C = \left(\sum_{i=1}^n \text{Ar}_i y_i \right) / \text{AREA} \quad (3.36)$$

3 - Momentos de inércia e produto de inércia em relação aos eixos do centróide ξ , η

$$I_{\xi} = \sum_{i=1}^n (I_{x_i}' + \text{Ar}_i y_i^2 - \text{Ar}_i y_i y_C) \quad (3.37)$$

$$I_{\eta} = \sum_{i=1}^n (I_{y_i}' + \text{Ar}_i x_i^2 - \text{Ar}_i x_i x_C) \quad (3.38)$$

$$I_{\xi\eta} = \sum_{i=1}^n (I_{x_i y_i}' + \text{Ar}_i x_i y_i) - \text{AREA} x_C y_C \quad (3.39)$$

4 - Direção dos eixos principais

$$\phi_p = 0,5 \operatorname{tg}^{-1} \left[2 I_{\xi\eta} / (I_{\eta} - I_{\xi}) \right] \quad (3.40)$$

5 - Momentos principais de inércia

$$I_{\xi p} = I_{\xi} \cos^2 \phi_p + I_{\eta} \sin^2 \phi_p - 2 I_{\xi\eta} \sin \phi_p \cos \phi_p \quad \dots \quad (3.41)$$

$$I_{\eta p} = I_{\xi} \sin^2 \phi_p + I_{\eta} \cos^2 \phi_p + 2 I_{\xi\eta} \sin \phi_p \cos \phi_p \quad \dots \quad (3.42)$$

6 - Módulos de resistência (seção plena)

$$S_{\xi} = I_{\xi}/D_{\xi} \quad (3.43)$$

$$S_{\eta} = I_{\eta}/D_{\eta} \quad (3.44)$$

onde D_{ξ} - distância da linha neutra à fibra mais afastada com respeito ao eixo ξ .

D_{η} - distância da linha neutra à fibra mais afastada com respeito ao eixo η .

7 - Raios de giração com respeito aos eixos ξ e η

$$R_{\xi} = (I_{\xi}/\text{AREA})^{1/2} \quad (3.45)$$

$$R_{\eta} = (I_{\eta}/\text{AREA})^{1/2} \quad (3.46)$$

8 - Raios de giração com respeito aos eixos principais

$$R_{\xi p} = (I_{\xi p} / \text{AREA})^{1/2} \quad (3.47)$$

$$R_{\eta p} = (I_{\eta p} / \text{AREA})^{1/2} \quad (3.48)$$

3.4.2 - PROPRIEDADES SECCIONAIS-SEÇÃO REDUZIDA

Os elementos que constituem um membro estrutural leve, obtido por conformação a frio, são denominados, do ponto de vista de projeto, de elementos enrijecidos e não enrijecidos. A partir de tais conceitos, são instituídos procedimentos básicos para o projeto de tais elementos, quando em compressão, conforme está explícito no capítulo 2.

Para seções onde os elementos em compressão, e portanto sujeitos a flambagem localmente, são enrijecidos, determinam-se propriedades tais como momento de inércia efetivo, módulo de resistência efetivo e nova posição da linha neutra, entre outras. Estas estão baseadas unicamente numa redução de área da seção plena. Para seções onde os elementos em compressão, e portanto sujeitos a flambagem localmente, não são enrijecidos, determinam-se tensões de compressão admissíveis e momentos máximos admissíveis [1]. Estes, ao contrário de seções constituídas de elementos enrijecidos, estão baseados na área plena da seção.

- Elementos Enrijecidos em Compressão

1 - Tensão básica de projeto ou máxima tensão de trabalho

Esta atuará na fibra mais afastada da linha neutra, podendo ser de compressão ou de tração. Segundo as especificações de projeto AISI [4] e NB-143 [17], esta tensão corresponde ao limite de escoamento mínimo especificado para o material dividido por 1,65.

$$\sigma_b = ZGMA = ZGMAE/1,65 \quad (3.49)$$

onde ZGMAE corresponde ao limite de escoamento mínimo especificado.

- 2 - Tensão de compressão no elemento mais distante da linha neutra e sujeito a flambar localmente

O cálculo desta tensão de compressão envolve os seguintes elementos:

- a) Posição da linha neutra;
- b) Distância da linha neutra ao elemento comprimido, passível de flambar, mais distante (D1);
- c) Metade da altura da seção transversal (HS2);
- d) Distância da linha neutra às fibras mais afastadas dela (ALT2, ALT1).

Assim, dependendo de comparações entre os fatores citados em a), b), c) e d) resulta as seguintes expressões:

$$\text{a.1) } TC_{MAX} = ZGMA \frac{D1}{ALT1} \quad (3.50)$$

$$\text{se } ALT2 > D1 \quad \text{e} \quad ALT2 < HS2$$

$$\text{a.2) } TC_{MAX} = ZGMA \frac{D1}{ALT2} \quad (3.51)$$

$$\text{se } ALT2 > D1 \quad \text{e} \quad ALT2 \geq HS2$$

$$\text{a.3) } TC_{MAX} = ZGMA \frac{ALT2}{ALT1} \quad (3.52)$$

$$\text{se } ALT2 = D1 \quad \text{e} \quad ALT2 < HS2$$

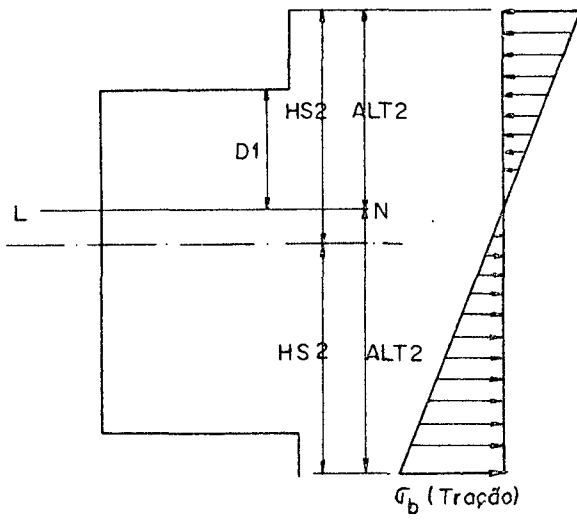
$$\text{a.4) } TC_{MAX} = ZGMA \quad (3.53)$$

$$\text{se } ALT2 = D1 \quad \text{e} \quad ALT2 \geq HS2$$

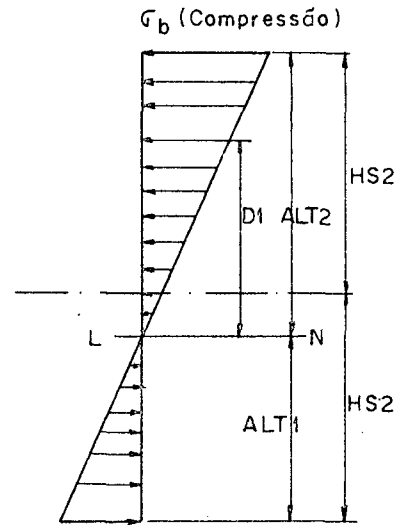
A figura 3.3, (a.1), (a.2), (a.3) e (a.4), descreve claramente a situação.

- 3 - Tensão de compressão

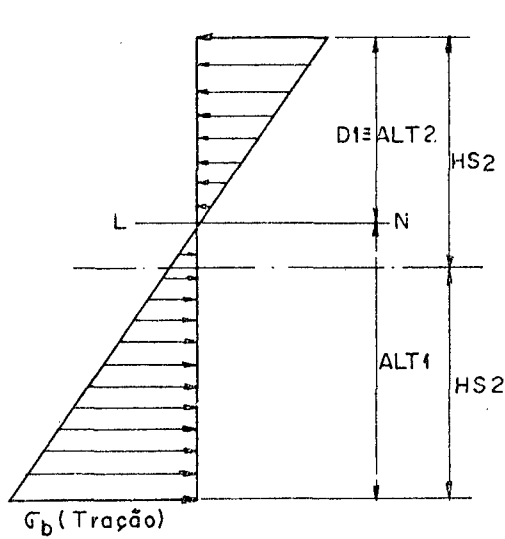
Uma vez conhecida a tensão de compressão básica, item anterior, pode-se obter as tensões de compressão nos de-



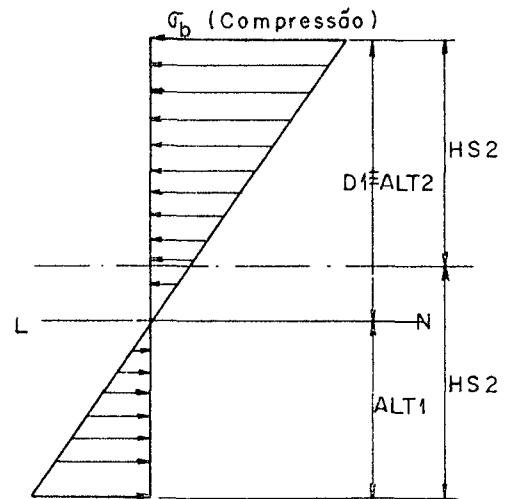
(a.1)



(a.2)



(a.3)



(a.4)

Figura 3.3 - Configurações para o cálculo da tensão compressiva máxima no elemento passível de flambar.

mais elementos passíveis de flambarem (caso existam) pela relação:

$$ZG_i = TC_{MAX} (|y_{CE_i} - y_G| + TES_i/2)/D1 \quad ; \quad i = 1, NEFX \quad \dots \quad (3.54)$$

e para o elemento determinado no item anterior, tem-se:

$$ZG_i = TC_{MAX} \quad (3.55)$$

onde i - número de ordem do elemento passível de flambar.

y_{CE_i} - ordenada do centróide do elemento de número de ordem i .

TES_i - espessura do elemento de número de ordem i .

4 - Razão largura-espessura e razão largura-espessura limite

A razão largura-espessura do elemento é determinada pela expressão:

$$BST_i = COMP_i/TES_i \quad (3.56)$$

onde $COMP_i$ - comprimento do elemento de número de ordem i .

A razão largura-espessura limite é determinada em função de tensão (compressão) atuante, em conformidade com a equação (2.50), e que resulta nas expressões:

a) para o cálculo das deformações

$$\text{BSTLF}_i = 0,95 \left(\frac{E}{ZG_i} \right)^{1/2} \quad (3.57)$$

b) para o cálculo da resistência

$$\text{BSTLS}_i = 0,7396 \left(\frac{E}{ZG_i} \right)^{1/2} \quad (3.58)$$

5 - Largura efetiva ou largura útil

De conformidade com as equações (2.51) e (2.52) resulta nas seguintes expressões para a largura efetiva do i -ésimo elemento passível de flambar:

a) para o cálculo das deformações

$$\text{BE} = \text{COMP}_i \quad \text{quando} \quad \text{BST}_i \leq \text{BSTLF}_i \quad (3.59)$$

e

$$\text{BE} = 1,9 \left(\frac{E}{ZG_i} \right)^{1/2} \left[1 - 0,475 \left(\frac{E}{ZG_i} \right)^{1/2} \frac{1}{\text{BST}_i} \right] \text{TES}_i$$

quando $\text{BST}_i > \text{BSTLF}_i \quad \dots \quad (3.60)$

b) para o cálculo da resistência

$$\text{BE} = \text{COMP}_i \quad \text{quando} \quad \text{BST}_i \leq \text{BSTLS}_i \quad (3.61)$$

e

$$\text{BE} = 1,479 \left(\frac{E}{ZG_i} \right)^{1/2} \left[1 - 0,3698 \left(\frac{E}{ZG_i} \right)^{1/2} \frac{1}{\text{BST}_i} \right] \text{TES}_i$$

quando $\text{BST}_i > \text{BSTLS}_i \quad \dots \quad (3.62)$

6 - Comprimento descontado

$$B_i = \text{COMP}_i - \text{BE} \quad (3.63)$$

7 - Área hipoteticamente removida

$$\text{BB}_i = B_i \cdot \text{TES}_i \quad (3.64)$$

8 - Momentos de inércia das áreas consideradas removidas, em relação aos eixos centroidais x'_i , y'_i

$$I_{x'_i} = B_i (\text{TES}_i)^3 / 12 \quad (3.65)$$

$$I_{y'_i} = B_i^3 (\text{TES}_i) / 12 \quad (3.66)$$

$$I_{x'_i y'_i} = 0 \quad (3.67)$$

9 - Primeira parcela de correção para o tensor de inércia (ver apêndice D)

$$\bar{I}_{O_x} = \sum_{i=1}^{\text{NEFX}} I_{x'_i} \quad (3.68)$$

$$\bar{I}_{O_y} = \sum_{i=1}^{\text{NEFX}} I_{y'_i} \quad (3.69)$$

10 - Área total hipoteticamente removida

$$\text{AREAD} = \sum_{i=1}^{\text{NEFX}} \text{BB}_i \quad (3.70)$$

11 - Parcela correspondente a transferência de eixos (Teorema de Stein)

$$\bar{I}_{x_i}' = BB_i (y_{CE_i} - y_C)^2 \quad (3.71)$$

$$\bar{I}_{y_i}' = BB_i (x_{CE_i} - x_C)^2 \quad (3.72)$$

$$\bar{I}_{x_i y_i}' = BB_i (y_{CE_i} - y_C) (x_{CE_i} - x_C) \quad (3.73)$$

12 - Segunda parcela de correção para o tensor de inércia (ver apêndice D)

$$\bar{I}_x = \sum_{i=1}^{NEFX} \bar{I}_{x_i}' \quad (3.74)$$

$$\bar{I}_y = \sum_{i=1}^{NEFY} \bar{I}_{y_i}' \quad (3.75)$$

$$\bar{I}_{xy} = \sum_{i=1}^{NEFX} \bar{I}_{x_i y_i}' \quad (3.76)$$

13 - Tensor de inércia corrigido, todavia, relativo aos eixos baricêntricos da seção plena

$$I_{x_C} = I_\xi - (\bar{I}_{o_x} + \bar{I}_x) \quad (3.77)$$

$$I_{y_C} = I_\eta - (\bar{I}_{o_y} + \bar{I}_y) \quad (3.78)$$

$$I_{x_C y_C} = I_{\xi\eta} - \bar{I}_{xy} \quad (3.79)$$

14 - Área efetiva ou área equivalente da seção

$$AREF = AREA - AREAD \quad (3.80)$$

15 - Deslocamento do eixo neutro em relação a sua posição original, isto é, correspondente a seção plena

$$x_1 = Q_y / AREF \quad (3.81)$$

$$y_1 = Q_x / AREF \quad (3.82)$$

onde Q_x e Q_y são os momentos de primeira ordem, calculados como segue:

a) para elementos passíveis de flambagem localmente

$$Q_x = \sum_{i=1}^{NEFX} (COMP_i TES_i - BB_i) (y_{CE_i} - y_G) \quad (3.83)$$

$$Q_y = \sum_{i=1}^{NEFX} (COMP_i TES_i - BB_i) (x_{CE_i} - x_G) \quad (3.84)$$

onde x_G e y_G são as coordenadas do centróide da seção.

b) para elementos que não sofrem redução de área

$$Q_x = \sum_{i=1}^{N-NEFX} (COMP_i TES_i) (y_{CE_i} - y_G) \quad (3.85)$$

$$Q_y = \sum_{i=1}^{N-NEFX} (\text{COMP}_i \text{ TES}_i) (x_{CE_i} - x_G) \quad (3.86)$$

16 - Nova posição da linha neutra com respeito ao sistema de referência global x-y

$$y_{G_1} = y_G + y_1 \quad (3.87)$$

$$x_{G_1} = x_G + x_1 \quad (3.88)$$

17 - Tensor de inércia corrigido, relativo á nova posição dos eixos baricêntricos (seção efetiva)

$$I_{x_g}(\text{ef}) = I_{x_C} - \text{AREF} (y_C - y_{G_1})^2 \quad (3.89)$$

$$I_{y_g}(\text{ef}) = I_{y_C} - \text{AREF} (x_C - x_{G_1})^2 \quad (3.90)$$

$$I_{x_g y_g}(\text{ef}) = I_{x_C y_C} - \text{AREF} (x_C - x_{G_1}) (y_C - y_{G_1}) \quad \dots \quad (3.91)$$

18 - Direção dos eixos principais de inércia

$$\psi_p = 0,5 \text{ tg}^{-1} \left[\frac{2 I_{x_g y_g}(\text{ef})}{(I_{y_g}(\text{ef}) - I_{x_g}(\text{ef}))} \right] \quad \dots \quad (3.92)$$

19 - Momentos principais de inércia (seção efetiva)

$$I_{\xi p}(ef) = I_{x_g}(ef) \cos^2 \psi_p + I_{y_g}(ef) \sin^2 \psi_p - 2 I_{x_g y_g}(ef) \sin \psi_p \cos \psi_p \quad (3.93)$$

$$I_{\eta p}(ef) = I_{x_g}(ef) \sin^2 \psi_p + I_{y_g}(ef) \cos^2 \psi_p + 2 I_{x_g y_g}(ef) \sin \psi_p \cos \psi_p \quad (3.94)$$

20 - Para a obtenção do módulo de resistência efetivo, o procedimento desde o item 3.4.2 (1) até 3.4.2 (17) é repetido, uma vez que agora a expressão que dá o comprimento efetivo é a (3.62) e não a (3.60) e o módulo de resistência é dado pela expressão

$$S_{x}(ef) = I_{x_g}(ef) / ALT1 \quad (3.95)$$

onde ALT1 é a distância desde a nova posição do eixo neutro até a fibra mais afastada.

A determinação das propriedades efetivas, quando os elementos em compressão são paralelos ao eixo dos y, é feita de forma inteiramente análoga a descrita nos itens 3.4.2 (1) a 3.4.2 (20). Desta maneira, para a reutilização do processo na direção y, é requerido uma inversão de eixos. Portanto, o que se referia ao eixo x, passa agora a se referir ao eixo dos y.

Em se tratando de seções com reforços intermediários, a largura efetiva ou comprimento efetivo é determinado com as expressões usuais, isto é, com as equações (3.59), (3.60), (3.61) e (3.62), conforme a razão largura-espessura do sub-elemento, quando comparada com a razão largura-espessura limite (função da tensão), equação (3.57) ou (3.58). Porém, quando a razão largura-espessura de um sub-elemento é maior que 60,

o comprimento efetivo é determinado através da relação

$$BE' = BE - 0,10 (BST_i - 60) \quad (3.96)$$

onde BST_i - razão largura-espessura do sub-elemento.

BE - comprimento efetivo determinado com as equações (3.59), (3.60), (3.61) e (3.62) conforme for o caso.

Para membros de paredes delgadas em compressão axial, o efeito da flambagem local é considerado através do fator de coluna Q . Sua obtenção é efetivada através dos seguintes itens:

Para o i -ésimo elemento passível de flambagem local.

1 - Tensão de compressão

$$ZGMA_i = ZGMAE/1,65 \quad (3.97)$$

2 - Razão largura-espessura

$$BST_i = COMP_i / TES_i \quad (3.98)$$

3 - Razão largura-espessura limite, em função da tensão atuante $ZGMA_i$

$$BSTQ_i = 0,7396 \left(\frac{E}{ZGMA_i} \right)^{1/2} \quad (3.99)$$

4 - Largura efetiva ou largura útil

$$a) \quad BE = COMP_i \quad \text{quando} \quad BST_i \leq BSTQ_i \quad (3.100)$$

$$b) \quad BE = 1,479 \left(\frac{E}{ZGMA_i} \right)^{1/2} \left[1 - 0,3698 \left(\frac{E}{ZGMA_i} \right)^{1/2} \frac{1}{BST_i} \right] TES_i$$

quando $BST_i > BSTQ_i \quad \dots \quad (3.101)$

c) existindo reforços intermediários, o comprimento efetivo dos sub-elemento é dado por

$$BE' = BE \quad \text{para} \quad BST_i \leq 60 \quad (3.102)$$

$$BE' = BE - 0,10 (BST_i - 60) \quad \text{para} \quad BST_i > 60 \quad (3.103)$$

5 - Comprimento descontado

$$B_i = COMP_i - BE \quad (3.104)$$

6 - Área hipoteticamente removida

$$BB_i = B_i TES_i \quad (3.105)$$

7 - Área total removida

$$AREAD = \sum_{i=1}^{NTEX+NTEY} BB_i \quad (3.106)$$

onde NTEX - número de elementos paralelos ao eixo x e passíveis de flambagem local.

NTEY - número de elementos paralelos ao eixo y e passíveis de flambagem local.

8 - Área efetiva da seção transversal

$$AREF = AREA - AREAD \quad (3.107)$$

9 - Fator de coluna

$$Q = \frac{AREF}{AREA} \quad (3.108)$$

- Elementos não Enrijecidos em Compressão

Em se tratando de seções constituídas apenas de elementos não enrijecidos, e em função do comportamento apresentado por tais elementos quando em compressão, determinam-se propriedades seccionais plenas, bem como tensões de compressão admissíveis e momento admissível, por razões descritas no item 2.4.2 do capítulo 2.

Propriedades Seccionais

- 1 - O procedimento para a obtenção das propriedades seccionais plenas, encontra-se descrito no item 3.4.1 deste capítulo.
- 2 - Tensões de compressão admissíveis - Para cada elemento determina-se a correspondente tensão de compressão admissível. Esta tensão, que é função da razão largura-espessura, é obtida através das expressões:

$$a) \quad \sigma_{ca_i} = \sigma_b \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} \leq 10 \quad (3.109)$$

$$b) \sigma_{ca_i} = (1,667\sigma_b - 0,404\sigma_{cr}) - \frac{1}{15}(\sigma_b - \frac{1}{1,65}\sigma_{cr})\frac{b}{t}$$

para $10 < \frac{b}{t} \leq 25$... (3.110)

onde $\sigma_b = \sigma_e/1,65$ (3.111)

$$\sigma_{cr} = 0,5 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(25)^2} \quad (3.112)$$

$$c) \sigma_{ca_i} = \frac{1}{57,75} (\sigma_{cr/60} - \sigma_{cr/25})\frac{b}{t} - \frac{25}{57,75}$$

$$\times (\sigma_{cr/60} - \sigma_{cr/25}) + \frac{1}{1,65} \sigma_{cr/25} \quad (3.113)$$

onde $\sigma_{cr/25}$ e $\sigma_{cr/60}$ são dadas pela expressão (2.53) com b/t igual a 25 e 60, respectivamente.

Estas expressões podem ser utilizadas para membros em flexão ou compressão axial, com exceção da equação c que não se aplica para cantoneiras em compressão axial. Assim, apresenta-se a seguinte expressão

$$d) \sigma_{ca_i} = 0,303 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} \quad \text{para} \quad 25 < \frac{b}{t} \leq 60$$

... (3.114)

3 - Momento admissível - Sua obtenção é feita com a expressão

$$M_{adm} = S_{pleno} \sigma \quad (3.115)$$

onde σ - é a tensão governante, podendo ser de tração σ_b ou compressão σ_{ca_i} . A tensão σ_{ca_i} corresponde a do elemento em compressão na flexão.

- 4 - - fator de coluna - De acordo com as recomendações das Normas AISI e NB-143, ele é a relação entre a tensão de compressão admissível e a tensão básica de projeto, σ_b . Assim,

$$Q_t = \sigma_{ca_i} / \sigma_b \quad (3.116)$$

onde σ_{ca_i} - é a menor das tensões de compressão admissíveis.

- Seções Constituídas de Elementos Enrijecidos e não Enrijecidos

Para estas seções, devido a presença de elementos enrijecidos e não enrijecidos, fica implícita a possibilidade de serem determinadas, além das propriedades plenas, propriedades considerando a seção efetiva bem como tensões de compressão admissíveis e momento admissível. Um exemplo esclarecedor desta situação pode ser visto no capítulo 4, exemplos e comparações, para a seção C com flanges não enrijecidos.

Propriedades Seccionais

- 1 - O procedimento para a obtenção das propriedades seccionais plenas, encontra-se descrito no item 3.4.1 deste capítulo.
- 2 - As propriedades seccionais efetivas são obtidas com a formulação apresentada no item 3.4.2 com subtítulo - Elementos enrijecidos em compressão.
- 3 - Na forma em que se tenha elementos não enrijecidos em compressão, as propriedades seccionais são obtidas con-

forme os procedimentos apresentados no item 3.4.2 com subtítulo - Elementos não enrijecidos em compressão.

- 4 - Fator de coluna - Em conformidade com a equação (2.90) pode-se escrever:

$$Q_m = Q_a Q_t \quad (3.117)$$

onde Q_a e Q_t são dados pelas equações (3.108) e (3.116), respectivamente.

3.5 - PROGRAMA CODIFICADO EM FORTRAN

Para a solução numérica da formulação apresentada neste capítulo, foi codificado um programa em FORTRAN. Um fluxograma geral é apresentado no apêndice A.

CAPÍTULO 4

EXEMPLOS E COMPARAÇÕES

A seguir, são apresentados alguns exemplos com a finalidade de demonstrar a flexibilidade e validade da formulação numérica desenvolvida e apresentada no capítulo 3.

As seções transversais selecionadas para as quais as propriedades seccionais plenas e efetivas são calculadas, foram extraídas do manual de especificação para o projeto de membros estruturais leves, AISI [4] com a finalidade exclusiva de comparação de resultados. A razão desta limitação reside no fato de que não se dispõe de outra referência que apresente propriedades seccionais levando em conta o efeito da flambagem local.

Como primeiro exemplo ilustrativo, considera-se uma seção C modelada de acordo com o exposto no apêndice B, e mostrada na figura 4.1.

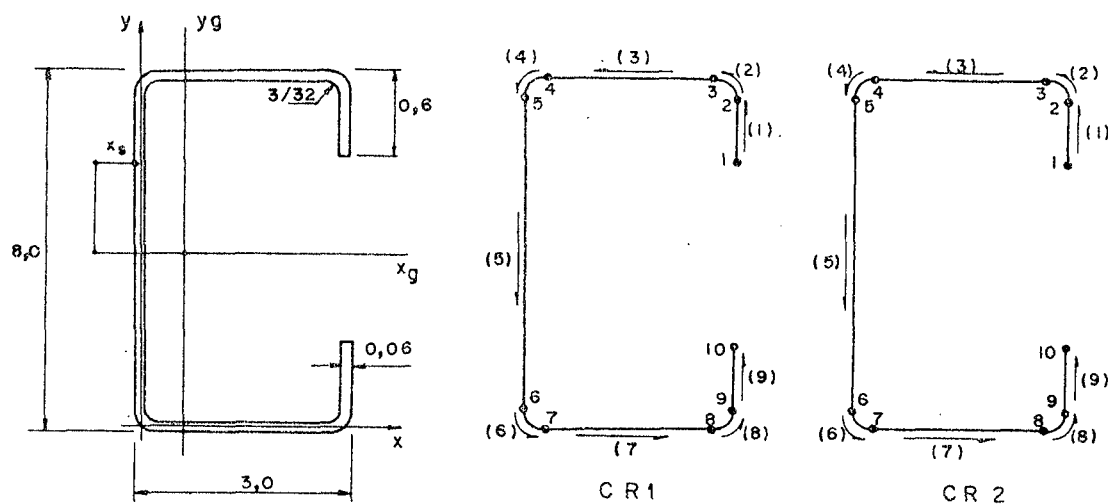


Figura 4.1 - Exemplo de seção ITIPO = 1
Dimensões em polegadas.

Quando em flexão pura em relação ao eixo x_g , dependendo do sentido do momento fletor, o elemento de número de ordem 3, ou o de número de ordem 7, pode se encontrar sob compressão, e portanto, dependendo do nível de tensão atuante poderá haver uma redução em sua área plena, como consequência da flambagem local. Este fato, evidencia a existência de duas soluções distintas, com respeito ao mesmo eixo. Aqui, naturalmente, devido a simetria em relação a este eixo, x_g , é necessário considerar apenas um sentido para o momento fletor, e determinar então, as propriedades seccionais efetivas. No que diz respeito ao eixo y_g , pode-se ver que, dependendo do sentido do momento fletor, tanto o elemento de número de ordem 5 quanto os elementos de número de ordem 1 e 9 podem estar em compressão. Poder-se-ia pensar em determinar as propriedades seccionais efetivas para as duas situações distintas, contudo segundo as referências [4,17] os elementos de número 1 e 9 funcionam como reforço, isto é, enrijecedores de borda e portanto são dimensionados de tal forma que mesmo sujeito a maior tensão admissível, isto é, tensão básica de projeto σ_b , não flambam localmente. Assim, é desnecessário analisar esta situação ou similar. Isto significa que as propriedades efetivas, neste caso, são as próprias propriedades plenas. Portanto, deve ser verificada alguma redução nas propriedades plenas, com respeito ao eixo y_g , quando o elemento comprimido for o de número de ordem 5.

Para efeito comparativo apresenta-se uma tabela (ver figura 4.2) demonstrativa dos resultados obtidos para a seção em apreço, correspondendo a aços com tensão de escoamento da ordem de 232 MPa (33000 psi) e 348 MPa (49500 psi).

Nota: Algumas propriedades efetivas não estão disponíveis na referência [4]. Nas tabelas que se seguem, é colocado um traço no local das referidas propriedades.

Uma situação onde as propriedades seccionais plenas são utilizadas em conjunto com tensões de compressão admissíveis, pode ser vista utilizando-se a cantoneira da figura 4.3, modelada conforme os requisitos do apêndice B.

PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS										
FONTE	ÁREA	I _{xg}	S _{xg}	r _{xg}	I _{yg}	S _{yg}	r _{yg}	x _c	y _c	x _s
PROCESSO	0,885	8,792	2,198	3,152	0,997	0,458	1,061	0,822	4,00	-1,253
REF. [4]	0,885	8,79	2,20	3,15	0,997	0,458	1,06	0,822	4,00	-1,253

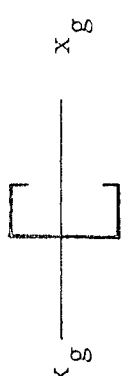
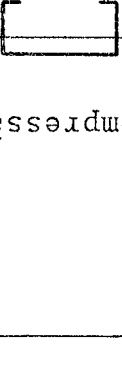
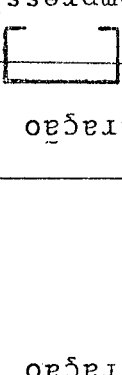
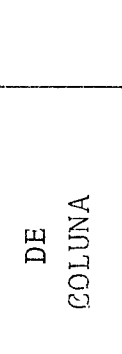
PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS									
DEFORMAÇÕES	RESISTÊNCIA	DEFORMAÇÕES	RESISTÊNCIA	DEF. RESIST.	FATOR DE COLUNA				
compressão 		tração 		tração 		compressão 			
1	2	3	4	4					
$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	$\sigma = \sigma_{ob1}$	$\sigma = \sigma_{ob2}$	$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$		
I _{xg}	S _{xg}	I _{yg}	S _{yg}	I _{yg}	S _{yg}	Q	Q		
PROCESSO	8,702	2,058	1,956	0,869	0,812	0,421	0,409		
REF. [4]	-	2,06	1,95	-	-	0,997	0,458		
				0,997	0,458	0,635	0,565		
				0,997	0,458	0,635	0,565		

Figura 4.2 - Quadro Comparativo

$\sigma_{b1} = 20000$ psi; $\sigma_{b2} = 30000$ psi

σ - Tensão de trabalho (compressão em 1, 3 e 4 e tração em 2)

Unidades pol, pol², pol³, pol⁴.

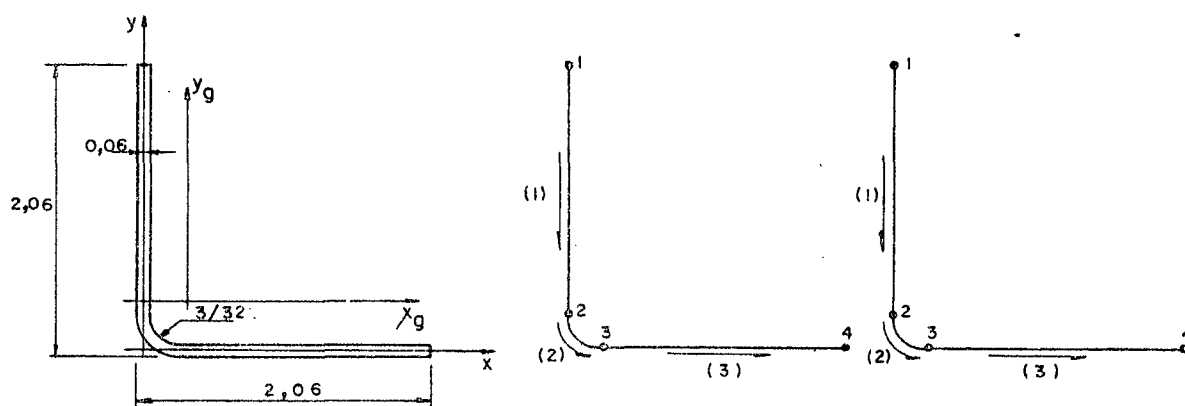


Figura 4.3 - Exemplo de seção ITIPO = 3
Dimensões em polegadas.

Para esta seção, duas situações distintas podem ocorrer com respeito ao mesmo eixo. Tome-se como exemplo o eixo bari-cêntrico x_g . Dependendo do sentido do momento pode-se ter o elemento de número de ordem 1 ou o elemento de ordem 3 em compressão. No primeiro caso têm-se que a tensão de trabalho (compressão) é determinada em conformidade com o gráfico da figura 2.22 ou com as equações correspondentes àqueles segmentos em função da razão largura-espessura b/t . Aqui, no caso, deve-se tomar b/t do elemento de número de ordem 1. O momento máximo admissível é portanto, determinado em função desta tensão de trabalho reduzida. No segundo caso, o momento máximo admissível pode ser dado diretamente em função da tensão básica de projeto σ_b , atuando na fibra tracionada, ou em função de uma tensão de tração reduzida. Esta última dada por uma relação linear envolvendo a tensão de compressão admissível do elemento. Para o caso em questão, esta tensão corresponde a do elemento de número de ordem 3.

Para efeito comparativo apresenta-se uma tabela (ver figura 4.4) demonstrativa dos resultados obtidos para a seção em apreço, correspondendo a aços com tensão de escoamento da ordem de 232 MPa (33000 psi) e 348 MPa (49500 psi).

Um tratamento similar ao utilizado para a cantoneira, (ver figura 4.3) pode ser usado para a seção mostrada no apêndice B (figura B.1 (c)) onde todos os elementos constituintes são não enrijecidos. Portanto, tem-se para esta seção ITIPO = 3. Pa-

PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS										
FONTE	ÁREA	$I_{x_g} = I_y$	$S_{x_g} = S_y$	$r_{x_g} = r_y$	$x_c = y_c$	I_{ξ}	r_{ξ}	I_{η}	r_{η}	$I_{x_g} y_g$
PROCESSO	0,240	0,104	0,068	0,657	0,544	0,167	0,834	0,040	0,408	-0,0636
REF. [4]	0,241	0,104	0,069	0,658	0,545	-	-	0,0404	0,409	-

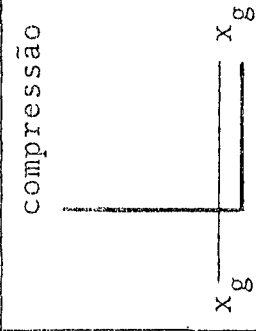
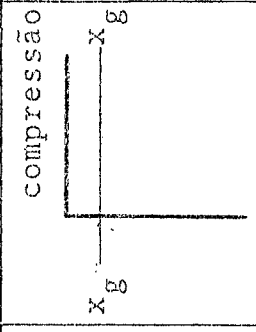
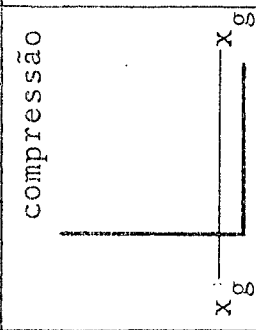
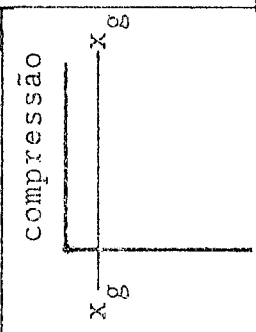
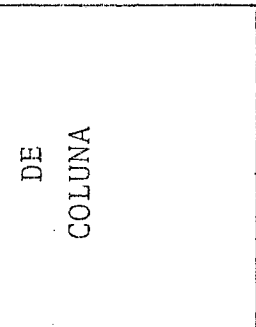
PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS										
RESISTÊNCIA					RESISTÊNCIA					FATOR DE COLUNA
compressão	compressão	compressão	compressão	compressão	compressão	compressão	compressão	compressão	compressão	
					tração 1	tração 2	tração 3	tração 4	tração 5	tração 6
$\sigma = \sigma_{ca}$	$\sigma = \sigma_{b1}$	M_{max}	M_{max}	M_{max}	$\sigma = \sigma_{ca}$	M_{max}	$\sigma = \sigma_{b2}$	M_{max}	$\sigma = \sigma_{ca}$	$\sigma = \sigma_{ca}$
PROCESSO	11041	20000	1368	756	11041	756	30000	2053	0,401	0,267
REF. [4]	11040	20000	1380	760	11040	760	30000	2070	0,401	0,267

Figura 4.4 - Quadro comparativo.

$\sigma_{b1} = 20000$ psi; $\sigma_{b2} = 30000$ psi

σ - Tensão de trabalho (compressão em 1,3,5 e 6 e tração, 2 e 4)
 Unidades pol, pol², pol³, pol⁴.

PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS									
FONTE	ÁREA	Ix_g	Sx_g	rx_g	Iy_g	Sy_g	ry_g	x_c	x_c
PROCESSO	2,102	3,431	1,164	1,278	5,831	1,452	1,666	0,00	1,069
REF. [4]	2,10	3,430	1,164	1,28	5,831	1,452	1,67	0,00	1,069

PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS									
RESISTÊNCIA					RESISTÊNCIA				
compressão		compressão		compressão		compressão		compressão	
tração		tração		tração		tração		tração	
1		2		3		4		Q 5	
Q 6		Q 6		Q 6		Q 6		Q 6	
x_g		x_g		x_g		x_g		x_g	
$\sigma = \sigma_{ca}$	M_{max}	$\sigma = \sigma_{b1}$	M_{max}	$\sigma = \sigma_{ca}$	M_{max}	$\sigma = \sigma_{b2}$	M_{max}	$\sigma = \sigma_{ca}$	$\sigma = \sigma_{ca}$
PROCESSO	12287	14306	20000	23287	12287	14306	30000	34931	0,541
REF. [4]	12300	14320	20000	23280	12300	14320	30000	34920	0,542

Figura 4.5 - Quadro comparativo.

$\sigma_{b1} = 20000$ psi; $\sigma_{b2} = 30000$ psi

σ - Tensão de trabalho (compressão em 1, 3, 5 e 6 e tração em 2 e 4).

Unidades pol , pol^2 , pol^3 , pol^4 .

ra efeito de validação dos resultados, apresentam-se as propriedades seccionais determinadas pelo programa PEPAD em confronto direto com aquelas apresentadas na referência [4]. (ver figura 4.5).

Dando continuidade a esta série exemplo-comparação, apresenta-se agora uma seção constituída de ambos os elementos, isto é, elementos enrijecidos e não enrijecidos, conforme é visto na figura 4.6. Esta seção é a mesma da figura B.1 (b) do apêndice B, aqui reproduzida apenas por comodidade.

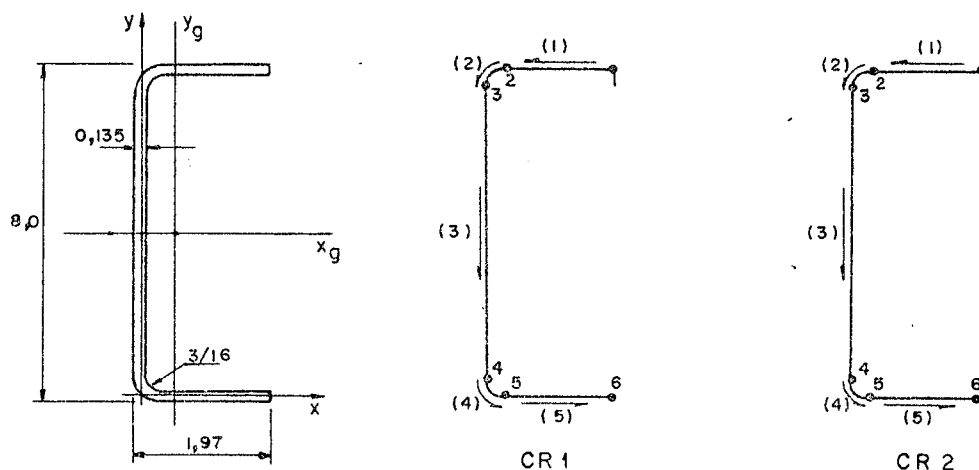


Figura 4.6 - Exemplo de seção ITIPO = 2 ou ITIPO = 1. Dimensões em polegadas.

Esta seção apresenta uma singularidade no que diz respeito ao eixo y_g . Dependendo do sentido do momento fletor haverá um elemento enrijecido ou dois elementos não enrijecidos em compressão.

O programa PEPAD determina as propriedades seccionais efetivas para uma única situação, ou sentido do momento fletor com respeito a um dos eixos, x_g ou y_g . Então, para o caso em que se deseja obter as propriedades seccionais efetivas, relativa aos outros sentidos do momento fletor, é necessário apenas, introduzir um outro deck de dados, uma vez que o programa prevê a possibilidade de execução consecutiva. Justamente esta situação se aplica para a seção da figura 4.6, cujos resultados são apresentados nas tabelas da figura 4.7.

PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS											
FONTE	ÁREA	I_{x_g}	S_{x_g}	r_{x_g}	I_{y_g}	S_{y_g}	r_{y_g}	x_c	y_c	x_s	y_s
PROCESSO	1,546	12,954	3,239	2,895	0,466	0,294	0,549	0,384	4,00	-0,580	4,0075
REF. [4]	1,55	12,9	3,24	2,89	0,465	0,293	0,548	0,383	4,00	-0,531	4,00

PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS														
RESISTÊNCIA			RESISTÊNCIA				DEFORMAÇÕES		RESISTÊNCIA		FATOR DE COLUNA			
<p>1</p>			<p>2</p>				<p>3</p>		<p>4</p>		FATOR DE COLUNA			
$\sigma = \sigma_{ca}$	M_{max}	$\sigma = \sigma_{ca}$	M_{max}	$\sigma = \sigma_{ca}$	M_{max}	$\sigma = \sigma_{ca}$	M_{max}	I_{y_g}	I_{y_g}	S_{y_g}	S_{y_g}	Q	Q	
PROCESSO	18964	61425	27498	89067	18964	5575	27498	8084	0,466	0,466	0,2940	0,2934	0,817	0,735
REF. [4]	18960	61430	27490	89067	18960	5555	27490	8054	-	-	-	-	0,817	0,736

Figura 4.7 - Quadro comparativo.

$\sigma_{b1} = 20000$ psi; $\sigma_{b2} = 30000$ psi
 σ - Tensão de trabalho (compressão em 1, 2 e 4 e tração em 3).
 Unidades pol , pol^2 , pol^3 , pol^4 .

Os exemplos apresentados até o momento mostram a validade da formulação desenvolvida e também, de forma sucinta, como se deve analisar uma seção para se trabalhar eficazmente com o programa, para a obtenção das propriedades seccionais efetivas. Os exemplos que se seguem são especificamente para efeito comparativo. Assim, os resultados do perfil indicado na figura 4.8 são apresentados na tabela da figura 4.9.

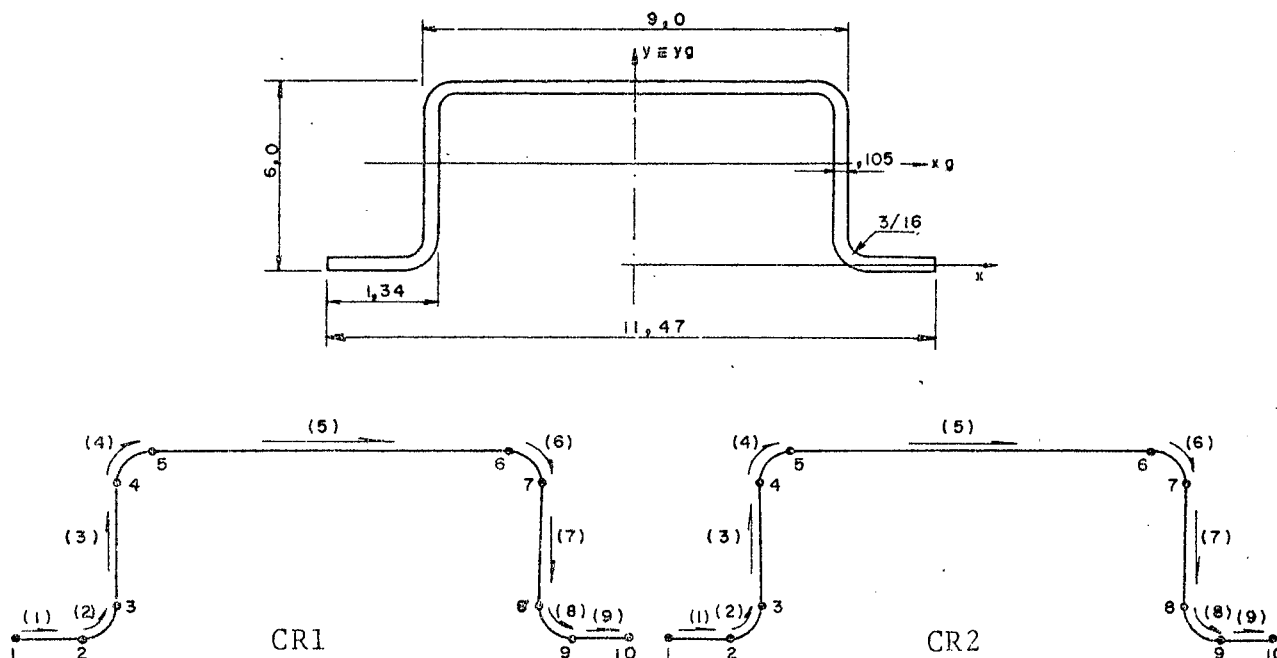


Figura 4.8 - Exemplo de seção ITIPO = 1
Dimensões em polegadas.

Um outro perfil amplamente utilizado em estruturas é indicado na figura 4.10, e os resultados apresentados na figura 4.11

Os exemplos acima apresentados usam as tensões básicas de projeto $\sigma_{b1}=140$ MPa (20000 psi) e $\sigma_{b2}=210$ MPa (30000 psi), única e exclusivamente para comparação com os resultados existentes na referência [4].

O programa pode ser utilizado para qualquer material com propriedades mecânicas dadas em qualquer sistema coerente de unidade.

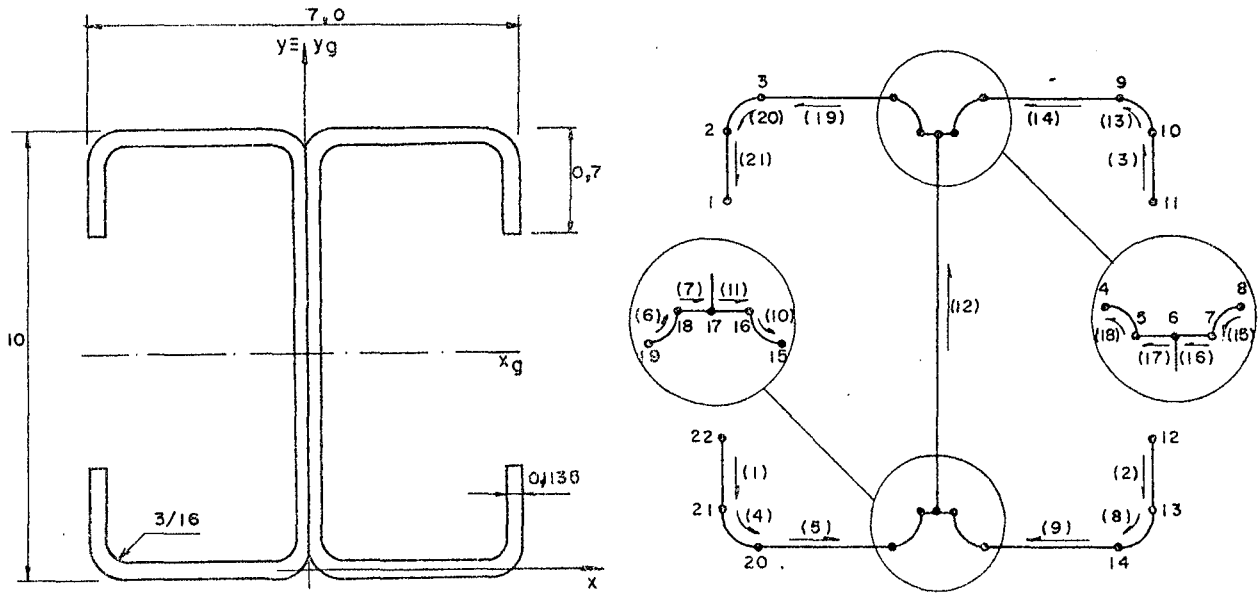
PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS											
FONTE	ÁREA	I_{x_g}	S_{x_g}	r_{x_g}	I_{y_g}	S_{y_g}	r_{y_g}	x_c	y_x	x_s	y_s
PROCESSO	2,399	12,07	3,163	2,243	36,836	6,423	3,918	0,00	3,815	0,00	8,614
REF. [4]	2,40	12,1	3,16	2,24	36,84	6,42	3,92	0,00	3,82	0,00	-

PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS												
DEFORMAÇÕES		RESISTÊNCIA		DEF. RESIST. DEFORMAÇÕES		RESISTÊNCIA		FATOR DE COLUNA				
compressão		tração		compressão		tração		compressão		tração		
$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	σ_{b1}	σ_{b2}	$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	
I_{x_g}	I_{x_g}	S_{x_g}	S_{x_g}	I_{x_g}	S_{x_g}	I_{y_g}	S_{y_g}	I_{y_g}	S_{y_g}	Q	Q	
PROCESSO	11,27	10,68	2,99	2,921	12,07	3,163	36,37	35,42	5,965	0,751	0,671	
REF. [4]	11,3	10,7	3,00	2,92	12,1	3,16	-	-	-	0,751	0,671	

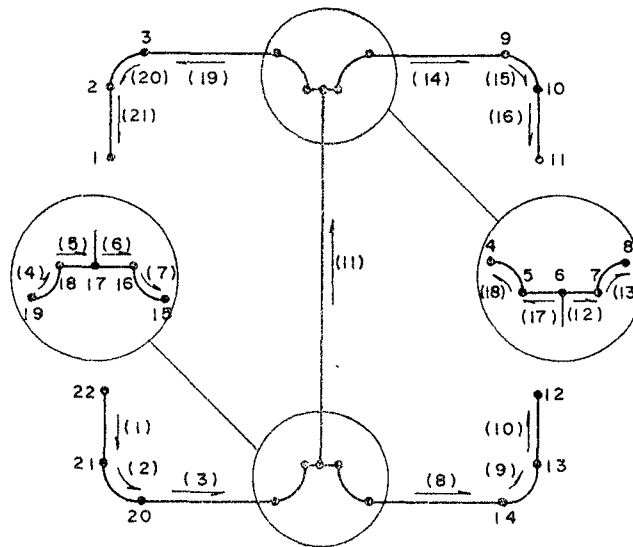
Figura 4.9 - Quadro comparativo

$\sigma_{b1} = 20000$ psi; $\sigma_{b2} = 30000$ psi

σ - Tensão de trabalho (compressão em 2,3 e 4 tração em 1).
 Unidades pol, pol², pol³, pol⁴.



CR1



CR2

Figura 4.10 - Exemplo de seção ITIPO = 1
Dimensões em polegadas.

PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS

FONTE	ÁREA	I_{x_g}	S_{x_g}	r_{x_g}	I_{y_g}	S_{y_g}	r_{y_g}	x_c	y_c
PROCESSO	2,681	40,958	8,192	3,908	6,333	1,809	1,537	0,00	5,00
REF. [4]	2,68	41,0	8,2	3,91	6,33	1,81	1,54	0,00	5,00

PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS

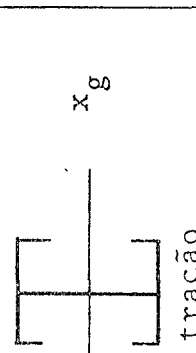
DEFORMAÇÕES	RESISTÊNCIA		DEFORMAÇÕES		RESISTÊNCIA		FATOR DE COLUNA
	$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	
	I_{x_g}	S_{x_g}	I_{y_g}	S_{y_g}	$\sigma = \sigma_{b1}$	$\sigma = \sigma_{b2}$	Q
	40,745	7,791	6,333	1,809	1,809	1,809	
REF. [4]	-	7,80	6,33	1,81	1,81	1,81	0,634

Figura 4.11 - Quadro comparativo.

$\sigma_{b1} = 20000$ psi; $\sigma_{b2} = 30000$ psi

σ - Tensão de trabalho.

Unidades pol, pol², pol³, pol⁴.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

O processo numérico computacional e programa codificado em FORTRAN, elaborados neste trabalho, permitem a determinação das propriedades seccionais plenas e efetivas de membros estruturais de paredes delgadas, utilizados como viga ou coluna.

A partir da apresentação e comparação dos resultados, fica demonstrada a concordância entre os valores obtidos e os de referência. Além disso, o programa se apresenta como uma ferramenta de grande utilidade, uma vez que suplanta as formas comuns de cálculo através do uso de tabelas e gráficos em muitos aspectos, tais como:

- 1 - Tempo requerido para o cálculo das propriedades plenas e efetivas - Esta é uma consideração muito importante em seções de paredes delgadas, devido as mais variadas formas de seções transversais e principalmente porque para muitas seções, as propriedades efetivas são determinadas através de processo iterativo.
- 2 - Largura efetiva - Nível de tensão - As tabelas e gráficos permitem determinar a largura efetiva em função da razão largura-espessura, somente para níveis discretos de tensão de trabalho, acarretando portanto, para outros níveis, aproximações.
- 3 - Obtenção de propriedades seccionais para outros materiais e níveis básicos de tensão - Geralmente as propriedades tabeladas são para um material e no máximo para dois níveis básicos de tensão. (ver AISI - tabelas). Para outros níveis, as propriedades são obtidas por interpolação e extrapolação, originando portanto, erros.

Uma das aplicações para o programa, de maior interesse prático, é a confecção de tabelas contendo todas as propriedades seccionais plenas e efetivas, para as mais variadas for-

mas de seções transversais e os diversos tipos de materiais usados na fabricação de perfis estruturais. Estas tabelas são de grande valia para o meio industrial. A exemplo, ver tabelas no volume II.

A tendência atual, em estruturas leves, é o uso de vigas conformadas a frio. Uma vez que perfis desta natureza preenchem os dois requisitos básicos de projeto, isto é, economia e segurança, sugere-se, então, desenvolver uma pesquisa com o objetivo único de otimizar ou de apresentar expressões que determine com grande precisão a largura equivalente de componentes estruturais em compressão.

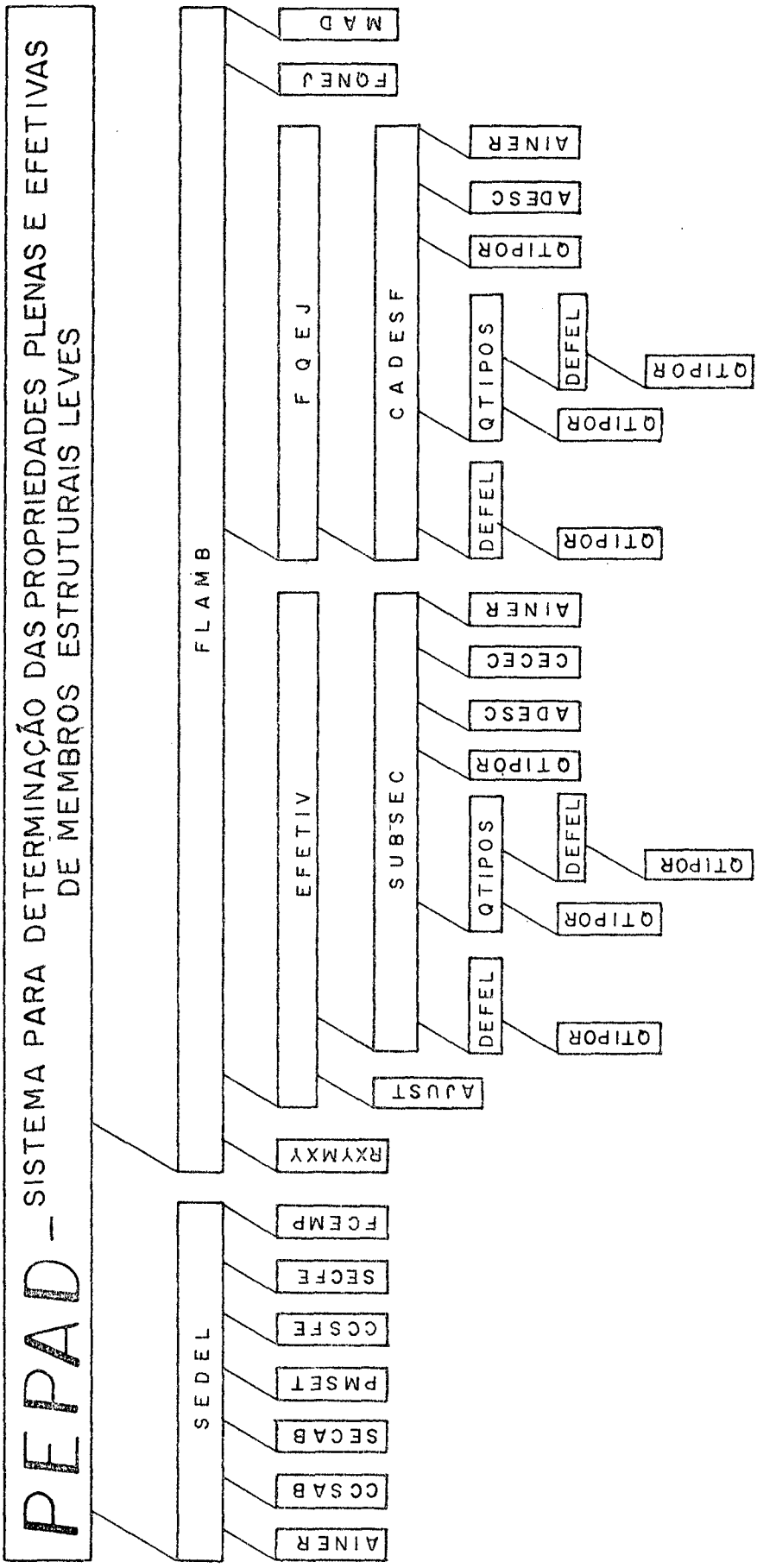
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - WINTER, George, "Strenght of Thin Steel Compression Flanges", Trans. ASCE, Vol. 112 p. 527, 1947.
- [2] - TIMOSHENKO, S. P. and Gere, J. M., Theory of Elastic Stability. 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1961.
- [3] - KARMAN, T. Von, Sechler, E. E., and L. H. Dornell, "The Strenght of Thin Plates in Compression", Trans. ASME, APM, Vol. 54.5, 1932, pp 53-57.
- [4] - Light Gage Cold-Formed Steel Design Manual AISI, ed. 1961
- [5] - WINTER, George, Light Gage Cold-Formed Steel Design Manual, "Commentary on The 1961 Edition".
- [6] - WINTER, George, Performance of Thin Steel Compression Flanges, Prelim. Pub. 3ed Congr. Intern. Assoc. Bridge and Structural Eng., Liège, 1948, p. 137.
- [7] - WINTER, George, Cold-Formed Light-Gage Steel Construction Proc. ASCE, J. Struct. Div., Vol. 85, N° ST9, Nov 1959
- [8] - SECHLER, E. E., The Ultimate Strenght of Thin Sheets in Compression, Guggenheim Aeronaut. Lab. Pub. 27, California Institute de Technology, Pasadena, 1933.
- [9] - BRYAN, G. H., On The Stability of a Plane Plate Under Thrusts in its Own Plane With Application on the "Buckling" of The Sides of a Ship, Proc. London Math Soc., 1891 p. 54.
- [10] - BLEICH, F., Buckling Strenght of Metal Structures. McGraw-Hill, 1952.
- [11] - SCHUMAN and G BACK, Strenght of Retangular Flat Plates Under Edge Compression, NACA Tech. Rept. 356. 1930.

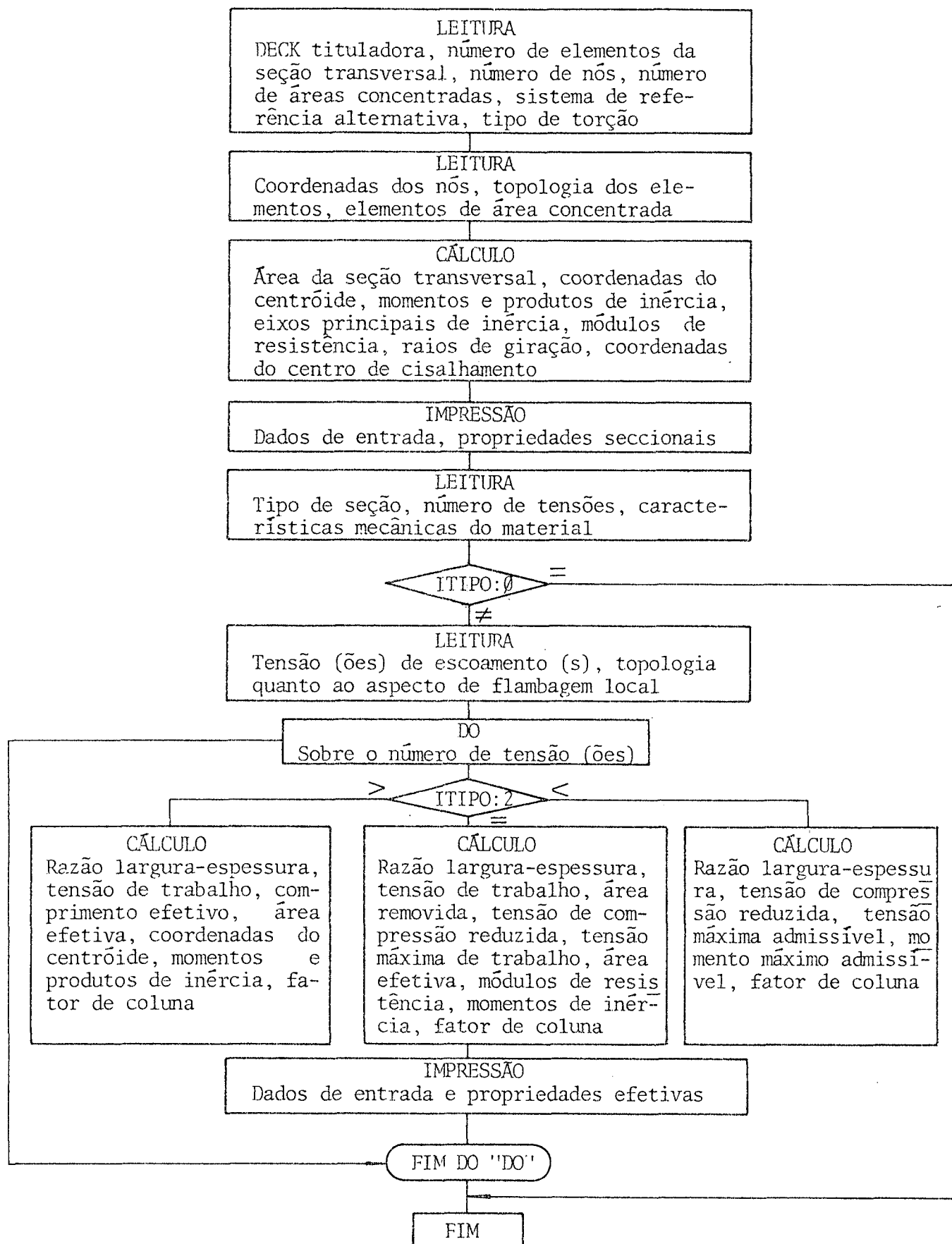
- [12] - NEWELL, J. S., Data on the Strength of Aircraft Materials, Aviation Eng, 1932.
- [13] - SWEENEY, R. J., The Strength of Hull Plating Under Compression, U. S. Experimental Model Basin, Progress Repts. 1 and 2, 1933.
- [14] - GAYLORD, E. H. Jr. and Gaylord, C. N., Design of Steel Structures, 2nd ed., McGraw-Hill, Tokyo, 1972.
- [15] - MARGUERRE, Karl and Woernle, Hans-Theo, Elastic Plates, Blaisdell Publishing Company - 1969.
- [16] - DEWOLF, John T., PEOKOZ, Teoman and WINTER, George, "Local and Overall Buckling of Cold-Formed Members", Journal of The Structural Division.
- [17] - NB-143 (ABNT - Norma Brasileira) ed. 1967.
- [18] - KIRCHHOFF, G. R., Mechanik, 2nd ed., p 450, 1877.
- [19] - TIMOSHENKO, S. P., and Krieger, S., Theory of Plates and Shells, 2nd ed., pp. 415-428, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1959.
- [20] - KOLLBRUNNER, C. F., and BASLER, K., Torsion in Structures: An Engineering Approach. Spring-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1969.
- [21] - ALVES, D. B., PROSEC - Propriedades Seccionais de Vigas Retas de Paredes Delgadas. Centro Tecnológico da UFSC, 1976.
- [22] - ANDERSON, Volnei, "determinação de Propriedades Seccionais na Flexão, na Torção Uniforme e Não Uniforme de Seções de Paredes Delgadas, "Dissertação de Mestrado", CTC-UFSC, 1978.

- [23] - VERÇOSA, C. A. M., ROSA, Edison da, ALVES, D. B., Propriedades Seccionais de Perfis de Parede Fina. Anais do VI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM 81, PAPER N° B-18, pp. 189 - 198, Dezembro, 1981.
- [24] - NBR 6355 (ABNT - Norma Brasileira Registrada) ed. 1980.

APÊNDICE A



A.1 - Estrutura do programa PEPAD



APÊNDICE B

B.1 - INTRODUÇÃO

Este apêndice tem por objetivo ilustrar a correta utilização do programa PEPAD. As instruções compreendem duas etapas a saber: modelagem da seção e entrada de dados.

B.2 - MODELAGEM DA SEÇÃO TRANSVERSAL

A seção transversal deve ser modelada por nós, elementos retilíneos e curvilíneos e cavidades tubulares, segundo os seguintes procedimentos:

- 1 - Em caso de seção fechada ou mista (figura B.1 (e)), cortar as cavidades tubulares de forma que a seção seja considerada aberta. Os cortes podem ser realizados em quaisquer pontos sem, no entanto, subdividir a seção.

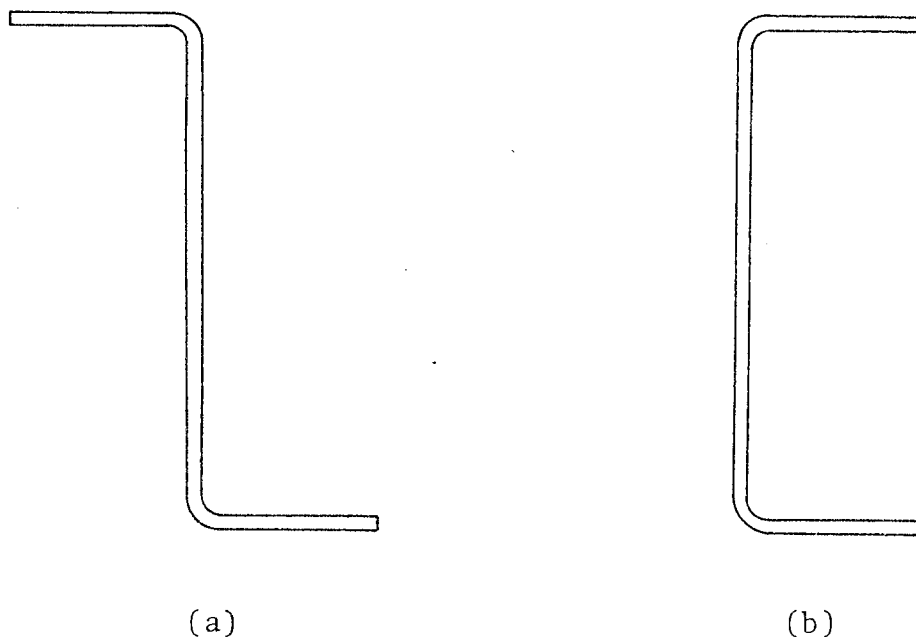
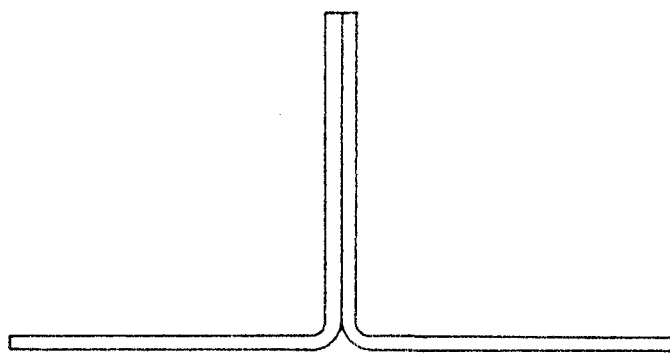
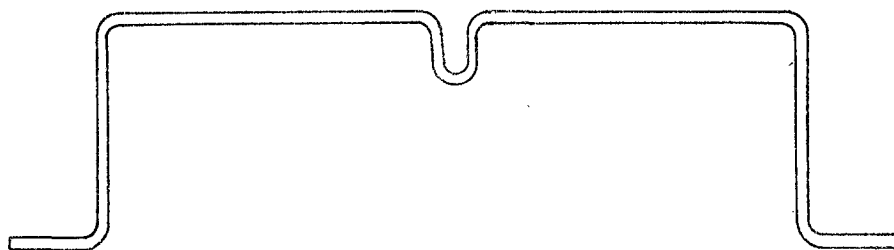


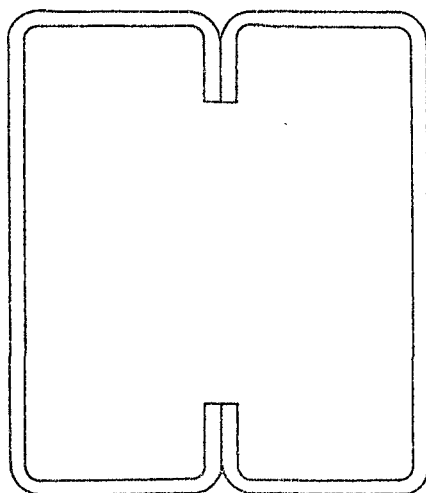
Figura B.1 - Exemplos de seções diversas



(c)



(d)



(e)

Figura B.1 - Exemplos de seções diversas (continuação)

2 - Desenhar dois croquis da seção, modelada por um conjunto de elementos binodais (linha média da parede): Denominar os croquis por CR1 e CR2, conforme é visto na figura B.2

A modelagem da seção requerida pelo processo numérico é feita considerando a contribuição dos fluxos de cisalhamento e empenamento, ao longo da seção. Tal fato, em geral, implica em duas configurações de fluxos distintas originando, portanto, dois croquis.

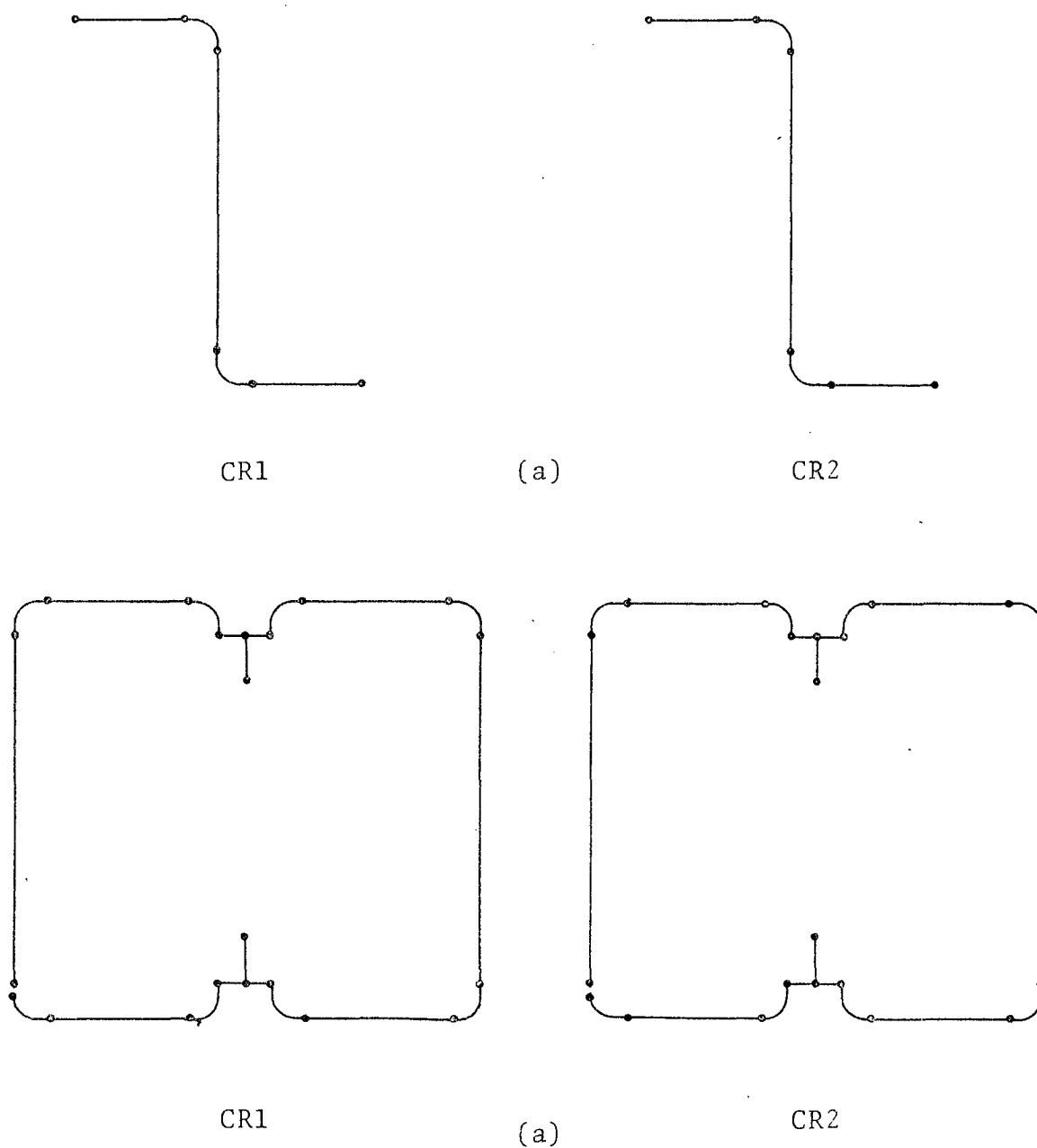


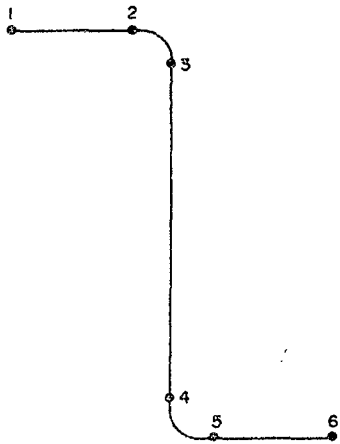
Figura B.2 - Modelagem da seção por elementos binodais.

- 3 - Áreas concentradas são tratadas como elementos retilíneos cujos nós, origem e término, têm as mesmas coordenadas.
- 4 - Elementos circulares têm seus arcos limitados a 180° .
- 5 - Nenhuma cavidade deve estar contida em outra.
- 6 - Numerar as cavidades tubulares em CR1 e CR2 de 1 a NCT, onde NCT é o número de cavidades da seção. Figura B.3.
- 7 - Numerar os nós em CR1 e CR2 de 1 a NN, onde NN é o número de nós da seção. Figura B.3.
- 8 - Em CR1, representar as setas indicativas do sentido origem-término, tomando extremidades livres como origem, exceto no elemento considerado como "último" e assumindo que, de cada nó sai apenas uma seta. Figura B.4.
- 9 - Em CR2, representar as setas indicativas do sentido origem-término, tomando extremidades livres como término, exceto no elemento considerado como "primeiro" e que este não deverá coincidir com o elemento considerado "último" em CR1. As demais setas são representadas assumindo que em cada nó chega apenas uma seta.
- 10 - Numerar os elementos da seção de 1 a N, onde N é o número de elementos em que a seção transversal é discretizada.

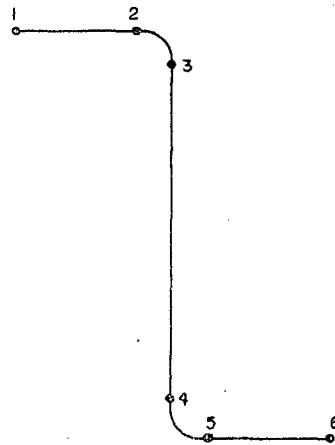
Em geral, as numerações dos elementos em CR1 e CR2 não coincidem, com exceção do elemento de número de ordem um (1), que deverá ser o mesmo nos dois croquis. Para numerar os demais elementos, é indiferente recomeçar em CR1 ou CR2.

10.1 - EM CR1

- 1 - Numerar em ordem crescente (2, 3, 4, ...) todos os elementos cujos nós origens são extremidades livres, escolhendo-os arbitrariamente.
- 2 - O último elemento, isto é, o de número de ordem N é aquele cujo nó término coincide com uma extremidade livre.

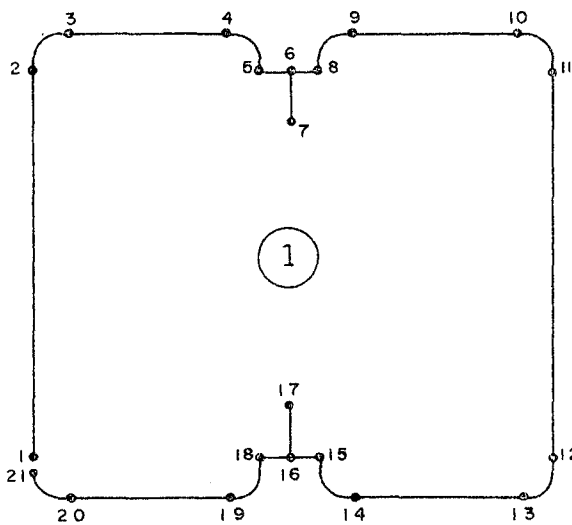


CR1

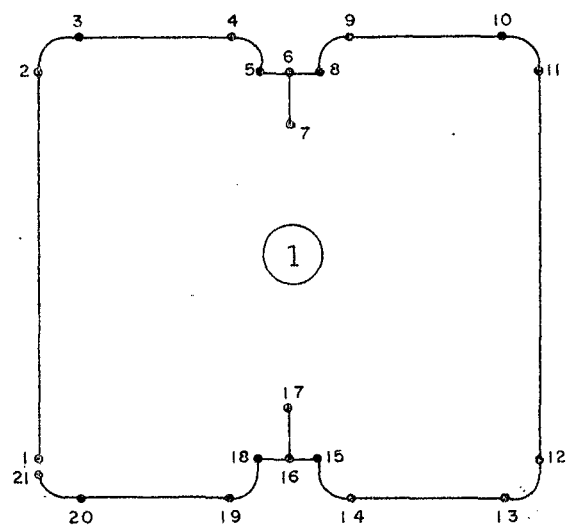


CR2

(a)



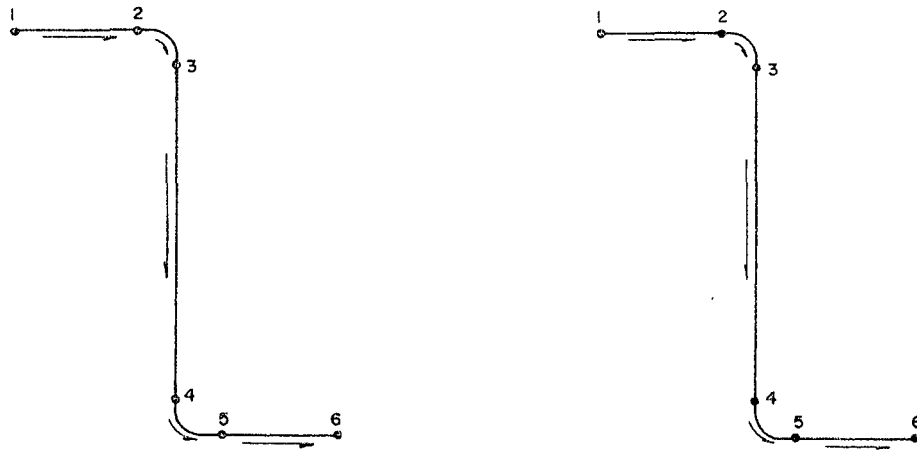
CR1



CR2

(b)

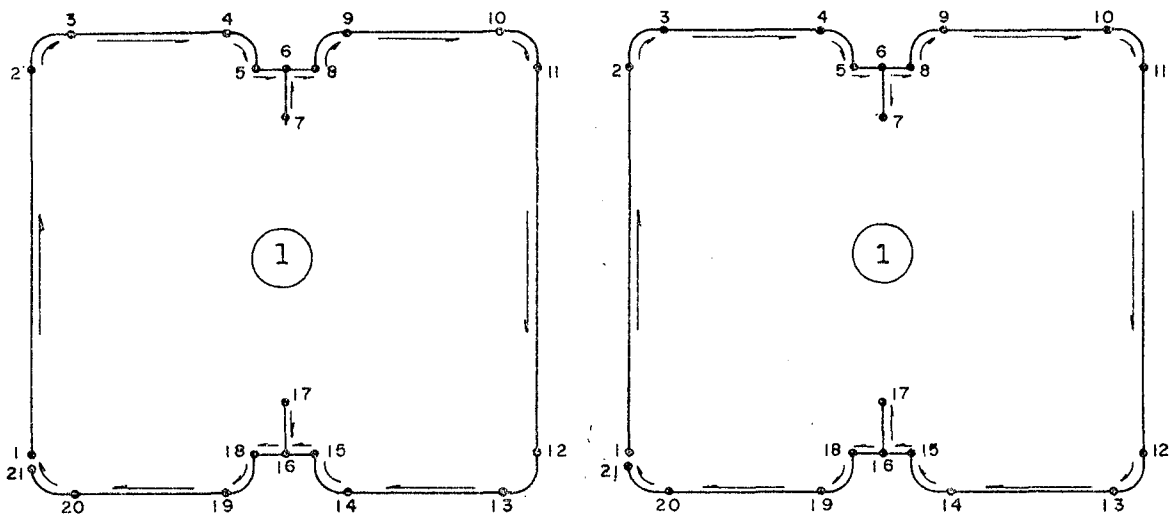
Figura B.3 - Identificação de cavidades e nós.



CR1

CR2

(a)



CR1

CR2

(b)

Figura B.4 - Representação das setas indicativas do sentido origem-término.

3 - Os elementos restantes são numerados como segue:

- Procurar um nó onde todos os elementos, cujas setas chegam, estão numerados e continuar a numeração no elemento cuja seta tem origem no referido nó.
- Repetir este procedimento até que todos os elementos da seção estejam numerados. Figura B.5.

10.2 - Em CR2 a numeração é governada pelo seguinte procedimento:

- 1 - O elemento de número de ordem (2) tem como origem o término do elemento de número de ordem (1); o elemento de número de ordem (3) tem como origem o término do elemento de número de ordem (2) e assim sucessivamente para os elementos seguintes até alcançar uma extremidade livre. Caso exista elementos sem número de ordem, reiniciar a seqüência a partir de um elemento que se liga a, pelo menos, um elemento já numerado. Figura B.5.

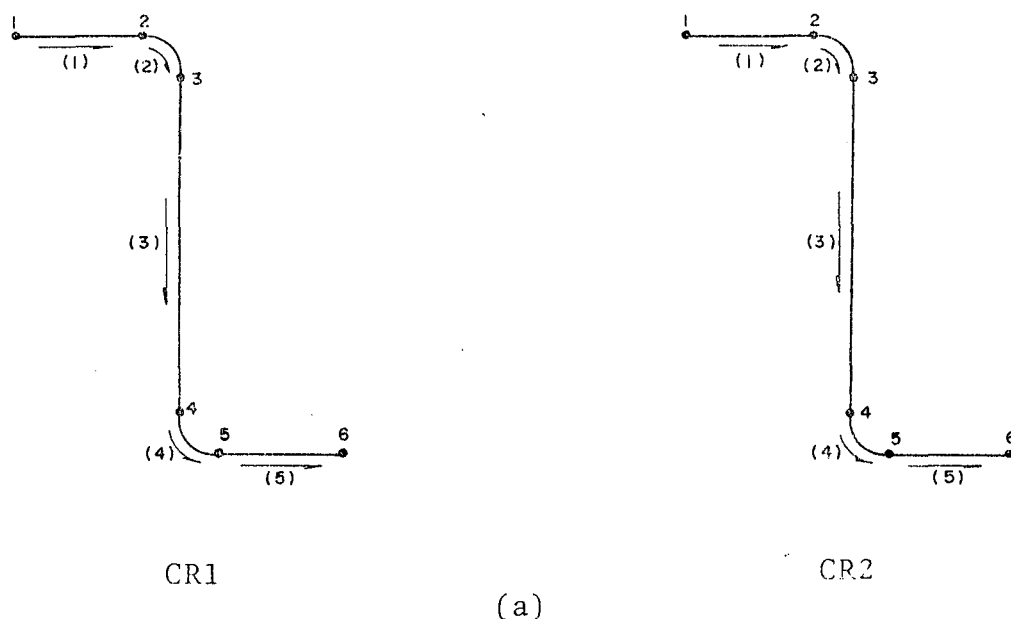
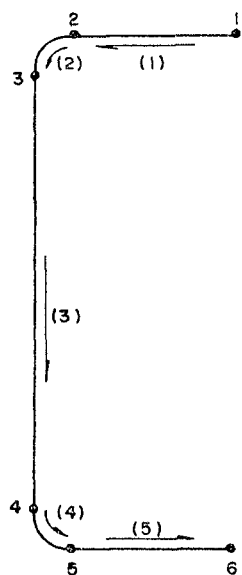
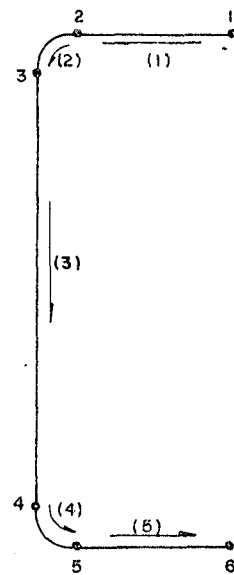


Figura B.5 - Identificação de nós, cavidades e elementos.

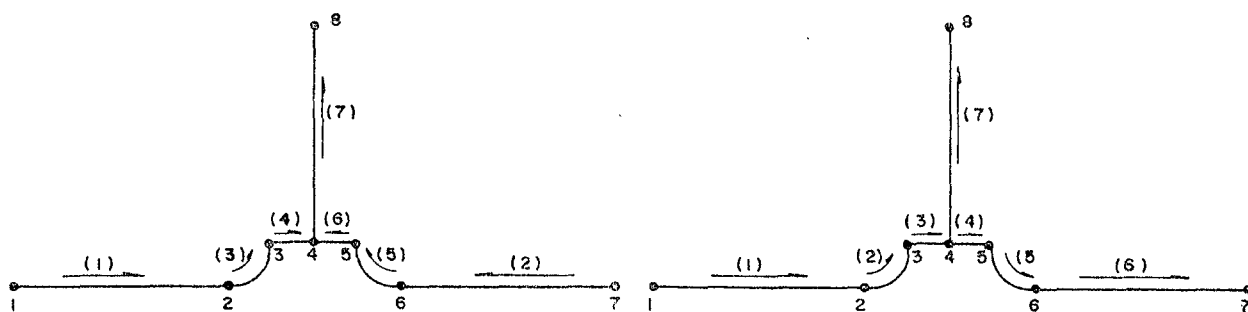


CR1

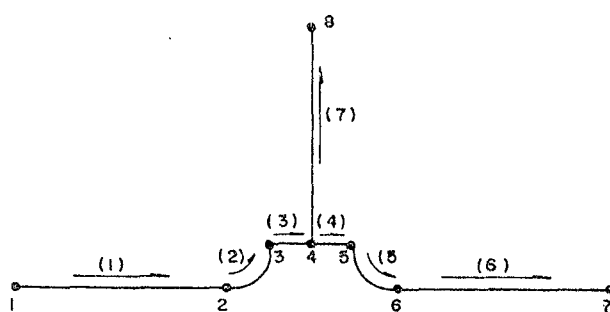


CR2

(b)



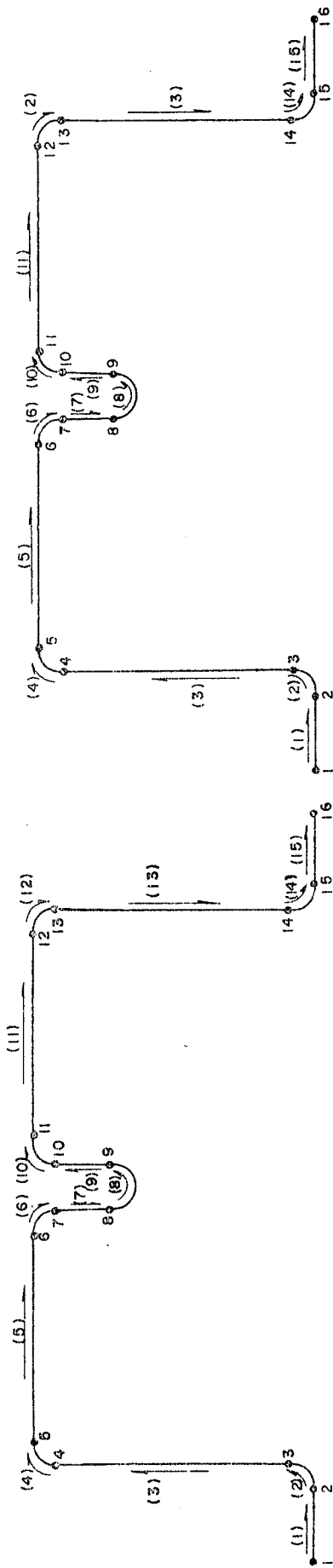
CR1



CR2

(c)

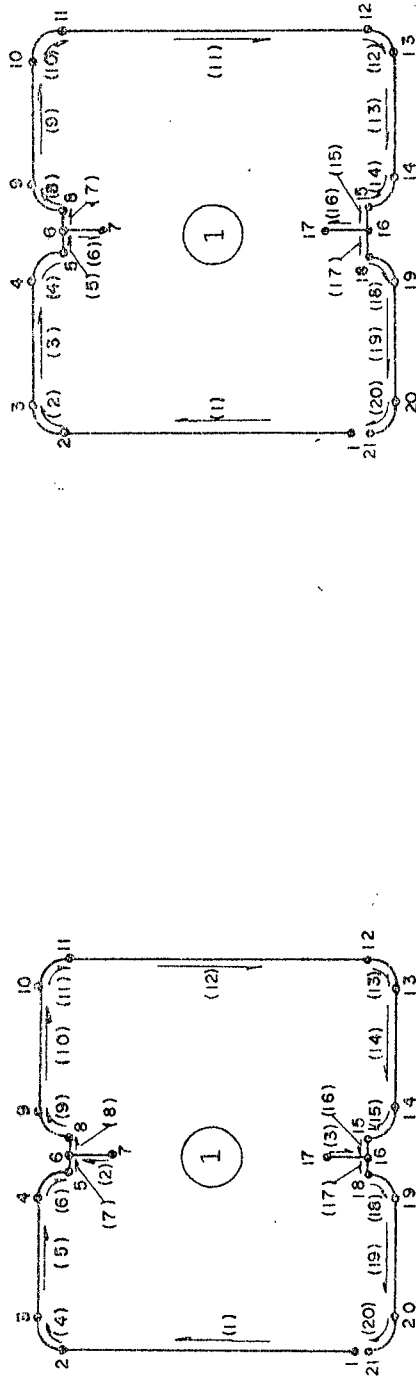
Figura B.5 - Identificação de nós, cavidades e elementos. (continuação)



(d)

CR1

CR2



(e)

CR1

CR2

Figura B.5 - Identificação de nós, cavidades e elementos. (continuação)

B.3 - ENTRADA DE DADOS

- PARTE I

Para cada seção transversal são fornecidas as listas de variáveis e respectivos formatos que devem ser obedecidos na perfuração dos cartões de dados.

A seguir, relaciona-se a sequência de cartões de dados correspondente à parte I.

1 - Cartões Tituladores

São cartões utilizados para cabeçalho na impressão dos resultados de cada seção testada. As informações contidas nestes cartões devem ser perfuradas dentro do limite das colunas 2 a 80. Todos os cartões com informações devem ter um inteiro na coluna um. Um cartão branco indicará a finalização do cabeçalho. Não havendo cabeçalho, um cartão em branco deve ser inserido.

2 - Informações Gerais

LISTA N, NN, NC, IFLAG, ISEC, ITOR, ALFA, XP, YP
FORMAT (615, 3F10.5)

onde N - número de elementos da seção transversal.

NN - número de nós.

NC - número de áreas concentradas.

IFLAG - se IFLAG=1, o programa calcula os momentos de inércia CIU, CIV e CIUV em relação a um sistema de referência UV com origem no centróide C e paralelo a um outro sistema de referência com centro em P, cujo eixo x_p faz um ângulo ALFA(α) graus com o eixo x de referência da seção. Além disso, o programa calcula a distância d entre C e P, bem como o ângulo agudo δ que o segmento de reta CP faz com o eixo de coordenadas y (figura B.6). Se IFLAG \neq 1, essas grandezas não são determinadas.

- ISEC - se $ISEC < 1$, a seção é fechada ou mista. $ISEC = 1$ indica seção aberta. $ISEC > 1$, indica seção aberta constituída de um elemento retilíneo ou múltiplos elementos retilíneos e colineares, ou ainda, seção composta de membros formados de elementos retilíneos e colineares de tal modo que esses membros tenham um ponto comum (figura B.7).
- ITOR - indica o tipo de torção que o programa considera. Se $ITOR > 0$, o programa considera que a seção está submetida à torção não uniforme, caso contrário, torção uniforme.
- ALFA - dado em graus e corresponde a α (figura B.6).
- XP, YP - coordenadas de um ponto P (figura B.6).

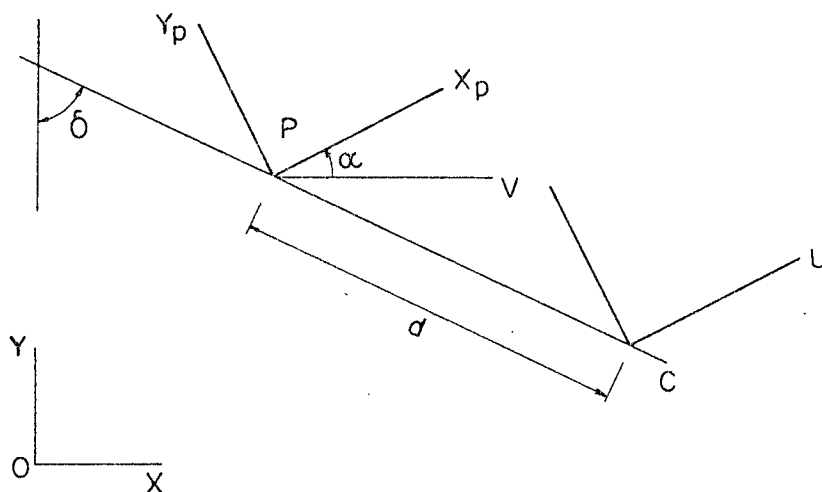


Figura B.6 - Posição dos sistemas de referência UV e $x_p y_p$.

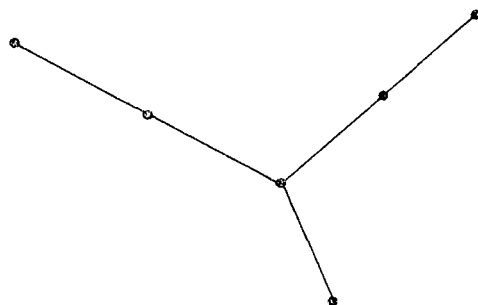


Figura B.7 - Modelo de seção tipo ISEC > 1.

3 - Coordenadas dos Nós

```
LISTA (XNA(I), YNA(I), I=1,NN)
FORMAT (8F10.5)
```

onde XNA(I), YNA(I) são as coordenadas (x_i, y_i) , respectivamente do i -ésimo nó.

OBSERVAÇÃO: cada cartão conterà quatro pares de coordenadas, exceto o último, que poderá conter menos. Os pares de coordenadas dos nós deverão ser fornecidos ordenadamente de 1 a NN, em relação ao sistema global de referência (figura 3.2).

4 - Identificação dos Elementos

```
LISTA (NOELI(I), IEPA(I), IEPB(I), L(I), NOEMP(I),
      IS(I), IPA(I), T(I), R(I), I=1,N)
FORMAT (7I5, 2F10.5)
```

onde NOELI(I) - número de ordem do i -ésimo elemento em CR1. Deverá ser fornecido ordenadamente de 1 a N.

IEPA(I) - número de ordem do nó origem do i -ésimo elemento em CR1.

IEPB(I) - idem para o nó término.

L(I) - número de elementos cujas setas indicativas do sentido origem-término "chegam" no nó origem do i -ésimo elemento em CR1. Como verificação, ob-

serva-se que $L(I)+1$ é o número de elementos ligados ao referido nó.

- NOEMP(I) - número de ordem do i -ésimo elemento em CR2 e corresponde a NOELI(I).
- IS(I) - IS(I)=1 significa que as setas indicativas do sentido origem-término dos correspondentes elementos, em CR1 e CR2, têm o mesmo sentido. Se IS(I)=-1, sentido contrário.
- IPA(I) - número de ordem do elemento cuja seta indicativa do sentido origem-término "chega" no nó origem do i -ésimo elemento, em CR2.
- T(I) - espessura do i -ésimo elemento. Se o elemento for de área concentrada fazer T(I)=0.
- R(I) - corresponde ao raio de curvatura para elementos curvos, em CR1. Toma o sinal positivo se, em relação ao centro de curvatura, tomado como pólo, as setas indicativas do sentido origem-término apontam rotação anti-horária. Caso contrário, negativo. Em elementos retilíneos fazer R(I)=0.

Os números NOELI(I) devem ser fornecidos ordenadamente de 1 a N.

Para os exemplos (a) e (e) da figura B.5, os seguintes cartões de dados são fornecidos:

a)

NOELI(I)	IEPA(I)	IEPB(I)	L(I)	NOEMP(I)	IS(I)	IPA(I)	T(I)	R(I)
1	1	2	0	1	1	0	2.00	0.0
2	2	3	1	2	1	1	2.00	-3.0
3	3	4	1	3	1	2	2.00	0.0
4	4	5	1	4	1	3	2.00	3.00
5	5	6	1	5	1	4	2.00	0.0

e)

1	1	2	0	1	1	0	2.00	0.0
2	7	6	0	6	-1	5	4.00	0.0
3	17	16	0	16	-1	15	4.00	0.0

4	2	3	1	2	1	1	2.00	-3.00
5	3	4	1	3	1	2	2.00	0.0
6	4	5	1	4	1	3	2.00	-3.00
7	5	6	1	5	1	4	0.0	0.0
8	6	8	2	7	1	5	0.0	0.0
9	8	9	1	8	1	7	2.00	-3.00
10	9	10	1	9	1	8	2.00	0.0
11	10	11	1	10	1	9	2.00	-3.00
12	11	12	1	11	1	10	2.00	0.0
13	12	13	1	12	1	11	2.00	-3.00
14	13	14	1	13	1	12	2.00	0.0
15	14	15	1	14	1	13	2.00	-3.00
16	15	16	1	15	1	14	0.0	0.0
17	16	18	2	17	1	15	0.0	0.0
18	18	19	1	18	1	17	2.00	-3.00
13	19	20	1	19	1	18	2.00	0.0
20	20	21	1	20	1	19	2.00	-3.00

5 - Áreas Concentradas

Se $NC > 0$, os seguintes dados devem ser fornecidos

```
LISTA (NOEAC(N1), AA(N1), N1=1,NC)
FORMAT (5(I5,F10.5))
```

onde NOEAC(N1) - número de ordem do elemento considerado de área concentrada, em CR1.

AA(N1) - área do elemtno.

OBS.: cada cartão conterà cinco pares desses valores, exceto o último que poderá conter menos.

6 - Número de ordem dos elementos cujas setas indicativas do sentido origem-término "chegam" na origem do i-ésimo elemento, em CR1.

Devem ser perfurados cartões contendo esses números para cada elemento da seção para o qual $JL=L(I) \neq 0$. Em caso afirmativo, os seguintes dados são fornecidos:

```

LISTA  NOELI(I), (LPI(IL), IL=1,JL)
FORMAT (16I5,/, (5X,15I5))

```

onde LPI(IL) - número de ordem dos elementos cujas setas indicativas do sentido origem-término "chegam" na origem do i-ésimo elemento.

OBSERVAÇÕES:

- 1) Quando o espaço no cartão não for suficiente para informar todos os números LPI(IL), deve-se continuar em outro cartão, excluindo-se as cinco primeiras colunas.
- 2) Os cartões devem ser perfurados na mesma ordem dos números NOELI(I) do item 4.

Continuando o exemplo da figura B.5, (a) e (e), tem-se os seguintes cartões de dados:

a)	NOELI(I)	LPI(IL), IL=1,JL
	2	1
	3	2
	4	3
	5	4
e)	4	1
	5	4
	6	5
	7	6
	8	2 7
	9	8
	10	9
	11	10
	12	11
	13	12
	14	13
	15	14
	16	15

17	3	16
18	17	
19	18	
20	19	

Para seções abertas, $ISEC > 1$, os dados de entrada são os indicados nos itens 1 a 6. Quando $ISEC < 1$, devem ser fornecidos os seguintes dados adicionais

- 7 - Número de cavidades e elementos adicionais de seção aberta.

LISTA NCT, NA
 FORMAT (2I5)

onde NCT - número de cavidades tubulares.

NA - número de elementos adicionais de seção aberta.

Para o exemplo da figura B.5 (e), tem-se uma cavidade e dois elementos adicionais de seção aberta.

- 8 - Número de elementos e cavidades vizinhas à j -ésima cavidade

LISTA (NNCT(J), NT(J), NCC(J), J=1,NCT)
 FORMAT (15I5)

onde NNCT(J) - número de ordem da j -ésima cavidade.

NT(J) - número de elementos que compõem a j -ésima cavidade.

NCC(J) - número de cavidades vizinhas à j -ésima cavidade.

Cada cartão conterá 15 números, ou seja, dados correspondentes a cinco cavidades. Para um maior número de cavidades, usar tantos cartões quantos necessários.

Os números NNCT(J) devem ser fornecidos, ordenadamente, de 1 a NCT.

Para o exemplo da figura B.5 (e) os dados são fornecidos como segue:

1 20 0

- 9 - Especificação dos elementos constituintes da j -ésima cavidade e orientação das setas indicativas do sentido origem-término desses elementos, em CR2.

Para cada cavidade devem ser informados os seguintes dados:

LISTA NNCT(J), (IPJII(JP), IHI(JP) , JP=1,NTJ)
 FORMAT (15I5,/, (5X,14I5))

onde IPJII(JP) - número de ordem do j_p -ésimo elemento constituinte da j -ésima cavidade. Os números IPJII(JP) podem ser fornecidos sem obedecer qualquer ordem.

IHI(JP) - representa a orientação da seta indicativa do sentido origem-término do j_p -ésimo elemento. Quando, em relação à própria cavidade, a seta estiver orientada em sentido anti-horário, IHI(JP)=1 e, em sentido horário, IHI(JP)=-1.

NTJ=NT(J) - número de elementos que compõem a j -ésima cavidade.

Os números de ordem NNCT(I) das cavidades devem ser fornecidos ordenadamente de 1 a NCT.

Se NTJ > 7, usar tantos cartões quantos necessários para informar todos os pares de números IPJII(JP) e IHI(JP).

Para o exemplo da figura B.5 (e), os seguintes dados são fornecidos:

1	1	-1	4	-1	5	-1	6	-1	7	-1	2	-1	8	1
	10	-1	11	-1	12	-1	13	-1	14	-1	15	-1	16	-1
		3	-1	17	-1	18	-1	19	-1	20	-1			

No caso da seção ser constituída de mais de uma cavidade tubular e se existirem cavidades vizinhas, os seguintes dados adicionais devem ser fornecidos:

- 10 - Especificação das cavidades vizinhas e dos elementos que as separam.

Para cada cavidade que tiver cavidades vizinhas, deve ser informado o número de ordem das cavidades vizinhas, o número de elemento que separam cada cavidade vizinha da cavidade considerada, bem como o número de ordem desses elementos.

```
LISTA  NNCT(J), NNCC(J2), NECC(J2)
FORMAT (3I5)
```

onde NNCT(J) - número de ordem da j-ésima cavidade.

NNCC(J2) - número de ordem da j₂-ésima cavidade vizinha. Este número pode ser fornecido em qualquer ordem.

NECC(J2) - número de elementos que separam a j₂-ésima cavidade vizinha da j-ésima cavidade considerada.

Imediatamente após cada cartão com esses três números, segue a lista:

```
LISTA  (ICJLI(J3), J3=1, NECCJ)
FORMAT (5X, 15I5)
```

onde ICJLI(J3) - número de ordem do j₃-ésimo elemento em CR2, pertencente ao conjunto de elementos que separam as duas cavidades vizinhas consideradas. Os números ICJLI(J3) podem ser fornecidos sem obedecer qualquer ordem.

NECCJ=NECC(J2) - é o número de elementos que separam as cavidades consideradas.

A ordem em que devem ser fornecidas as listas é a mesma dos números de ordem NNCT(J) das cavidades consideradas e estes, por sua vez, são fornecidos ordenadamente de 1

a NCT. No entanto, quando a cavidade considerada não tiver vizinhas, nada deverá ser informado.

Os números de ordem NNCT(J) das cavidades consideradas, deverão ser repetidos tantas vezes quantas forem as cavidades vizinhas.

- PARTE II

Este conjunto de dados, cuja seqüência de cartões é dada a seguir, permite que o efeito da flambagem local seja considerado. Não havendo necessidade de incluir o efeito da flambagem local, um cartão em branco deve ser inserido.

LISTA ITIPO, LNT, EMO, SNI
 FORMAT (2I5, F12.2, F7.4)

ITIPO - conforme ITIPO assuma os valores 1,3 ou 2, tem-se seções constituídas apenas de elementos enrijecidos, apenas de elementos não enrijecidos e de ambos os elementos, respectivamente.

OBSERVAÇÕES:

- 1) Esta classificação é independente da denominação usual de seções abertas, fechadas ou mistas.
- 2) Aba ou virada de borda não deve ser levada em conta quanto a classificação de ITIPO.

LNT - número de tensões de escoamento para as quais se deseja determinar as propriedades seccionais efetivas.

EMO - módulo de elasticidade do material.

SNI - coeficiente de Poisson.

Para os exemplos da figura B.5, os seguintes cartões devem ser fornecidos, um para cada seção.

a)	2	*	**	**
b)	2	*	**	**

c)	3	*	**	**
d)	1	*	**	**
e)	1	*	**	**

* a critério do usuário

** característica do material

12 - Tensão de escoamento do material

LISTA (ZGMAE(I), I=1,LNT)
 FORMAT (11F7.2)

13 - Informações gerais

LISTA NEFX, NEFY, NDA, NTEX, NTEY, NET
 FORMAT (6I5)

NEFX - número de elementos enrijecidos e paralelos ao eixo dos x, passíveis de flambarem localmente por compressão na flexão.

NEFY - número de elementos enrijecidos e paralelos ao eixo dos y, passíveis de flambarem localmente por compressão na flexão.

NDA - número de reforços principais da (s) subseção (es), isto é, dos elementos que funcionam como almas. Caso não existam subseções, fazer NDA=0.

Entenda-se por subseção qualquer elemento plano de um perfil, enrijecido por um ou vários reforços intermediários. Para melhor entendimento, ver figura B.1 (d) no apêndice B.

NTEX - número de elementos enrijecidos e paralelos ao eixo dos x, passíveis de flambarem localmente por compressão axial.

NTEY - número de elementos enrijecidos e paralelos ao eixo dos y, passíveis de flambarem localmente por compressão axial.

NET - número de elementos não enrijecidos. Para seções de ITIPO igual a 1, informar NET=0.

OBSERVAÇÃO: tratando-se de seção tipo 3, isto é, seção não enrijecida, as variáveis NEFX e NEFY indicam apenas elementos não enrijecidos paralelos aos eixos x e y, respectivamente. Para cada direção indicar apenas um elemento (ver exemplo B.5 (c)).

Caso NEFX seja igual a zero, as propriedades efetivas com respeito ao eixo x não serão determinadas. Caso contrário, os seguintes dados devem ser informados:

```
LISTA (NELF(1,I), NDE(1,I), ND1(1,I), I=1,NEFX)
FORMAT (15I5)
```

NELF(1,I) - número de ordem do i-ésimo elemento passível de flambar, em CR1. Deverá ser fornecido ordenadamente de 1 a NEFX.

NDE(1,I) - indica se o elemento comprimido é simples ou se pertence a uma subseção. No primeiro caso informar NDE(1,I)=0. No segundo, NDE(1,I)=1.

ND1(1,I) - indica se o elemento comprimido é de espessura simples ou dupla. ND1(1,I)=0 espessura simples. ND1(1,I)=1 espessura dupla.

Caso NEFY seja igual a zero, as propriedades efetivas com respeito ao eixo dos y não serão determinadas. Caso contrário, os seguintes dados devem ser informados:

```
LISTA (NELF(2,I), NDE(2,I), ND1(2,I), I=1,NEFY)
FORMAT (15I5)
```

NELF(2,I) - número de ordem do i-ésimo elemento passível de flambar em CR1. Deverá ser fornecido ordenadamente de 1 a NEFY.

NDE(2,I) - indica se o elemento comprimido é simples ou se pertence a uma subseção. No primeiro caso, informar NDE(2,I)=0. No segundo, NDE(2,I)=1.

ND1(2,I) - idem ao que está exposto em ND1(1,I).

Se NDA > 0, deverá ser fornecido o seguinte dado:

```
LISTA (NEDA(I), I=1,NDA)
FORMAT (16I5)
```

NEDA(I) - representa o número de ordem dos elementos que são os reforços principais de uma subseção, nominalmente os que são almas.

Se NTEX é igual a zero, nada deve ser informado. Quando maior que zero, devem ser dadas as seguintes informações:

```
LISTA (NEL(1,I), NDEF(1,I), NCOD(1,I), ND2(1,I),
      I=1,NTEX)
FORMAT (16I5)
```

NEL(1,I) - número de ordem do i-ésimo elemento passível de flambar e paralelo ao eixo dos x.

NDEF(1,I) - indica se o elemento é simples ou se pertence a uma subseção. NDEF(1,I)=0, elemento simples. No segundo caso, NDEF(1,I)=1.

NCOD(1,I) - indica a forma pela qual o i-ésimo elemento em compressão está enrijecido.

- 1 - NCOD(1,I) < 0, significa elemento enrijecido por virada de borda.
- 2 - NCOD(1,I) = 0, significa elemento enrijecido por outro reforço significante.
- 3 - NCOD(1,I) > 0, significa elemento enrijecido por almas.

ND2(1,I) - indica se o elemento comprimido é de espessura dupla ou simples. No último caso, fazer ND2(1,I)=0, e no primeiro, ND2(1,I)=1.

Se NTEY é igual a zero, nada deve ser informado. Quando maior que zero, devem ser fornecidas as seguintes informações:

```
LISTA (NEL(2,I), NDEF(2,I), NCOD(2,I), ND2(2,I),
      I=1,NTEY)
FORMAT (16I5)
```

NEL(2,I) - número de ordem do i-ésimo elemento passível de flambar e paralelo ao eixo dos y.

NDEF(2,I) - indica se o elemento é simples ou se pertence a uma subseção. NDEF(2,I)=0, elemento simples. No segundo caso, NDEF(2,I)=1.

NCOD(2,I) - indica a forma pela qual o i-ésimo elemento em compressão é enrijecido.

1 - menor que zero, significa elemento enrijecido por virada de borda.

2 - igual a zero, significa elemento enrijecido por reforço significativo, porém menos eficiente que uma alma.

3 - maior que zero, significa elemento enrijecido por almas.

ND2(2,I) - indica se o elemento comprimido é de espessura dupla ou simples. No último caso, fazer ND2(2,I)=0, e no primeiro, ND2(2,I)=1.

Se NET é igual a zero, nada a ser informado. Quando maior que zero, devem ser fornecidas as seguintes informações:

```
LISTA (NEM(I), ND3(I), I=1,NET)
FORMAT (16I5)
```

NEM(I) - número de ordem do i-ésimo elemento não enrijecido em CR1.

ND3(I) - indica se o i-ésimo elemento é de espessura dupla ou simples. No último caso, fazer ND3(I)=0, e no primeiro, ND3(I)=1.

Continuando com os exemplos da figura B.5 tem-se os seguintes cartões de dados:

- Informações Gerais :

a)	0	0	0	0	1	2
b)	0	0	0	0	1	2
c)	1	1	0	0	0	3
d)	2	1	2	2	2	0
e)	2	1	0	1	2	0

- Informações Específicas :

a)	3	0	-1	0		Cartão 1
	1	0	5	0		Cartão 2
b)	3	0	-1	0		Cartão 1
	1	0	5	0		Cartão 2
c)	1	0	0			Cartão 1

OBSERVAÇÃO: para o cartão 1, o elemento de número de ordem 2 poderia ser informado ao invés do elemento de número de ordem 1.

	7	0	1			Cartão 2
	1	0	2	0	7	1
d)	5	1	0	11	1	0
	13	0	0			Cartão 2

OBSERVAÇÃO: para o cartão 2, o elemento de número de ordem 3 poderia ser informado ao invés do elemento de número de ordem 13.

	3	13								Cartão 3
	5	1	-1	0	11	1	-1	0		Cartão 4
	3	0	-1	0	13	0	-1	0		Cartão 5
e)	5	0	0	10	0	0				Cartão 1
	12	0	0							Cartão 2

OBSERVAÇÃO: para o cartão 2, o elemento de número de ordem 1 poderia ser informado ao invés do elemento de número de ordem 12. Também poderia ser 14 e 19 ao invés de 5 e 10.

	5	0	-1	0	10	0	-1	0	14	0	-1	0
	19	0	-1	0								Cartão 3
	1	0	1	0	12	0	1	0				Cartão 4

14 - Após os cartões de dados, correspondentes a todas as seções, vêm a seguir dois cartões em branco. Estes indicam o término do programa.

APÊNDICE C

Considere o ponto P de coordenadas (x_0, y_0) conhecidas e a curva indicada por $f(x)$, conforme se vê na figura C.1.

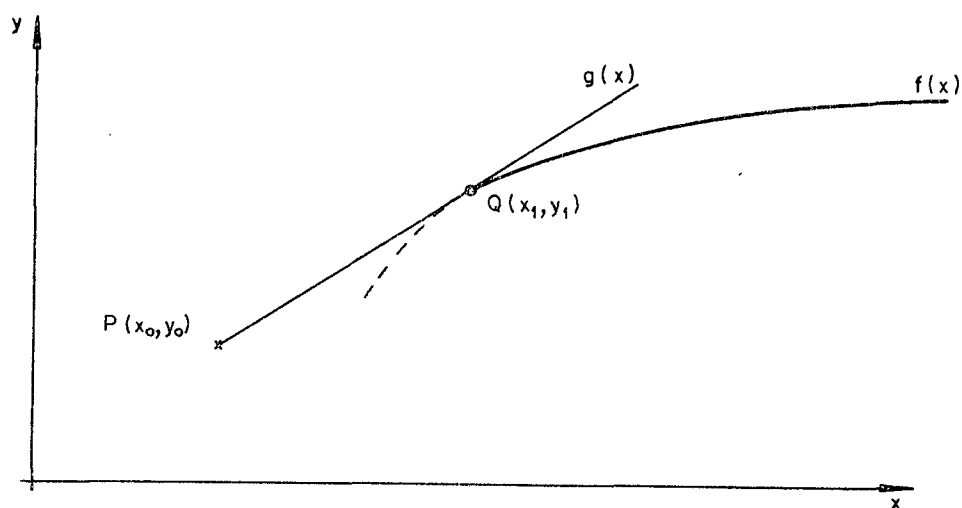


Figura C.1 - Gráfico para a determinação analítica da equação (2.43).

Seja $g(x)$ uma reta que passa pelo ponto P e é tangente à curva $f(x)$ no ponto Q. Ver figura C.1.

Da geometria analítica tem-se que a inclinação de uma reta é dada pela expressão

$$m = \frac{y - y_0}{x - x_0} \quad (\text{C.1})$$

A função $f(x)$ representa a equação (2.42), aqui transcrita

$$f(x) = \frac{b_e}{t} = 1,9 \left(\frac{E}{\sigma}\right)^{1/2} - 1,0906 \frac{E}{\sigma} \frac{1}{b/t} \quad (C.2)$$

e levando-se em conta que $x_0=25$ e $y_0=25$, resulta para m em (C.1) a expressão

$$m = \frac{1,9 \left(\frac{E}{\sigma}\right)^{1/2} - 1,0906 \frac{E}{\sigma} \frac{1}{b/t} - 25}{\frac{b}{t} - 25} \quad (C.3)$$

Por outro lado, a condição de tangência permite que se escreva

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{d\left(\frac{b_e}{t}\right)}{d\left(\frac{b}{t}\right)} = m = 1,0906 \frac{E}{\sigma} (b/t)^{-2} \quad (C.4)$$

Assim, igualando as expressões dadas por (C.3) e (C.4) e resolvendo para b/t , obtêm-se a expressão (2.42)

$$\left(\frac{b}{t}\right)_1 = \frac{1,0906 \frac{E}{\sigma} + \left[\left(1,0906 \frac{E}{\sigma}\right)^2 - 27,265 \frac{E}{\sigma} \left(1,9 \left(\frac{E}{\sigma}\right)^{1/2} - 25\right) \right]^{1/2}}{1,9 \left(\frac{E}{\sigma}\right)^{1/2} - 25} \dots \quad (C.5)$$

Para se obter a equação (2.44), reta tangente a $f(x)$ no ponto Q, faz-se uso da expressão

$$y = mx + c \quad (C.6)$$

O coeficiente angular m , dado em (C.4), torna-se conhecido desde que se substitua nesta o valor b/t por $(b/t)_1$. O coeficiente c , que representa a ordenada do ponto de intersecção do eixo y com a função $g(x)$, é dado pela expressão

$$c = y_0 - mx_0 \quad (C.7)$$

conforme está indicado na figura C.2.

Desta maneira, a equação (C.6) torna-se

$$y = m(x - x_0) + y_0 \quad (C.8)$$

Levando em conta que $y=b_e/t$, $x=b/t$, $x_0=25$ e $y_0=25$, obtém-se então, a expressão (2.44), ou seja,

$$b_e = \left[\frac{1,0906}{\left(\frac{b}{t}\right)_1} \frac{E}{\sigma} \left(\frac{b}{t} - 25\right) + 25 \right] t \quad (C.9)$$

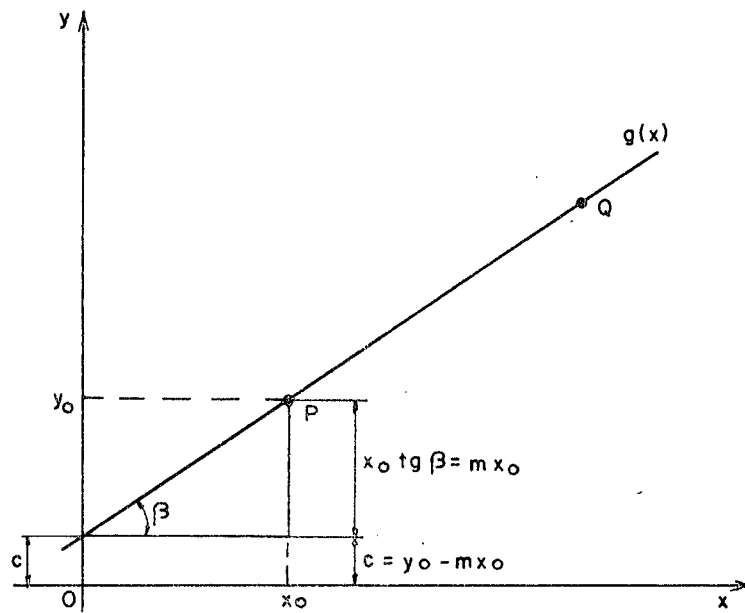


Figura C.2 - Gráfico para a determinação analítica da equação (2.44).

APÊNDICE D

Considere um elemento da seção transversal cuja influência geométrica deve ser removida. Figura D.1.

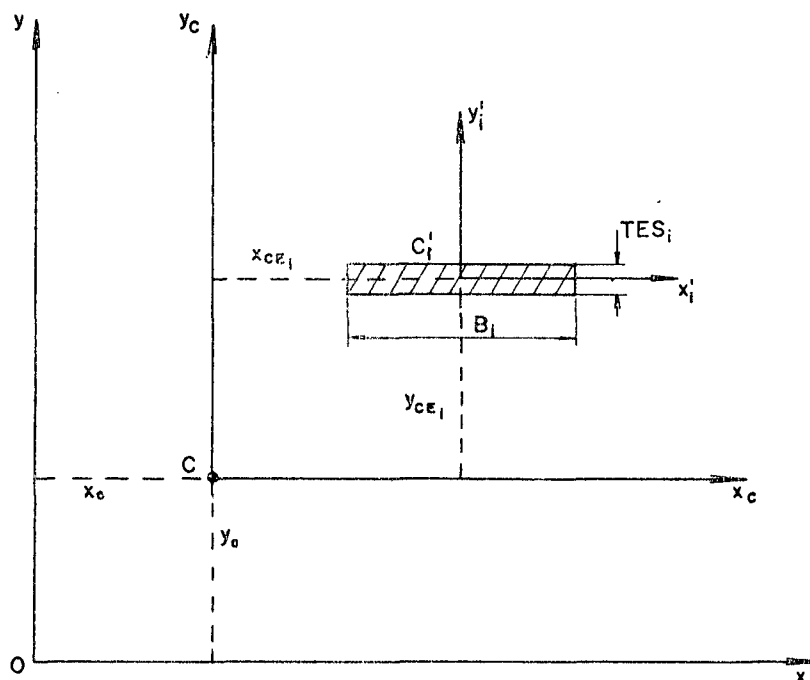


Figura D.1 - Sistemas de referências e elemento típico.

Os momentos de inércia deste elemento, em relação aos eixos x'_i e y'_i , são:

$$I_{x'_i} = B_i TES_i^3 / 12 \quad (D.1)$$

$$I_{y'_i} = B_i^3 TES_i / 12 \quad (D.2)$$

Utilizando o teorema de Stein obtêm-se respectivos momentos com respeito aos eixos centroidais x_C e y_C . Assim, pode-se escrever

$$I_{x_{C_i}} = I_{x_i}' + BB_i (y_{CE_i} - y_C)^2 \quad (D.3)$$

$$I_{y_{C_i}} = I_{y_i}' + BB_i (x_{CE_i} - x_C)^2 \quad (D.4)$$

$$I_{x_{C_i}y_{C_i}} = BB_i (y_{CE_i} - y_C) (x_{CE_i} - x_C) \quad (D.5)$$

Extendendo a todos os elementos sujeitos à flambagem local, pode-se escrever

$$\sum_{i=1}^{NEFX} I_{x_{C_i}} = \sum_{i=1}^{NEFX} I_{x_i}' + \sum_{i=1}^{NEFX} BB_i (y_{CE_i} - y_C)^2 \quad (D.6)$$

$$\sum_{i=1}^{NEFX} I_{y_{C_i}} = \sum_{i=1}^{NEFX} I_{y_i}' + \sum_{i=1}^{NEFX} BB_i (x_{CE_i} - x_C)^2 \quad (D.7)$$

$$\sum_{i=1}^{NEFX} I_{x_{C_i}y_{C_i}} = \sum_{i=1}^{NEFX} BB_i (y_{CE_i} - y_C) (x_{CE_i} - x_C) \quad \dots \quad (D.8)$$

As parcelas das expressões (D.6), (D.7) e (D.8) correspondem às equações (3.68), (3.69), (3.74), (3.75) e (3.76).

APÊNDICE E

TABELAS

PERFIL C ENRIJECIDO



PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS

DIMENSÕES		PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS														
D	B	d	t=R	ÁREA	I _x	S _x	i _x	I _y	S _y	i _y	I _{x0}	I _{y0}	x	y	x _s	y _s
mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm	cm
300	85	25	4.76	23.26	2958.45	197.23	11.28	194.46	30.85	2.89	2958.45	194.46	2.20	15.00	-3.33	14.76
300	85	25	4.18	20.59	2638.31	175.89	11.32	176.00	27.93	2.92	2638.31	176.00	2.20	15.00	-3.38	14.79
300	85	25	3.80	18.81	2422.61	161.51	11.35	163.16	25.90	2.95	2422.61	163.16	2.20	15.00	-3.40	14.81
300	85	25	3.42	17.01	2202.13	146.81	11.38	149.72	23.77	2.97	2202.13	149.72	2.20	15.00	-3.43	14.83
300	85	25	3.04	15.20	1976.90	131.79	11.40	135.66	21.54	2.99	1976.90	135.66	2.20	15.00	-3.46	14.85
300	85	25	2.66	13.37	1746.86	116.46	11.43	120.99	19.21	3.01	1746.86	120.99	2.20	15.00	-3.48	14.87
300	85	25	2.28	11.51	1512.00	100.80	11.46	105.68	16.78	3.03	1512.00	105.68	2.20	15.00	-3.51	14.89
300	85	25	1.90	9.64	1272.29	84.82	11.49	89.73	14.25	3.05	1272.29	89.73	2.20	15.00	-3.54	14.91
250	85	25	4.76	20.88	1912.88	153.03	9.57	184.23	30.31	2.97	1912.88	184.23	2.42	12.50	-3.55	12.26
250	85	25	4.18	18.50	1708.42	136.67	9.61	166.76	27.44	3.00	1708.42	166.76	2.42	12.50	-3.59	12.29
250	85	25	3.80	16.91	1570.25	125.62	9.64	154.60	25.45	3.02	1570.25	154.60	2.43	12.50	-3.62	12.31
250	85	25	3.42	15.30	1428.72	114.30	9.66	141.87	23.36	3.04	1428.72	141.87	2.43	12.50	-3.65	12.33
250	85	25	3.04	13.68	1283.80	102.70	9.69	128.56	21.18	3.07	1283.80	128.56	2.43	12.50	-3.68	12.35
250	85	25	2.66	12.04	1135.47	90.84	9.71	114.66	18.89	3.09	1135.47	114.66	2.43	12.50	-3.70	12.37
250	85	25	2.28	10.37	983.72	78.70	9.74	100.16	16.51	3.11	983.72	100.16	2.43	12.50	-3.73	12.39
250	85	25	1.90	8.69	828.51	66.28	9.76	85.05	14.02	3.13	828.51	85.05	2.43	12.50	-3.76	12.41

DIMENSÕES		PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS														
D	B	d	t=R	ÁREA	I _x	S _x	i _x	I _y	S _y	i _y	I _{xo}	I _{yo}	X	Y	x _s	y _s
mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm	cm
200	75	25	4.76	17.55	1037.60	103.76	7.69	125.58	24.25	2.67	1037.60	125.58	2.32	10.00	-3.31	9.76
200	75	25	4.18	15.57	929.60	92.96	7.73	114.05	22.03	2.71	929.60	114.05	2.32	10.00	-3.35	9.79
200	75	25	3.80	14.25	856.14	85.61	7.75	105.96	20.48	2.73	856.14	105.96	2.33	10.00	-3.38	9.81
200	75	25	3.42	12.91	780.51	78.05	7.78	97.44	18.84	2.75	780.51	97.44	2.33	10.00	-3.41	9.83
200	75	25	3.04	11.55	702.72	70.27	7.80	88.48	17.11	2.77	702.72	88.48	2.33	10.00	-3.44	9.85
200	75	25	2.66	10.17	622.73	62.27	7.82	79.07	15.30	2.79	622.73	79.07	2.33	10.00	-3.46	9.87
200	75	20	2.28	8.55	526.84	52.68	7.85	63.23	11.93	2.72	526.84	63.23	2.20	10.00	-3.29	9.89
200	75	20	1.90	7.17	444.70	44.47	7.87	53.86	10.16	2.74	444.70	53.86	2.20	10.00	-3.31	9.90
150	60	20	4.76	13.27	436.39	58.19	5.74	56.61	14.33	2.10	436.39	56.61	1.91	7.50	-2.63	7.26
150	60	20	4.18	11.81	393.50	52.47	5.77	53.76	13.15	2.13	393.50	53.76	1.91	7.50	-2.67	7.29
150	60	20	3.80	10.63	363.91	48.52	5.80	50.26	12.31	2.15	363.91	50.26	1.92	7.50	-2.70	7.31
150	60	20	3.42	9.83	333.12	44.42	5.82	48.50	11.39	2.17	333.12	48.50	1.92	7.50	-2.73	7.33
150	60	20	3.04	8.82	301.12	40.15	5.84	42.48	10.41	2.20	301.12	42.48	1.92	7.50	-2.76	7.35
150	60	20	2.66	7.78	267.90	35.72	5.87	35.19	9.36	2.22	267.90	35.19	1.92	7.50	-2.79	7.37
150	60	20	2.28	6.73	233.44	31.13	5.89	33.61	8.25	2.24	233.44	33.61	1.92	7.50	-2.81	7.39
150	60	20	1.90	5.65	197.73	26.36	5.91	28.76	7.06	2.26	197.73	28.76	1.93	7.50	-2.84	7.41
150	60	20	1.52	4.56	160.76	21.43	5.94	23.61	5.80	2.28	160.76	23.61	1.93	7.50	-2.87	7.42
127	50	17	3.42	8.16	194.66	30.66	4.89	25.58	7.62	1.78	194.66	25.98	1.59	6.35	-2.24	6.18
127	50	17	3.04	7.33	176.58	27.81	4.91	23.87	7.01	1.60	176.58	23.87	1.59	6.35	-2.26	6.20
127	50	17	2.66	6.48	157.63	24.82	4.93	21.58	6.34	1.83	157.63	21.58	1.60	6.35	-2.29	6.22
127	50	17	2.28	5.61	137.81	21.70	4.96	19.10	5.62	1.85	137.81	19.10	1.60	6.35	-2.32	6.24
127	50	17	1.90	4.72	117.12	18.44	4.98	16.43	4.83	1.87	117.12	16.43	1.60	6.35	-2.35	6.26
127	50	17	1.52	3.82	95.52	15.04	5.00	13.57	3.99	1.89	95.52	13.57	1.60	6.35	-2.37	6.27

PERFIL C ENRIJECIDO (continuação)

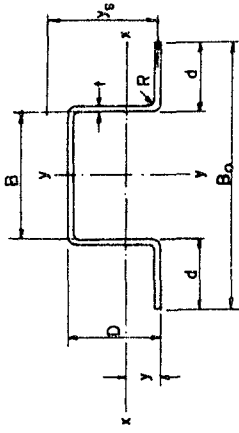
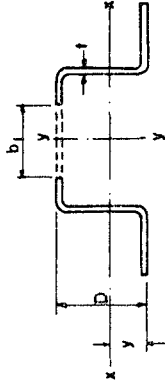
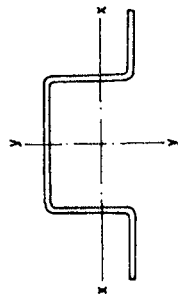
PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS

TENSAO BÁSICA (kgf/cm²)

1297		1606		1854		1297		1606		1854		1297		1606		1854		1297		1606		1854	
I _x cm ⁴		I _x cm ⁴		I _x cm ⁴		S _x cm ³		I _y cm ⁴		I _y cm ⁴		S _y cm ³		I _y cm ⁴		I _y cm ⁴		S _y cm ³		I _y cm ⁴		S _y cm ³	
436.39	393.50	430.35	393.50	430.39	393.50	58.19	52.47	95.89	88.00	95.89	88.00	16.61	15.21	95.89	88.00	95.89	88.00	16.61	15.21	95.89	88.00	16.61	15.21
363.91	333.12	363.91	333.12	363.91	333.12	48.52	44.42	82.51	76.50	82.51	76.50	14.20	13.12	82.51	76.50	82.51	76.50	14.20	13.12	82.51	76.50	14.20	13.12
301.12	267.90	301.12	267.90	301.12	267.90	40.15	35.72	70.03	63.08	70.03	63.08	11.98	10.75	70.03	63.08	70.03	63.08	11.98	10.75	70.03	63.08	11.98	10.75
233.44	197.73	233.44	197.73	233.44	197.73	31.13	26.55	55.05	47.71	55.05	47.71	9.45	8.08	55.05	47.71	55.05	47.71	9.45	8.08	55.05	47.71	9.45	8.08
160.76	160.71	160.71	160.71	160.76	160.71	21.18	20.54	35.25	35.25	35.25	35.25	6.63	6.63	35.25	35.25	35.25	35.25	6.63	6.63	35.25	35.25	6.63	6.63
194.66	176.58	194.66	176.58	194.66	176.58	30.66	27.81	42.44	39.10	42.44	39.10	8.75	8.07	42.44	39.10	42.44	39.10	8.75	8.07	42.44	39.10	8.75	8.07
157.63	137.81	157.63	137.81	157.63	137.81	24.82	21.70	35.45	31.46	35.45	31.46	7.28	6.44	35.45	31.46	35.45	31.46	7.28	6.44	35.45	31.46	7.28	6.44
117.12	95.52	117.12	95.52	117.12	95.52	18.44	15.04	27.13	22.45	27.13	22.45	5.53	4.56	27.13	22.45	27.13	22.45	5.53	4.56	27.13	22.45	5.53	4.56
110.33	100.34	110.33	100.34	110.33	100.34	22.07	20.07	42.44	39.10	42.44	39.10	8.79	8.06	42.44	39.10	42.44	39.10	8.79	8.06	42.44	39.10	8.79	8.06
89.81	78.72	89.81	78.72	89.81	78.72	17.96	15.74	35.44	31.45	35.44	31.45	7.28	6.44	35.44	31.45	35.44	31.45	7.28	6.44	35.44	31.45	7.28	6.44
67.07	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07	13.41	13.41	27.13	27.13	27.13	27.13	5.53	5.53	27.13	27.13	27.13	27.13	5.53	5.53	27.13	27.13	5.53	5.53
54.84	54.84	54.84	54.84	54.84	54.84	10.94	10.94	22.45	22.45	22.45	22.45	4.56	4.56	22.45	22.45	22.45	22.45	4.56	4.56	22.45	22.45	4.56	4.56

PERFIL Z ENRIJECIDO (continuação)

PERFIL CARTOLA



DIMENSÕES

PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS

D	B	BO	d	t=R	ÁREA	I_x	S_x	i_x	I_y	S_y	i_y	I_{x0}	I_{y0}	y	Y_s
mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm
110	100	150	25	3.60	13.40	215.88	33.90	4.01	314.34	41.91	4.04	215.88	314.34	6.37	15.00
110	100	150	25	3.42	12.12	197.19	31.03	4.03	285.12	37.75	4.03	197.19	285.12	6.35	15.05
110	100	150	25	3.04	10.93	177.87	28.04	4.05	251.84	33.58	4.08	177.87	251.84	6.34	15.71
110	100	150	25	2.66	9.52	157.91	24.95	4.07	220.50	29.40	4.01	157.91	220.50	6.33	15.77
110	100	150	25	2.28	8.20	137.32	21.74	4.09	189.11	25.21	4.80	137.32	189.11	6.32	15.33
110	100	150	25	1.90	6.86	116.08	18.41	4.11	157.67	21.02	4.79	116.08	157.67	6.30	15.88
110	75	125	25	3.42	11.26	178.76	29.72	3.98	163.17	26.11	3.81	178.76	163.17	6.02	15.20
110	75	125	25	3.04	10.07	161.27	26.87	4.00	144.91	23.19	3.79	161.27	144.91	6.00	15.81
110	75	125	25	2.66	8.85	143.19	23.51	4.02	126.68	20.27	3.78	143.19	126.68	5.99	15.06
110	75	125	25	2.28	7.63	124.53	20.84	4.04	108.47	17.35	3.77	124.53	108.47	5.98	15.71
110	75	125	25	1.90	6.39	105.28	17.66	4.06	90.29	14.45	3.76	105.28	90.29	5.96	15.70
110	50	100	25	3.42	10.41	157.31	27.99	3.99	78.41	15.08	2.74	157.31	78.41	5.62	15.17
110	50	100	25	3.04	9.31	141.96	25.32	3.91	69.44	13.89	2.73	141.96	69.44	5.61	15.21
110	50	100	25	2.66	8.19	126.08	22.54	3.92	60.52	12.10	2.72	126.08	60.52	5.59	15.24
110	50	100	25	2.28	7.06	109.68	19.66	3.94	51.67	10.33	2.71	109.68	51.67	5.58	15.28
110	50	100	25	1.90	5.91	92.75	16.66	3.96	42.88	8.58	2.69	92.75	42.88	5.57	15.32

DIMENSÕES				PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS											
D	B	BO	d	t=R	ÁREA	I _x	S _x	i _x	I _y	S _y	i _y	I _{xo}	I _{yo}	Y	Y _s
mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm
100	100	150	25	3.80	12.64	170.77	29.28	3.66	293.86	39.18	4.82	170.77	293.86	5.83	14.11
100	100	150	25	3.42	11.43	156.16	26.83	3.70	264.82	35.31	4.81	156.16	264.82	5.82	14.17
100	100	150	25	3.04	10.22	141.02	24.28	3.72	235.69	31.43	4.80	141.02	235.69	5.81	14.22
100	100	150	25	2.66	8.99	125.34	21.62	3.73	206.48	27.53	4.79	125.34	206.48	5.80	14.28
100	100	150	25	2.28	7.74	109.11	18.86	3.75	177.18	23.82	4.78	109.11	177.18	5.79	14.34
100	100	150	25	1.90	6.48	92.34	15.99	3.77	147.80	19.71	4.77	92.34	147.80	5.77	14.39
100	75	125	25	3.42	10.58	141.31	25.71	3.65	152.64	24.42	3.80	141.31	152.64	5.50	14.07
100	75	125	25	3.04	9.46	127.62	23.27	3.67	135.65	21.70	3.79	127.62	135.65	5.48	14.12
100	75	125	25	2.66	8.32	113.44	20.73	3.69	115.65	18.98	3.78	113.44	118.65	5.47	14.18
100	75	125	25	2.28	7.17	98.76	18.09	3.71	101.66	16.27	3.76	98.76	101.66	5.46	14.23
100	75	125	25	1.90	6.01	83.59	15.25	3.73	84.67	13.55	3.75	83.59	84.67	5.45	14.28
100	50	100	25	3.04	8.70	111.88	21.92	3.59	65.16	13.03	2.74	111.88	65.16	5.10	13.74
100	50	100	25	2.66	7.66	99.47	19.54	3.60	56.83	11.37	2.72	99.47	56.83	5.09	13.77
100	50	100	25	2.28	6.60	86.63	17.06	3.62	48.55	9.71	2.71	86.63	48.55	5.08	13.81
100	50	100	25	1.90	5.53	73.33	14.48	3.64	40.32	8.06	2.70	73.33	40.32	5.06	13.85
50	100	150	25	3.42	8.01	29.37	9.58	1.91	173.34	23.11	4.65	29.37	173.34	3.06	6.75
50	100	150	25	3.04	7.18	26.83	8.77	1.93	154.98	20.66	4.65	26.83	154.98	3.06	6.81
50	100	150	25	2.66	6.33	24.11	7.90	1.95	136.38	18.18	4.64	24.11	136.38	3.05	6.87
50	100	150	25	2.28	5.46	21.22	6.97	1.97	117.54	15.67	4.64	21.22	117.54	3.04	6.92
50	100	150	25	1.90	4.58	18.15	5.98	1.99	98.48	13.13	4.63	18.15	98.48	3.04	6.96
50	75	125	25	3.04	6.42	24.10	8.47	1.94	89.34	14.24	3.73	24.10	89.34	2.85	6.74
50	75	125	25	2.66	5.66	21.65	7.63	1.96	78.53	12.56	3.72	21.65	78.53	2.84	6.79
50	75	125	25	2.28	4.89	19.06	6.74	1.97	67.61	10.82	3.72	19.06	67.61	2.83	6.84
50	75	125	25	1.90	4.11	16.30	5.78	1.99	56.58	9.05	3.71	16.30	56.58	2.82	6.89
50	50	100	25	3.04	5.66	20.63	8.01	1.91	43.75	8.75	2.78	20.63	43.75	2.58	6.46
50	50	100	25	2.66	5.00	18.55	7.22	1.93	38.37	7.67	2.77	18.55	38.37	2.57	6.51
50	50	100	25	2.28	4.32	16.32	6.38	1.94	32.96	6.59	2.76	16.32	32.96	2.56	6.55
50	50	100	25	1.90	3.63	13.96	5.48	1.96	27.52	5.50	2.75	13.96	27.52	2.55	6.59

PERFIL CARTOLA (continuação)

PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS

TENSÃO BÁSICA (kgf/cm²)

1297	1606	1854	1297	1606	1854	1297	1606	1854	1297	1606	1854	FATOR DE COLUNA		
												S _x	S _y	Q
I _x	I _x	I _x	I _y	I _y	I _y	I _y	I _y	I _y	S _y	S _y	S _y			
cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ³			
215.88	215.88	215.88	33.90	33.90	33.90	314.34	314.34	314.34	41.91	41.91	41.91	1.000	1.000	1.000
197.19	197.19	197.19	31.03	31.03	31.03	283.12	283.12	283.12	37.75	37.75	37.75	1.000	1.000	1.000
177.87	177.87	177.87	28.04	28.04	28.02	251.84	251.84	251.84	33.57	33.57	33.47	0.996	0.979	0.962
157.91	157.91	157.91	24.55	24.55	24.82	220.50	220.50	220.50	29.08	29.08	28.76	0.970	0.939	0.914
137.32	137.22	136.71	21.64	21.51	21.40	189.11	188.81	188.00	24.72	24.21	23.81	0.918	0.877	0.849
115.44	114.14	112.95	18.11	17.94	17.82	156.55	154.82	153.33	19.77	19.20	18.80	0.841	0.797	0.767
178.76	178.76	178.76	29.72	29.72	29.72	163.17	163.17	163.17	26.11	26.11	26.11	1.000	0.998	0.992
161.27	161.27	161.27	26.87	26.87	26.87	144.91	144.91	144.91	23.19	23.19	23.17	0.997	0.983	0.970
143.19	143.19	143.19	23.91	23.91	23.91	126.68	126.68	126.68	20.27	20.15	19.97	0.975	0.952	0.933
124.53	124.53	124.53	20.84	20.83	20.75	108.47	108.44	108.16	17.13	16.85	16.57	0.935	0.902	0.877
105.28	105.23	105.11	17.61	17.52	17.45	89.14	89.14	88.37	13.74	13.37	13.10	0.865	0.828	0.800
157.31	157.31	157.31	27.99	27.99	27.99	78.41	78.41	78.41	15.68	15.68	15.68	1.000	0.998	0.991
141.96	141.96	141.96	25.32	25.32	25.32	69.44	69.44	69.44	13.89	13.89	13.89	0.996	0.982	0.967
126.08	126.08	126.08	22.54	22.54	22.54	60.52	60.52	60.52	12.10	12.10	12.04	0.973	0.948	0.928
109.68	109.68	109.68	19.66	19.66	19.66	51.67	51.67	51.66	10.29	10.17	10.04	0.930	0.898	0.875
92.75	92.75	92.75	16.66	16.66	16.66	42.65	42.65	42.38	8.32	8.13	7.98	0.868	0.833	0.805
170.77	170.77	170.77	29.28	29.28	29.28	293.86	293.86	293.86	39.18	39.18	39.18	1.000	1.000	1.000
156.16	156.16	156.16	26.83	26.83	26.83	264.82	264.82	264.82	35.31	35.31	35.31	1.000	1.000	1.000
141.02	141.02	141.02	24.28	24.28	24.27	235.69	235.69	235.69	31.43	31.43	31.43	1.000	0.992	0.979
125.34	125.34	125.34	21.62	21.58	21.52	206.48	206.48	206.48	27.53	27.50	27.35	0.985	0.961	0.935
109.11	109.06	108.69	18.78	18.68	18.58	177.13	177.18	177.09	23.49	23.17	22.87	0.942	0.905	0.878
91.88	90.86	89.91	15.74	15.60	15.49	147.66	146.75	145.75	19.01	18.56	18.22	0.870	0.827	0.798
141.31	141.31	141.31	25.71	25.71	25.71	152.64	152.64	152.64	24.42	24.42	24.42	1.000	1.000	1.000
127.62	127.62	127.62	23.27	23.27	23.27	135.65	135.65	135.65	21.70	21.70	21.70	1.000	0.997	0.989
113.44	113.44	113.44	20.73	20.73	20.73	118.65	118.65	118.65	18.98	18.98	18.93	0.992	0.976	0.961
98.76	98.76	98.76	18.09	18.08	18.06	101.66	101.66	101.66	16.23	16.06	15.88	0.963	0.933	0.910
83.59	83.59	83.46	15.31	15.23	15.17	84.67	84.35	83.88	13.19	12.90	12.68	0.902	0.863	0.835
111.88	111.88	111.88	21.92	21.92	21.92	65.16	65.16	65.16	13.03	13.03	13.03	1.000	0.997	0.988
99.47	99.47	99.47	19.54	19.54	19.54	56.83	56.83	56.83	11.37	11.37	11.36	0.952	0.914	0.888
86.63	86.63	86.63	17.06	17.06	17.06	48.55	48.55	48.55	9.71	9.67	9.60	0.960	0.932	0.911
73.33	73.33	73.33	14.48	14.48	14.48	40.32	40.32	40.19	7.96	7.82	7.71	0.904	0.871	0.849

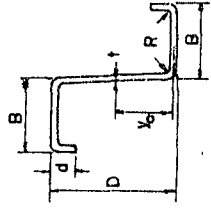
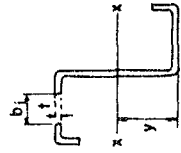
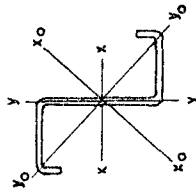
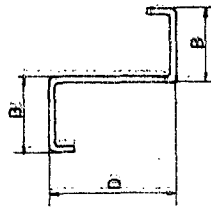
PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS

TENSÃO BÁSICA (kgf/cm²)

	1297	1606	1854	1297	1606	1854	1297	1606	1854	1297	1606	1854	1297	1606	1854
I _x	I _x	I _x	I _x	S _x	S _x	S _x	I _y	I _y	I _y	S _y	S _y	S _y	S _y	S _y	S _y
cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³
29.37	29.37	29.37	29.37	9.58	9.58	9.58	173.34	173.34	173.34	23.11	23.11	23.11	1.000	1.000	1.000
26.83	26.83	26.83	26.83	8.77	8.77	8.77	154.98	154.98	154.98	20.66	20.66	20.66	0.999	0.999	0.999
24.11	24.11	24.11	24.11	7.90	7.90	7.90	136.38	136.38	136.38	18.18	18.18	18.18	0.989	0.989	0.989
21.22	21.22	21.22	21.20	6.96	6.94	6.91	117.54	117.54	117.54	15.67	15.67	15.67	0.967	0.967	0.964
18.12	17.98	17.98	17.81	5.92	5.88	5.85	98.48	98.48	98.48	13.13	13.13	13.13	0.932	0.932	0.897
24.10	24.10	24.10	24.10	8.47	8.47	8.47	89.34	89.34	89.34	14.29	14.29	14.29	1.000	1.000	1.000
21.65	21.65	21.65	21.65	7.63	7.63	7.63	78.53	78.53	78.53	12.56	12.56	12.56	1.000	1.000	0.999
19.06	19.06	19.06	19.06	6.74	6.74	6.73	67.61	67.61	67.61	10.82	10.82	10.82	1.000	1.000	0.988
16.30	16.33	16.33	16.29	5.77	5.75	5.73	56.58	56.58	56.58	9.05	9.05	9.05	0.956	0.956	0.963
20.63	20.63	20.63	20.63	8.01	8.01	8.01	43.75	43.75	43.75	8.75	8.75	8.75	1.000	1.000	1.000
18.55	18.55	18.55	18.55	7.22	7.22	7.22	38.37	38.37	38.37	7.67	7.67	7.67	1.000	1.000	1.000
16.32	16.32	16.32	16.32	6.38	6.33	6.38	32.96	32.96	32.96	6.59	6.59	6.59	1.000	1.000	1.000
13.96	13.96	13.96	13.96	5.48	5.48	5.48	27.52	27.52	27.52	5.50	5.50	5.50	1.000	1.000	1.000

PERFIL CARTOLA (continuação)

PERFIL Z ENRIJECIDO



PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS

DIMENSÕES

D	B	d	t=R	ÁREA	I_x	S_x	i_x	I_y	S_y	i_y	I_{x0}	I_{y0}	Y	Y_s	I_{xy}	$i_{m\acute{a}x}$	$i_{m\acute{i}n}$
mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ⁴	cm	cm
300	85	25	4.76	23.26	2958.49	197.23	11.28	269.79	34.55	3.45	5109.47	132.76	15.00	14.76	-559.25	11.56	2.34
300	85	25	4.18	20.59	2638.31	175.89	11.32	257.51	31.06	3.54	2775.65	120.17	15.00	14.79	-588.06	11.01	2.42
300	85	25	3.80	18.81	2422.61	161.51	11.35	239.12	28.78	3.57	2550.33	111.41	15.00	14.61	-543.30	11.64	2.43
300	85	25	3.42	17.01	2202.13	146.81	11.38	219.79	26.39	3.59	2319.69	102.23	15.00	14.63	-496.84	11.68	2.45
300	85	25	3.04	15.20	1976.90	131.79	11.40	199.48	23.70	3.62	2083.74	92.64	15.00	14.85	-448.89	11.71	2.47
300	85	25	2.66	13.37	1746.86	116.46	11.43	178.20	21.30	3.65	1842.43	82.62	15.00	14.57	-398.52	11.74	2.49
300	85	25	2.28	11.51	1512.00	100.60	11.46	155.90	18.59	3.68	1595.73	72.17	15.00	14.69	-347.22	11.77	2.50
300	85	25	1.90	9.64	1272.29	84.82	11.49	132.59	15.76	3.71	1343.59	61.28	15.00	14.91	-293.66	11.80	2.52
250	85	25	4.76	20.88	1912.88	193.03	9.57	283.74	34.54	3.69	2075.22	121.40	12.50	12.26	-539.29	9.97	2.41
250	85	25	4.18	18.50	1708.42	136.67	9.61	257.48	31.96	3.73	1855.98	109.92	12.50	12.29	-485.67	10.02	2.44
250	85	25	3.80	16.91	1570.25	125.62	9.64	239.10	28.77	3.76	1707.42	101.93	12.50	12.31	-448.79	10.05	2.46
250	85	25	3.42	15.30	1428.72	114.30	9.66	219.77	26.39	3.79	1554.94	95.55	12.50	12.33	-410.52	10.06	2.47
250	85	25	3.04	13.68	1283.80	102.70	9.69	199.47	23.89	3.82	1398.48	84.79	12.50	12.35	-370.82	10.11	2.49
250	85	25	2.66	12.04	1135.47	90.64	9.71	178.19	21.30	3.85	1238.03	73.63	12.50	12.37	-329.69	10.14	2.51
250	85	25	2.28	10.37	983.72	78.70	9.74	155.90	18.59	3.88	1073.54	62.08	12.50	12.39	-287.10	10.17	2.52
250	85	25	1.90	8.69	828.51	66.28	9.76	132.59	15.77	3.91	904.99	56.11	12.50	12.41	-243.04	10.20	2.54

DIMENSÕES				PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS													
D	B	d	t=R	ÁREA	I_{x^4}	S_x	\bar{I}_x	I_{y^4}	S_y	\bar{I}_y	I_{x_0}	I_{y_0}	Y	Y_s	I_{xy}	i_{\max}	i_{\min}
mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ⁴	cm	cm
200	75	25	4.76	17.55	1037.60	103.76	7.69	201.74	27.76	3.39	1156.25	61.11	10.00	9.76	-339.68	3.12	4.15
200	75	25	4.18	15.57	929.69	92.96	7.73	163.71	25.20	3.45	1039.61	75.70	10.00	9.79	-306.65	3.17	2.18
200	75	25	3.80	14.25	656.14	65.61	7.75	170.98	23.39	3.40	958.92	60.49	10.00	9.81	-284.12	3.20	2.19
200	75	25	3.42	12.91	780.51	78.05	7.73	157.50	21.49	3.49	875.01	65.00	10.00	9.83	-260.39	3.23	2.21
200	75	25	3.04	11.55	702.72	70.27	7.80	143.27	19.50	3.52	785.76	57.22	10.00	9.85	-235.67	3.26	2.23
200	75	25	2.66	10.17	622.73	62.27	7.82	126.25	17.41	3.55	699.63	51.15	10.00	9.87	-209.93	3.29	2.24
200	75	20	2.28	8.55	526.64	52.68	7.85	100.39	13.59	3.43	586.50	40.72	10.00	9.89	-170.30	3.28	2.13
200	75	20	1.90	7.17	444.70	44.47	7.87	65.67	11.57	3.46	495.67	34.70	10.00	9.91	-144.50	3.31	2.20
150	60	20	4.76	13.27	436.39	53.19	5.74	95.69	16.61	2.69	494.69	37.20	7.50	7.26	-152.61	6.11	1.67
150	60	20	4.18	11.81	393.50	52.47	5.77	68.06	15.21	2.73	447.42	34.15	7.50	7.29	-139.19	6.16	1.70
150	60	20	3.80	10.83	363.91	48.52	5.80	82.51	14.20	2.76	414.48	31.94	7.50	7.31	-129.57	6.19	1.72
150	60	20	3.42	9.83	333.12	44.42	5.82	70.50	13.12	2.79	390.06	29.56	7.50	7.33	-119.37	6.22	1.73
150	60	20	3.04	8.82	301.12	40.15	5.84	70.03	11.96	2.82	344.13	27.02	7.50	7.35	-108.58	6.25	1.75
150	60	20	2.66	7.78	267.90	35.72	5.87	63.08	10.75	2.85	306.69	24.50	7.50	7.37	-97.21	6.28	1.77
150	60	20	2.28	6.73	233.44	31.15	5.89	55.65	9.45	2.88	267.69	21.59	7.50	7.39	-85.22	6.31	1.76
150	60	20	1.90	5.65	197.73	26.36	5.91	47.71	8.23	2.91	227.13	19.31	7.50	7.41	-72.63	6.34	1.80
150	60	20	1.52	4.56	160.76	21.43	5.94	39.25	6.83	2.93	164.97	15.04	7.50	7.42	-59.40	6.37	1.82
127	50	17	3.42	8.16	194.66	30.66	4.89	42.44	8.79	2.28	220.52	16.58	6.35	6.13	-67.66	5.20	1.43
127	50	17	3.04	7.33	176.58	27.81	4.91	39.10	8.07	2.31	200.43	15.25	6.35	6.20	-62.04	5.23	1.44
127	50	17	2.66	6.48	157.63	24.82	4.93	35.45	7.25	2.34	179.29	13.79	6.35	6.22	-55.91	5.26	1.46
127	50	17	2.28	5.61	137.81	21.70	4.96	31.46	6.44	2.37	157.06	12.21	6.35	6.24	-49.16	5.29	1.48
127	50	17	1.90	4.72	117.12	18.44	4.98	27.13	5.23	2.40	133.73	10.51	6.35	6.26	-42.09	5.32	1.49
127	50	17	1.52	3.82	95.52	15.04	5.00	22.45	4.55	2.43	109.29	8.68	6.35	6.27	-34.58	5.35	1.51
100	50	17	3.42	7.23	110.33	22.07	3.91	42.44	6.79	2.42	138.66	14.10	5.00	4.83	-52.22	4.38	1.40
100	50	17	3.04	6.51	100.34	20.07	3.93	39.10	6.06	2.45	126.47	12.97	5.00	4.85	-47.78	4.41	1.41
100	50	17	2.66	5.76	89.81	17.96	3.95	35.44	7.23	2.48	113.51	11.74	5.00	4.87	-43.02	4.44	1.43
100	50	17	2.28	4.99	78.72	15.74	3.97	31.45	6.44	2.51	99.77	10.40	5.00	4.89	-37.92	4.47	1.44
100	50	17	1.90	4.21	67.07	13.41	3.99	27.13	5.53	2.54	85.24	8.96	5.00	4.91	-32.50	4.50	1.46
100	50	17	1.52	3.40	54.84	10.97	4.01	22.45	4.56	2.57	69.69	7.40	5.00	4.92	-26.72	4.53	1.47

PERFIL Z ENRIJECIDO (continuação)

PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS

TENSÃO BÁSICA (kgf/cm²)

I _X cm ⁴	1606	I _X cm ⁴	1606	S _X cm ³	1297	S _X cm ³	1854	I _Y cm ⁴	1297	I _Y cm ⁴	1606	I _Y cm ⁴	1854	FATOR DE COLUNA		
														1297	1606	1854
														S _Y cm ³	S _Y cm ³	S _Y cm ³
2958.45	2958.45	2958.45	197.25	197.25	253.79	253.79	285.79	285.79	34.35	34.35	34.35	34.35	34.35	0.859	0.826	0.808
2638.31	2638.31	2638.31	175.39	175.39	257.51	257.51	257.51	257.51	31.06	31.06	31.06	31.06	31.06	0.817	0.769	0.770
2422.61	2422.61	2422.61	161.51	161.51	239.12	239.12	239.12	239.12	28.78	28.78	28.78	28.78	28.78	0.791	0.762	0.743
2202.13	2202.13	2202.13	146.81	146.81	219.79	219.79	219.79	219.79	26.39	26.39	26.39	26.39	26.39	0.751	0.733	0.716
1976.90	1976.90	1976.90	131.79	131.79	199.48	199.48	199.48	199.48	23.90	23.90	23.90	23.90	23.90	0.729	0.704	0.687
1746.86	1746.86	1746.86	116.36	116.36	178.20	178.20	178.20	178.20	21.30	21.30	21.30	21.30	21.30	0.698	0.672	0.656
1512.00	1512.00	1512.00	99.23	99.23	155.90	155.90	155.90	155.90	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	0.660	0.634	0.617
1271.05	1271.05	1271.05	82.50	82.50	132.59	132.59	132.59	132.59	15.78	15.78	15.78	15.78	15.78	0.614	0.589	0.572
1912.68	1912.68	1912.68	153.03	153.03	283.74	283.74	283.74	283.74	34.34	34.34	34.34	34.34	34.34	0.921	0.894	0.875
1708.42	1708.42	1708.42	136.67	136.67	257.48	257.48	257.48	257.48	31.06	31.06	31.06	31.06	31.06	0.885	0.857	0.833
1570.25	1570.25	1570.25	125.62	125.62	239.10	239.10	239.10	239.10	28.77	28.77	28.77	28.77	28.77	0.856	0.830	0.812
1428.72	1428.72	1428.72	114.30	114.30	219.77	219.77	219.77	219.77	26.39	26.39	26.39	26.39	26.39	0.829	0.802	0.784
1283.80	1283.80	1283.80	102.70	102.70	199.47	199.47	199.47	199.47	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	0.797	0.771	0.754
1135.47	1135.47	1135.47	90.84	90.84	178.19	178.19	178.19	178.19	21.30	21.30	21.30	21.30	21.30	0.765	0.738	0.721
983.72	983.72	983.72	77.37	77.37	155.90	155.90	155.90	155.90	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	0.725	0.698	0.680
827.65	827.65	827.65	64.15	64.15	132.59	132.59	132.59	132.59	15.77	15.77	15.77	15.77	15.77	0.670	0.649	0.631
1037.60	1037.60	1037.60	103.76	103.76	201.74	201.74	201.74	201.74	27.76	27.76	27.76	27.76	27.76	0.977	0.957	0.941
929.60	929.60	929.60	92.96	92.96	183.71	183.71	183.71	183.71	25.20	25.20	25.20	25.20	25.20	0.949	0.925	0.906
856.14	856.14	856.14	85.61	85.61	170.98	170.98	170.98	170.98	23.39	23.39	23.39	23.39	23.39	0.920	0.900	0.882
780.51	780.51	780.51	78.05	78.05	157.50	157.50	157.50	157.50	21.49	21.49	21.49	21.49	21.49	0.898	0.872	0.854
702.72	702.72	702.72	70.27	70.27	143.27	143.27	143.27	143.27	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50	0.867	0.841	0.824
622.73	622.73	622.73	62.27	62.27	128.25	128.25	128.25	128.25	17.41	17.41	17.41	17.41	17.41	0.832	0.807	0.791
526.84	526.84	526.84	52.55	52.55	100.39	100.39	100.39	100.39	13.59	13.59	13.59	13.59	13.59	0.789	0.763	0.745
444.70	444.70	444.70	43.94	43.94	85.67	85.67	85.67	85.67	11.57	11.57	11.57	11.57	11.57	0.741	0.713	0.694

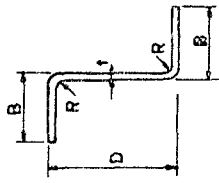
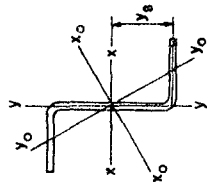
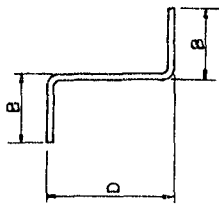
PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS

TENSAO BÁSICA (kgf/cm²)

1297		1606		1854		1297		1606		1854		1297		1606		1854	
I _x		I _x		I _x		S _x		S _x		S _x		I _y		I _y		I _y	
cm ⁴		cm ⁴		cm ⁴		cm ³		cm ³		cm ³		cm ⁴		cm ⁴		cm ⁴	
436.39		430.39		430.39		58.19		58.19		58.09		95.07		95.07		95.07	
393.50		393.50		393.50		52.47		52.47		52.09		88.00		88.00		88.00	
363.91		363.91		363.91		48.52		48.52		48.51		82.51		82.51		82.51	
333.12		333.12		333.12		44.42		44.42		44.50		76.50		76.50		76.50	
301.12		301.12		301.12		40.15		40.15		40.03		70.03		70.03		70.03	
267.90		267.90		267.90		35.72		35.72		35.08		63.08		63.08		63.08	
233.44		233.44		233.44		31.13		31.13		31.05		55.05		55.05		55.05	
197.73		197.73		197.73		26.56		26.56		26.71		47.71		47.71		47.71	
160.76		160.71		160.32		21.18		20.84		20.25		35.25		35.25		35.25	
194.66		194.66		194.66		30.66		30.66		30.44		42.44		42.44		42.44	
176.58		176.58		176.58		27.51		27.51		27.10		39.10		39.10		39.10	
157.63		157.63		157.63		24.82		24.82		24.45		35.45		35.45		35.45	
137.61		137.81		137.81		21.70		21.70		21.46		31.46		31.46		31.46	
117.12		117.12		117.12		18.44		18.44		18.13		27.13		27.13		27.13	
95.52		95.52		95.52		15.04		15.00		14.91		22.45		22.45		22.45	
110.33		110.33		110.33		22.07		22.07		22.44		42.44		42.44		42.44	
100.34		100.34		100.34		20.07		20.07		20.10		35.10		35.10		35.10	
89.81		89.81		89.81		17.50		17.56		17.44		31.44		31.44		31.44	
78.72		78.72		78.72		15.74		15.74		15.45		31.45		31.45		31.45	
67.07		67.07		67.07		13.41		13.41		13.15		27.15		27.15		27.15	
54.84		54.84		54.84		10.97		10.94		10.86		22.45		22.45		22.45	
16.01		16.01		16.01		15.01		15.01		15.01		16.01		16.01		16.01	
15.21		15.21		15.21		15.21		15.21		15.21		15.21		15.21		15.21	
14.20		14.20		14.20		14.20		14.20		14.20		14.20		14.20		14.20	
13.12		13.12		13.12		13.12		13.12		13.12		13.12		13.12		13.12	
11.98		11.98		11.98		11.98		11.98		11.98		11.98		11.98		11.98	
10.75		10.75		10.75		10.75		10.75		10.75		10.75		10.75		10.75	
9.45		9.45		9.45		9.45		9.45		9.45		9.45		9.45		9.45	
8.08		8.08		8.08		8.08		8.08		8.08		8.08		8.08		8.08	
6.63		6.63		6.63		6.63		6.63		6.63		6.63		6.63		6.63	
8.75		8.75		8.75		8.75		8.75		8.75		8.75		8.75		8.75	
8.07		8.07		8.07		8.07		8.07		8.07		8.07		8.07		8.07	
7.28		7.28		7.28		7.28		7.28		7.28		7.28		7.28		7.28	
6.44		6.44		6.44		6.44		6.44		6.44		6.44		6.44		6.44	
5.53		5.53		5.53		5.53		5.53		5.53		5.53		5.53		5.53	
4.56		4.56		4.56		4.56		4.56		4.56		4.56		4.56		4.56	
8.79		8.79		8.79		8.79		8.79		8.79		8.79		8.79		8.79	
8.06		8.06		8.06		8.06		8.06		8.06		8.06		8.06		8.06	
7.28		7.28		7.28		7.28		7.28		7.28		7.28		7.28		7.28	
6.44		6.44		6.44		6.44		6.44		6.44		6.44		6.44		6.44	
5.53		5.53		5.53		5.53		5.53		5.53		5.53		5.53		5.53	
4.56		4.56		4.56		4.56		4.56		4.56		4.56		4.56		4.56	
1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000	
0.998		0.998		0.998		0.998		0.998		0.998		0.998		0.998		0.998	
0.971		0.971		0.971		0.971		0.971		0.971		0.971		0.971		0.971	
0.945		0.945		0.945		0.945		0.945		0.945		0.945		0.945		0.945	
0.920		0.920		0.920		0.920		0.920		0.920		0.920		0.920		0.920	
0.888		0.888		0.888		0.888		0.888		0.888		0.888		0.888		0.888	
0.862		0.862		0.862		0.862		0.862		0.862		0.862		0.862		0.862	
0.802		0.802		0.802		0.802		0.802		0.802		0.802		0.802		0.802	
0.742		0.742		0.742		0.742		0.742		0.742		0.742		0.742		0.742	
1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000	
0.956		0.956		0.956		0.956		0.956		0.956		0.956		0.956		0.956	
0.972		0.972		0.972		0.972		0.972		0.972		0.972		0.972		0.972	
0.941		0.941		0.941		0.941		0.941		0.941		0.941		0.941		0.941	
0.901		0.901		0.901		0.901		0.901		0.901		0.901		0.901		0.901	
0.847		0.847		0.847		0.847		0.847		0.847		0.847		0.847		0.847	

PERFIL Z ENRIJECIDO (continuação)

PERFIL Z SIMPLES



DIMENSÕES		PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS													
D	t=R	ÁREA	I_x	S_x	i_x	I_y	S_y	i_y	I_{x0}	I_{y0}	y	y_s	$i_{m\acute{a}x}$	$i_{m\acute{i}n}$	I_{xy}
mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm	cm	cm ⁴
200	4.76	13.54	699.16	69.92	7.19	34.41	7.23	1.59	715.51	18.06	10.00	9.76	7.27	1.16	-105.53
200	4.18	11.97	623.77	62.38	7.22	30.75	6.42	1.60	638.33	16.19	10.00	9.79	7.30	1.16	-94.05
200	3.80	10.93	572.94	57.29	7.24	28.27	5.88	1.61	586.30	14.91	10.00	9.81	7.33	1.17	-86.33
200	3.42	9.88	520.96	52.10	7.26	25.73	5.33	1.61	533.09	13.60	10.00	9.83	7.35	1.17	-70.45
200	3.04	8.82	467.82	46.78	7.28	23.13	4.77	1.62	478.70	12.25	10.00	9.85	7.37	1.18	-70.41
200	2.66	7.75	413.52	41.35	7.31	20.47	4.21	1.63	423.13	10.86	10.00	9.87	7.39	1.18	-62.20
200	2.28	6.67	358.04	35.80	7.33	17.75	3.63	1.63	366.35	9.44	10.00	9.89	7.41	1.19	-53.83
200	1.90	5.58	301.38	30.14	7.35	14.96	3.05	1.64	308.37	7.97	10.00	9.91	7.43	1.19	-45.29
150	4.76	11.16	345.04	46.01	5.56	34.37	7.22	1.76	363.75	15.66	7.50	7.26	5.71	1.18	-78.51
150	4.18	9.88	308.84	41.18	5.59	30.72	6.41	1.76	325.48	14.08	7.50	7.29	5.74	1.19	-70.04
150	3.80	9.03	284.27	37.90	5.61	28.25	5.87	1.77	299.53	12.99	7.50	7.31	5.76	1.20	-64.33
150	3.42	8.17	259.02	34.54	5.63	25.72	5.33	1.77	272.87	11.87	7.50	7.33	5.78	1.21	-58.49
150	3.04	7.30	233.08	31.08	5.65	23.12	4.77	1.78	245.49	10.71	7.50	7.35	5.80	1.21	-52.53
150	2.66	6.42	206.75	27.53	5.67	20.46	4.20	1.79	217.40	9.51	7.50	7.37	5.82	1.22	-46.44
150	2.28	5.53	179.12	23.88	5.69	17.74	3.63	1.79	188.59	8.28	7.50	7.39	5.84	1.22	-40.22
150	1.90	4.63	151.08	20.14	5.71	14.96	3.05	1.80	159.03	7.00	7.50	7.41	5.86	1.23	-35.86

DIMENSÕES		PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS														
D	B	t=R	ÁREA	I _x	S _x	i _x	I _y	S _y	i _y	I _{xo}	I _{yo}	Y _c	Y _s	i _{máx}	i _{mín}	I _{xy}
mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm	cm	cm ⁴
127	50	4.76	10.06	230.76	36.34	4.79	34.35	7.21	1.85	250.92	14.19	6.35	6.11	4.99	1.19	-66.07
127	50	4.18	8.91	207.00	32.60	4.82	30.70	6.41	1.86	224.92	12.78	6.35	6.14	5.02	1.20	-58.99
127	50	3.80	8.15	190.80	30.05	4.84	28.24	5.37	1.86	207.22	11.82	6.35	6.16	5.04	1.20	-54.21
127	50	3.42	7.38	174.10	27.42	4.86	25.71	5.32	1.87	188.99	10.81	6.35	6.18	5.06	1.21	-49.32
127	50	3.04	6.60	156.88	24.71	4.88	23.12	4.77	1.87	170.23	9.77	6.35	6.20	5.08	1.22	-44.51
127	50	2.66	5.81	139.14	21.91	4.90	20.46	4.20	1.88	150.92	8.69	6.35	6.22	5.10	1.22	-39.19
127	50	2.28	5.00	120.89	19.04	4.91	17.74	3.63	1.88	131.06	7.57	6.35	6.24	5.12	1.23	-33.95
127	50	1.90	4.19	102.10	16.08	4.93	14.95	3.05	1.89	110.64	6.41	6.35	6.26	5.14	1.24	-28.60
127	50	1.52	3.37	82.77	13.04	4.95	12.10	2.46	1.89	89.67	5.21	6.35	6.27	5.15	1.24	-23.13
100	50	4.76	8.78	130.35	26.07	3.85	34.32	7.21	1.98	152.73	11.94	5.00	4.76	4.17	1.17	-51.48
100	50	4.18	7.79	117.35	23.47	3.88	30.69	6.40	1.99	137.23	10.81	5.00	4.79	4.20	1.18	-46.02
100	50	3.80	7.13	108.42	21.68	3.90	28.22	5.87	1.99	126.63	10.02	5.00	4.81	4.22	1.19	-42.33
100	50	3.42	6.46	99.15	19.83	3.92	25.70	5.32	2.00	115.66	9.19	5.00	4.83	4.23	1.19	-38.54
100	50	3.04	5.78	89.55	17.91	3.94	23.11	4.77	2.00	104.34	8.32	5.00	4.85	4.25	1.20	-34.60
100	50	2.66	5.09	79.60	15.92	3.96	20.46	4.20	2.01	92.64	7.42	5.00	4.87	4.27	1.21	-30.68
100	50	2.28	4.39	69.31	13.86	3.97	17.74	3.63	2.01	80.57	6.47	5.00	4.89	4.28	1.21	-26.60
100	50	1.90	3.68	58.67	11.73	3.99	14.95	3.05	2.02	68.13	5.49	5.00	4.91	4.30	1.22	-22.43
100	50	1.52	2.96	47.67	9.53	4.01	12.10	2.46	2.02	55.29	4.47	5.00	4.92	4.32	1.23	-18.15
100	40	4.76	7.82	108.75	21.75	3.73	16.95	4.51	1.47	118.99	6.81	5.00	4.76	3.90	0.93	-32.16
100	40	4.18	6.95	98.15	19.63	3.76	15.22	4.02	1.48	107.19	6.18	5.00	4.79	3.93	0.94	-28.84
100	40	3.80	6.37	90.83	18.17	3.78	14.04	3.69	1.49	99.12	5.74	5.00	4.81	3.95	0.95	-26.57
100	40	3.42	5.77	83.20	16.64	3.80	12.92	3.35	1.49	90.74	5.28	5.00	4.83	3.97	0.96	-24.24
100	40	3.04	5.17	75.25	15.05	3.82	11.57	3.01	1.50	82.03	4.79	5.00	4.85	3.98	0.96	-21.84
100	40	2.66	4.56	67.00	13.40	3.84	10.27	2.65	1.50	72.98	4.28	5.00	4.87	4.00	0.97	-19.37
100	40	2.28	3.93	58.42	11.68	3.85	8.93	2.30	1.51	63.61	3.75	5.00	4.89	4.02	0.98	-16.83
100	40	1.90	3.30	49.52	9.90	3.87	7.55	1.93	1.51	53.89	3.19	5.00	4.91	4.04	0.98	-14.22
100	40	1.52	2.66	40.30	8.06	3.89	6.13	1.56	1.52	43.82	2.60	5.00	4.92	4.06	0.99	-11.53

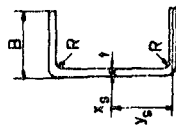
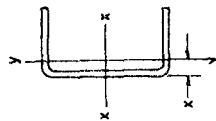
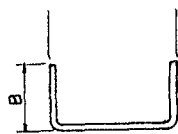
PERFIL Z SIMPLES (continuação)

PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS

TENSÃO BÁSICA kgf/cm² - PERFIL Z SIMPLES

1297	1606	1854	FATOR DE COLUNA		
TENSÃO ADMISSÍVEL			Q		
σ_{ca} (kgf/cm ²)			1297	1606	1854
1296.97	1606.06	1854.55	0.970	0.944	0.924
1296.97	1606.06	1854.55	0.934	0.903	0.880
1266.76	1552.09	1781.48	0.886	0.846	0.820
1228.07	1483.28	1688.44	0.829	0.781	0.751
1179.70	1397.26	1572.15			
1117.52	1286.66	1422.63			
1034.61	1139.19	1223.27			
918.54	932.74	944.16			
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	0.999	0.995
1296.97	1606.06	1854.55	0.997	0.985	0.973
1266.76	1552.09	1781.48	0.964	0.937	0.917
1228.07	1483.28	1688.44	0.918	0.875	0.846
1179.70	1397.26	1572.15	0.859	0.802	0.766
1117.52	1286.66	1422.63	0.787	0.716	0.674
1034.61	1139.19	1223.27			
918.54	932.74	944.16			
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	0.998
1266.76	1552.09	1781.48	0.977	0.962	0.951
1228.07	1483.28	1688.44	0.944	0.911	0.889
1179.70	1397.26	1572.15	0.895	0.843	0.811
1117.52	1286.66	1422.63	0.829	0.758	0.717
1034.61	1139.19	1223.27	0.744	0.653	0.601
918.54	932.74	944.16			
782.11	782.11	782.11			
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1266.76	1552.09	1781.48	0.977	0.966	0.961
1228.07	1483.28	1688.44	0.947	0.924	0.910
1179.70	1397.26	1572.15	0.910	0.870	0.846
1117.52	1286.66	1422.63	0.861	0.797	0.759
1034.61	1139.19	1223.27	0.788	0.695	0.645
918.54	932.74	944.16	0.683	0.559	0.490
782.11	782.11	782.11			
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1266.76	1552.09	1781.48	0.977	0.965	0.953
1217.01	1463.61	1661.86	0.935	0.898	0.874
1150.69	1345.64	1502.37	0.867	0.806	0.770
1057.83	1160.48	1279.09	0.770	0.685	0.636
918.54	932.74	944.16			

PERFIL C SIMPLES



DIMENSÕES		PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS											
D	B	t=R	ÁREA	I_x	S_x	i_x	I_y	S_y	i_y	x	y	x_s	y_s
mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm	cm
200	50	4.76	13.54	699.16	65.92	7.19	25.76	0.50	1.38	1.04	10.00	-1.46	9.80
200	50	4.18	11.97	623.77	62.38	7.22	23.03	5.78	1.39	1.01	10.00	-1.47	9.82
200	50	3.80	10.53	572.94	57.29	7.24	21.18	5.29	1.39	1.00	10.00	-1.47	9.83
200	50	3.42	9.88	520.96	52.10	7.26	19.28	4.80	1.40	0.98	10.00	-1.47	9.85
200	50	3.04	8.82	467.82	46.78	7.28	17.34	4.24	1.40	0.96	10.00	-1.48	9.86
200	50	2.66	7.75	413.52	41.35	7.31	15.34	3.79	1.41	0.95	10.00	-1.48	9.88
200	50	2.28	6.67	358.04	35.80	7.33	13.30	3.27	1.41	0.93	10.00	-1.48	9.89
200	50	1.90	5.58	301.38	30.14	7.35	11.21	2.74	1.42	0.91	10.00	-1.49	9.91
150	50	4.76	11.16	345.04	46.01	5.56	23.89	6.30	1.46	1.21	7.50	-1.63	7.29
150	50	4.18	9.88	308.84	41.18	5.59	21.37	5.60	1.47	1.18	7.50	-1.64	7.31
150	50	3.80	9.03	284.27	37.90	5.61	19.67	5.15	1.48	1.17	7.50	-1.64	7.33
150	50	3.42	8.17	259.02	34.54	5.63	17.91	4.65	1.48	1.15	7.50	-1.65	7.34
150	50	3.04	7.30	235.08	31.08	5.65	16.12	4.17	1.49	1.13	7.50	-1.65	7.36
150	50	2.66	6.42	206.45	27.53	5.67	14.27	3.67	1.49	1.12	7.50	-1.65	7.38
150	50	2.28	5.53	179.12	23.88	5.69	12.36	3.17	1.50	1.10	7.50	-1.65	7.39
150	50	1.90	4.63	151.08	20.14	5.71	10.44	2.67	1.50	1.08	7.50	-1.66	7.41

DIMENSÕES		PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS											
D	B	t=R	ÁREA	I_x	S_x	i_x	I_y	S_y	i_y	x	y	x_s	y_s
mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm	cm
127	50	4.76	10.06	230.76	36.34	4.79	22.73	6.16	1.50	1.31	6.35	-1.73	6.14
127	50	4.18	8.91	207.00	32.00	4.82	20.35	5.48	1.51	1.29	6.35	-1.73	6.16
127	50	3.80	8.15	190.80	30.05	4.84	18.74	5.02	1.52	1.27	6.35	-1.73	6.18
127	50	3.42	7.38	174.10	27.42	4.86	17.07	4.56	1.52	1.25	6.35	-1.74	6.19
127	50	3.04	6.60	156.88	24.71	4.88	15.37	4.08	1.53	1.24	6.35	-1.74	6.21
127	50	2.66	5.81	139.14	21.91	4.90	13.62	3.60	1.53	1.22	6.35	-1.74	6.23
127	50	2.28	5.00	120.89	19.04	4.91	11.82	3.11	1.54	1.20	6.35	-1.75	6.24
127	50	1.90	4.19	102.10	16.08	4.93	9.97	2.61	1.54	1.19	6.35	-1.75	6.26
127	50	1.52	3.37	82.77	13.04	4.95	8.08	2.11	1.55	1.17	6.35	-1.75	6.28
100	50	4.70	8.78	130.35	26.07	3.85	21.00	5.95	1.55	1.47	5.00	-1.85	4.79
100	50	4.18	7.79	117.35	23.47	3.88	18.83	5.29	1.56	1.44	5.00	-1.85	4.81
100	50	3.80	7.13	108.42	21.68	3.90	17.36	4.85	1.56	1.43	5.00	-1.86	4.83
100	50	3.42	6.46	99.15	19.83	3.92	15.83	4.41	1.57	1.41	5.00	-1.86	4.84
100	50	3.04	5.78	89.55	17.91	3.94	14.26	3.95	1.57	1.39	5.00	-1.86	4.86
100	50	2.66	5.09	79.60	15.92	3.96	12.65	3.49	1.58	1.37	5.00	-1.87	4.87
100	50	2.28	4.39	69.31	13.86	3.97	10.98	3.01	1.58	1.35	5.00	-1.87	4.89
100	50	1.90	3.68	58.67	11.73	3.99	9.27	2.53	1.59	1.34	5.00	-1.87	4.91
100	50	1.52	2.96	47.67	9.53	4.01	7.52	2.04	1.59	1.32	5.00	-1.87	4.93
100	40	4.76	7.82	108.75	21.75	3.73	11.12	3.84	1.19	1.10	5.00	-1.38	4.80
100	40	4.18	6.95	98.15	19.63	3.76	10.01	3.42	1.20	1.08	5.00	-1.38	4.82
100	40	3.80	6.37	90.85	18.17	3.78	9.25	3.14	1.21	1.06	5.00	-1.39	4.83
100	40	3.42	5.77	83.20	16.64	3.80	8.46	2.86	1.21	1.04	5.00	-1.39	4.85
100	40	3.04	5.17	75.25	15.05	3.82	7.64	2.57	1.22	1.02	5.00	-1.39	4.86
100	40	2.66	4.56	67.00	13.40	3.84	6.79	2.27	1.22	1.01	5.00	-1.40	4.88
100	40	2.28	3.93	58.42	11.68	3.85	5.91	1.96	1.23	0.99	5.00	-1.40	4.89
100	40	1.90	3.30	49.52	9.90	3.87	5.00	1.65	1.23	0.97	5.00	-1.40	4.91
100	40	1.52	2.66	40.30	8.06	3.89	4.06	1.34	1.24	0.96	5.00	-1.41	4.93

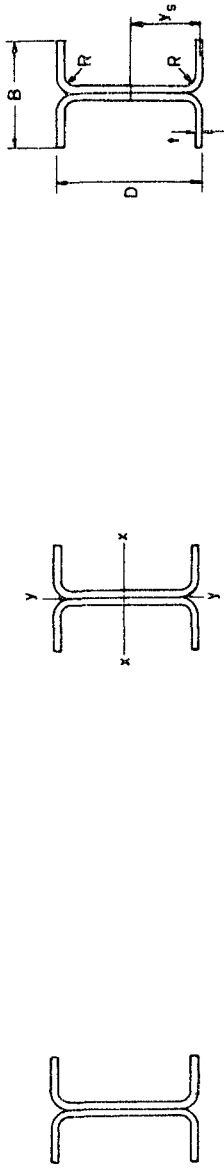
PERFIL C SIMPLES (continuação)

PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS

TENSÃO BÁSICA kgf/cm^2 - PERFIL C SIMPLES

1297	1606	1854	FATOR DE COLUNA		
TENSÃO ADMISSÍVEL			Q		
σ_{ca} (kgf/cm^2)			1297	1606	1854
1296.97	1606.06	1854.55	0.970	0.944	0.924
1296.97	1606.06	1854.55	0.934	0.903	0.880
1266.76	1552.09	1781.48	0.886	0.846	0.820
1228.07	1483.28	1688.44	0.829	0.781	0.751
1179.70	1397.26	1572.15			
1117.52	1286.66	1422.63			
1034.61	1139.19	1223.27			
918.54	932.74	944.16			
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	0.999	0.995
1296.97	1606.06	1854.55	0.997	0.985	0.973
1266.76	1552.09	1781.48	0.964	0.937	0.917
1228.07	1483.28	1688.44	0.918	0.875	0.848
1179.70	1397.26	1572.15	0.859	0.802	0.763
1117.52	1286.66	1422.63	0.787	0.716	0.674
1034.61	1139.19	1223.27			
918.54	932.74	944.16			
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	0.998
1266.76	1552.09	1781.48	0.977	0.963	0.951
1228.07	1483.28	1688.44	0.944	0.911	0.889
1179.70	1397.26	1572.15	0.895	0.843	0.811
1117.52	1286.66	1422.63	0.829	0.756	0.717
1034.61	1139.19	1223.27	0.744	0.653	0.601
918.54	932.74	944.16			
782.11	782.11	782.11			
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1266.76	1552.09	1781.48	0.977	0.966	0.961
1228.07	1483.28	1688.44	0.947	0.924	0.910
1179.70	1397.26	1572.15	0.910	0.870	0.846
1117.52	1286.66	1422.63	0.861	0.797	0.759
1034.61	1139.19	1223.27	0.788	0.695	0.643
918.54	932.74	944.16	0.683	0.559	0.490
782.11	782.11	782.11			
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000
1266.76	1552.09	1781.48	0.977	0.965	0.953
1217.01	1403.61	1661.86	0.935	0.898	0.874
1150.69	1345.64	1502.37	0.867	0.806	0.770
1057.83	1180.48	1279.09	0.770	0.685	0.636
918.54	932.74	944.16			

PERFIL I SIMPLES



DIMENSÕES		PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS									
D	B	t=R	ÁREA	I_x	S_x	i_x	I_y	S_y	i_y	y	Y_s
mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
200	100	4.76	27.07	1398.32	139.83	7.19	80.65	10.13	1.73	10.00	9.76
200	100	4.18	23.93	1247.54	124.75	7.22	70.57	14.11	1.72	10.00	9.79
200	100	3.80	21.85	1145.38	114.59	7.24	64.02	12.80	1.71	10.00	9.81
200	100	3.42	19.75	1041.92	104.19	7.26	57.50	11.50	1.71	10.00	9.83
200	100	3.04	17.63	935.64	93.56	7.28	51.02	10.20	1.70	10.00	9.85
200	100	2.66	15.45	827.04	82.70	7.31	44.57	8.91	1.70	10.00	9.87
200	100	2.28	13.34	716.08	71.61	7.33	38.15	7.63	1.69	10.00	9.89
200	100	1.90	11.16	602.76	60.28	7.35	31.75	6.35	1.65	10.00	9.91
150	100	4.76	22.31	650.08	92.01	5.56	60.29	10.06	1.90	7.50	7.26
150	100	4.18	19.75	617.68	82.36	5.55	70.32	14.06	1.89	7.50	7.29
150	100	3.80	18.05	568.54	75.81	5.61	63.83	12.77	1.88	7.50	7.31
150	100	3.42	16.33	518.04	69.07	5.63	57.37	11.47	1.87	7.50	7.33
150	100	3.04	14.59	466.17	62.16	5.65	50.93	10.19	1.87	7.50	7.35
150	100	2.66	12.83	412.91	55.05	5.67	44.51	8.90	1.86	7.50	7.37
150	100	2.28	11.06	358.24	47.77	5.65	38.11	7.62	1.86	7.50	7.39
150	100	1.90	9.26	302.16	40.29	5.71	31.73	6.35	1.85	7.50	7.41

DIMENSÕES		PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS									
D	B	t=R	ÁREA	I _x	S _x	i _x	I _y	S _y	i _y	Y _C	Y _s
mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
127	100	4.76	20.12	461.53	72.68	4.75	50.12	16.02	2.00	6.35	6.11
127	100	4.18	17.63	414.00	65.20	4.82	70.21	14.04	1.98	6.35	6.14
127	100	3.80	16.30	381.60	60.10	4.84	63.75	12.75	1.98	6.35	6.16
127	100	3.42	14.76	348.19	54.83	4.86	57.31	11.46	1.97	6.35	6.18
127	100	3.04	13.19	313.76	49.41	4.88	50.88	10.18	1.96	6.35	6.20
127	100	2.66	11.61	278.29	43.82	4.90	44.43	8.90	1.96	6.35	6.22
127	100	2.28	10.01	241.77	38.07	4.91	38.09	7.62	1.95	6.35	6.24
127	100	1.90	8.39	204.19	32.15	4.93	31.72	6.34	1.94	6.35	6.26
127	100	1.52	6.75	165.55	26.07	4.95	25.36	5.07	1.94	6.35	6.27
100	100	4.76	17.55	250.71	52.14	3.85	79.93	15.99	2.13	5.00	4.76
100	100	4.18	15.57	234.70	46.94	3.88	70.08	14.02	2.12	5.00	4.79
100	100	3.80	14.25	216.84	43.37	3.90	63.65	12.73	2.11	5.00	4.81
100	100	3.42	12.91	198.30	39.66	3.92	57.23	11.45	2.11	5.00	4.83
100	100	3.04	11.55	179.10	35.82	3.94	50.83	10.17	2.10	5.00	4.85
100	100	2.66	10.17	159.21	31.84	3.96	44.45	8.89	2.09	5.00	4.87
100	100	2.28	8.78	138.62	27.72	3.97	38.07	7.61	2.08	5.00	4.89
100	100	1.90	7.36	117.34	23.47	3.99	31.71	6.34	2.08	5.00	4.91
100	100	1.52	5.93	95.33	19.07	4.01	25.36	5.07	2.07	5.00	4.92
100	80	4.76	15.65	217.49	43.50	3.73	41.22	10.30	1.62	5.00	4.76
100	80	4.18	13.90	196.30	39.26	3.76	36.06	9.02	1.61	5.00	4.79
100	80	3.80	12.73	181.65	36.33	3.78	32.74	8.19	1.60	5.00	4.81
100	80	3.42	11.54	166.39	33.28	3.80	29.42	7.35	1.60	5.00	4.83
100	80	3.04	10.34	150.51	30.10	3.82	26.11	6.53	1.59	5.00	4.85
100	80	2.66	9.11	134.00	26.80	3.84	22.81	5.70	1.58	5.00	4.87
100	80	2.28	7.87	116.85	23.37	3.85	19.53	4.88	1.58	5.00	4.89
100	80	1.90	6.60	99.05	19.81	3.87	16.26	4.06	1.57	5.00	4.91
100	80	1.52	5.32	80.59	16.12	3.89	12.99	3.25	1.56	5.00	4.92

PERFIL I SIMPLES (continuação)

PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS

TENSÃO BÁSICA kgf/cm² - PERFIL I SIMPLES

1297		1606		1854		FATOR DE COLUNA	
TENSÃO ADMISSÍVEL				Q			
σ_{ca} (kgf/cm ²)				1297	1606	1854	
1296.97	1606.06	1854.55	0.970	0.944	0.924		
1296.97	1606.06	1854.55	0.934	0.903	0.880		
1266.76	1552.09	1781.48	0.880	0.846	0.820		
1228.07	1483.28	1688.44	0.829	0.781	0.751		
1179.70	1397.26	1572.15					
1117.52	1286.66	1422.63					
1034.61	1139.19	1223.27					
918.54	932.74	944.16					
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	0.999	0.995		
1296.97	1606.06	1854.55	0.997	0.985	0.973		
1266.76	1552.09	1781.48	0.964	0.937	0.917		
1228.07	1483.28	1688.44	0.913	0.875	0.843		
1179.70	1397.26	1572.15	0.859	0.802	0.765		
1117.52	1286.66	1422.63	0.787	0.716	0.674		
1034.61	1139.19	1223.27					
918.54	932.74	944.16					
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000		
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	0.998		
1266.76	1552.09	1781.48	0.977	0.953	0.951		
1228.07	1483.28	1688.44	0.944	0.911	0.889		
1179.70	1397.26	1572.15	0.895	0.843	0.811		
1117.52	1286.66	1422.63	0.829	0.758	0.717		
1034.61	1139.19	1223.27	0.744	0.653	0.601		
918.54	932.74	944.16					
782.11	782.11	782.11					
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000		
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000		
1266.76	1552.09	1781.48	0.977	0.966	0.961		
1228.07	1483.28	1688.44	0.947	0.924	0.910		
1179.70	1397.26	1572.15	0.910	0.870	0.840		
1117.52	1286.66	1422.63	0.861	0.797	0.759		
1034.61	1139.19	1223.27	0.788	0.695	0.643		
918.54	932.74	944.16	0.683	0.559	0.490		
782.11	782.11	782.11					
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000		
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000		
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000		
1296.97	1606.06	1854.55	1.000	1.000	1.000		
1266.76	1552.09	1781.48	0.977	0.965	0.953		
1217.01	1463.61	1661.86	0.935	0.898	0.874		
1150.69	1345.64	1502.37	0.867	0.806	0.770		
1057.83	1180.48	1279.09	0.770	0.685	0.630		
918.54	932.74	944.16					

CANTONEIRA SIMPLES



PROPRIEDADES SECCIONAIS PLENAS

B	t=R	ÁREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx cm ³	ix cm	Iy cm ⁴	Sy cm ³	iy cm	x cm	y cm	Ixo cm ⁴	imáx cm	Iyo cm ⁴	imín cm	Ixy cm ⁴
75	3.42	4.94	27.80	5.08	2.37	27.80	5.08	2.37	2.03	2.03	44.90	3.02	10.70	1.47	-17.098
75	2.60	3.79	21.54	3.91	2.38	21.54	3.91	2.38	1.99	1.99	34.70	3.03	8.37	1.45	-13.165
60	3.42	3.91	13.95	3.21	1.89	13.95	3.21	1.89	1.66	1.66	22.59	2.40	5.32	1.17	-8.639
60	2.66	3.08	11.10	2.53	1.90	11.10	2.53	1.90	1.62	1.62	17.91	2.41	4.28	1.16	-6.819
50	3.42	3.23	7.92	2.20	1.57	7.92	2.20	1.57	1.41	1.41	12.65	2.00	2.98	0.96	-4.934
50	2.66	2.54	6.32	1.74	1.56	6.32	1.74	1.56	1.37	1.37	10.23	2.01	2.42	0.97	-3.906
50	1.90	1.84	4.64	1.27	1.59	4.64	1.27	1.59	1.34	1.34	7.48	2.02	1.80	0.99	-2.339
50	1.52	1.48	3.76	1.02	1.59	3.76	1.02	1.59	1.32	1.32	6.05	2.02	1.47	0.99	-2.292

PROPRIEDADES SECCIONAIS EFETIVAS

σ_h (kgf/cm ²)	1297	1606	1855	$\sigma_b = 1297$		$\sigma_b = 1606$		$\sigma_b = 1855$							
				COMP.	TRACÃO	COMP.	TRACÃO	COMP.	TRACÃO						
FATOR DE COLUNA				Q	σ	M _{máx}	σ	M _{máx}	σ	M _{máx}					
0.798	0.709	0.492	0.426	1034.61	5260.19	1296.97	6594.07	1139.19	5791.90	1606.06	8165.96	1223.27	6219.35	1854.55	9428.91
0.610	0.492	0.426	0.310	863.08	3376.25	1296.97	5073.58	303.98	3376.25	1606.06	6282.71	863.08	3376.25	1854.55	7254.75
0.837	0.535	0.310	0.338	1150.03	3697.36	1296.97	4167.40	1345.04	4323.79	1606.06	5160.56	1502.27	4827.39	1854.55	5958.99
0.785	0.691	0.338	0.510	1018.03	2980.03	1296.97	3285.96	1109.70	2812.35	1606.06	4070.50	1183.39	2999.12	1854.55	4700.04
0.947	0.524	0.767	0.767	1228.07	2705.70	1296.97	2857.57	1483.28	3268.06	1606.06	3538.58	1688.44	3720.09	1854.55	4088.66
0.352	0.801	0.767	0.509	1117.52	1947.53	1296.97	2250.40	1235.55	2242.43	1606.06	2799.09	1422.53	2479.40	1854.55	3232.43
0.708	0.561	0.509	0.322	918.54	1162.77	1296.97	1841.82	932.74	1180.75	1606.06	2032.09	944.16	1195.20	1854.55	2347.65
0.480	0.372	0.322	0.322	782.11	758.67	1296.97	1524.44	702.11	758.67	1606.06	1640.97	782.11	758.67	1854.55	1893.82