

OTIMIZAÇÃO DE ESTRUTURAS

DE AÇO TRELIÇADAS PLANAS

COM VARIÁVEIS DISCRETAS

Mauro Prudente

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Estruturas

ORIENTADORA: Prof^a Dr^a Helena M. C. Carmo Antunes

São Carlos
1998

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Mauro Prudente

Título: Otimização de Estruturas de Aço Treliçadas Planas com Variáveis

—

Discretas.

Tese defendida e aprovada em 25 / 09 / 1998,

pela comissão julgadora:

Prof^a. Doutora Helena M. C. Carmo Antunes (Orientadora) / EESC-USP

Prof. Doutor Bernardo Horovitz / UFPE

Prof. Doutor Renato Bertolino Jr. / UNESP

Prof^a Doutora Cassilda Maria Ribeiro / ICMC-USP

Prof. Titular José Elias Laier / EESC-USP

Coordenador da Área

Presidente da CPG

*Ao meu pai,
meu exemplo de vida*

AGRADECIMENTOS

À Prof^ª Dr^ª Helena M.C.Carmo Antunes pela orientação segura, objetiva e confiante, e sobretudo pela paciência dispensada, mesmo nos seus períodos de maior sobrecarga.

Ao Prof^º Dr. Marcos N. Arenales e Prof^º Roberto M. Gonçalves pelas sugestões apresentadas durante a defesa do exame de qualificação.

À Delma, Cecília e Carolina, pela tolerância nos momentos em que ser bom esposo e pai, exigiriam uma maior disponibilidade de tempo.

Às instituições : Universidade Federal de Uberlândia e Escola de Engenharia de São Carlos, por possibilitarem a execução do presente trabalho.

Aos amigos e colegas pelo incentivo, em especial para Alceu Alves Júnior, Arquimedes Diógenes Ciloni, Francisco A. Romero Gesualdo, Joel Alves de Paula, Paulo César Primo Agostinho e Turíbio José da Silva pelos valiosos apoios técnicos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiv
RESUMO	xix
ABSTRACT	xx
1 INTRODUÇÃO	1
2 FORMULAÇÃO BÁSICA PARA O DIMENSIONAMENTO DE	
BARRAS TRACIONADAS E COMPRIMIDAS	10
2.1 Generalidades.....	10
2.2 Estados limites.....	12
2.3 Segurança nas estruturas.....	13
2.3.1 Combinações de ações.....	13
2.3.2 Resistências para estados limites últimos.....	16
2.4 Barras tracionadas.....	17
2.4.1 Estados limites últimos aplicáveis.....	17
2.4.2 Resistências nominais.....	17
2.4.3 Resistência de cálculo.....	18
2.4.4 Limitação do índice de esbeltez de barras tracionadas.....	18
2.5 Barras comprimidas.....	19
2.5.1 Estados limites últimos aplicáveis.....	19
2.5.2 Flambagem elástica.....	19
2.5.3 Carga de flambagem (barra bi-rotulada).....	20
2.5.4 Cargas de flambagem para outras condições de extremidades.....	22

2.5.5 Comprimentos de flambagem.....	23
2.5.6 Coeficientes de flambagem para barras isoladas.....	23
2.5.7 Coeficientes de flambagem para barras de treliça.....	
2.5.8 Flambagem com flexo-torção ou com torção.....	23
2.5.9 Flambagem inelástica (sem considerar a flambagem local).....	
	26
2.5.10 Determinação da tensão de flambagem elástica ou inelástica.....	
	29
2.5.11 Resistência nominal e de cálculo de barras comprimidas.....	33
2.5.12 Índice de esbeltez limite para barras comprimidas.....	34
3 PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO DE ESTRUTURAS TRELIÇADAS.....	
PLANAS USANDO VARIÁVEIS DISCRETAS.....	38
3.1 Generalidades.....	38
3.2 Formulação do problema.....	39
3.3 Solução corrente inicial.....	47
3.4 Determinação das restrições de comportamento para a solução.....	
corrente.....	48
3.4.1 Matriz de rigidez da estrutura treliçada para a solução corrente.....	48
3.4.2 Resolução de sistemas de equações segundo Choleski.....	52
3.4.3 Restrições de comportamento na solução corrente.....	54
3.5 Função objetivo penalizada na solução corrente.....	56
3.6 Funções objetivo penalizadas para as vizinhanças da solução corrente.....	
	60
3.6.1 Vizinhanças da solução corrente.....	60

3.6.2 Matriz de rigidez da treliça para as vizinhanças da solução corrente.....	60
3.6.3 Determinação da direção do gradiente inteiro.....	61
4 PROGRAMA DE OTIMIZAÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO.....	
TRELIÇADAS PLANAS.....	66
4.1 Generalidades.....	66
4.2 Fluxograma simplificado.....	67
4.3 Leitura de dados para o programa de otimização.....	74
4.3.1.Dados relativos ao problema de otimização.....	74
4.3.2 Dados relativos a análise da estrutura treliçada.....	75
4.3.3 Dados relativos aos carregamentos.....	75
4.3.4 Deslocamentos limites dos nós.....	76
4.3.5 Leitura de dados das tabelas (leitura interna do computador).....	77
4.4 Tabelas disponíveis de dados.....	77
5 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	80
5.1 Generalidades.....	80
5.2 Exemplo nº 01 (treliça isostática de 3 barras, usando seção tipo “L”).....	80
5.3 Exemplo nº 02 (treliça do exemplo anterior, usando perfis “U” laminados.....	
para 2 barras e “L” laminado para a outra).....	81
5.4 Exemplo nº 03 (treliça hiperestática de 3 barras, usando cantoneiras).....	82
5.5 Exemplo nº 04 (treliça de 13 barras usando seções “L” simples e duplas).....	83
5.6 Exemplo nº 05 (treliça do exemplo anterior com agrupamento de barras).....	84

5.7 Exemplo nº 06 (treliça do exemplo anterior com limitação de deslocamento no nó central inferior).....	85
5.8 Exemplo nº 07 (treliça de 73 barras usando seções “L” simples e duplas).....	86
5.9 Exemplo nº 08 (treliça de 57 barras usando seções “L” simples e duplas).....	89
5.10 Exemplo nº 09 (treliça do exemplo anterior sem levar em conta os efeitos..... da flexo-torção).....	93
5.11 Exemplo nº 10 [treliça (viga mestra) de 61 barras e 32 nós].....	95
5.12 Exemplo nº 11 (treliça do exemplo anterior com travejamento secundário para.... as diagonais).....	99
5.13 Exemplo nº 12 (treliça de uma cobertura de arquibancada).....	101
6 CONCLUSÕES	107
ANEXO A Programa de otimização de estruturas de aço treliçadas planas.....	110
A.1 Generalidades.....	110
A.2 Listagem do programa de otimização.....	110
ANEXO B Programas para geração, leitura e correção de tabelas de dados.....	220
B.1 Generalidades.....	220
B.2 Listagem do programa para geração de tabelas de dados, de seções formadas..... por perfis simples ou múltiplos.....	221
B.3 Listagem do programa para leitura com possibilidade de correção, de tabelas.....	

de dados de seções, geradas e arquivadas em disco.....	229
B.4 Listagem do programa para geração, leitura e/ou correção de arquivos em.....	
disco com dados necessários ao cálculo do coeficiente de flambagem.....	
local de elementos enrijecidos.....	252
ANEXO C Programas para análise de resultados.....	258
C.1 Generalidades.....	258
C.2 Listagem do programa para cálculo de esforços e deslocamentos em	
treliças.....	
planas.....	259
C.3 Listagem do programa para determinação de resistências de barras.....	
comprimidas.....	292
ANEXO D Tabelas de dados.....	303
D.1 Generalidades.....	303
D.2 Cálculo aproximado da constante de empenamento (C_w), para composição.....	
de dois perfis “U” laminados.....	304
D.3 Tabelas de dados para o programa de otimização.....	311
BIBLIOGRAFIA	399

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Flambagem de uma barra articulada nas extremidades.....	
20	
FIGURA 02 - Cargas de flambagem em função das condições de extremidades.....	
22	
FIGURA 03 - Coeficientes de flambagem em função das condições de.....	
extremidades.....	23
FIGURA 04 - Perfis monossimétricos, posição do centro de torção.....	25
FIGURA 05 - Perfis com dupla simetria, posição do centro de torção.....	26
FIGURA 06 - Diagrama tensão x deformação para hipóteses pré-estabelecidas.....	
27	
FIGURA 07 - Correção da fórmula de Euler segundo Engesser.....	28
FIGURA 08 - Elementos enrijecidos e não enrijecidos.....	30
FIGURA 09 - Iterações no método do gradiente.....	40
FIGURA 10 - Coordenadas deslocamento no sistema local de uma barra de.....	
treliça plana.....	50
FIGURA 11 - Coordenadas deslocamento no sistema global de uma dada treliça....	
50	
FIGURA 12 - Mudança de sistema de coordenadas.....	51
FIGURA 13 - Regiões factíveis e infactíveis em uma otimização genérica	
com.....	
duas variáveis de projeto.....	61
FIGURA 14 - Treliça plana de 3 barras e 3 nós dos exemplos 01, 02 e 03.....	81
FIGURA 15 - Evolução da busca da solução ótima para o exemplo 01.....	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Coeficientes de ponderação para as ações.....	15
TABELA 02 - Fatores de combinação de ações.....	16
TABELA 03 - Coeficientes de resistência para barras tracionadas.....	18
TABELA 04 - Coeficientes de flambagem para barras de treliça segundo ABNT (1986).....	
TABELA 05 - Classificação de seções e curvas de flambagem.....	35
TABELA 06 - Valores limites de b/t	37
TABELA 07 - Tabelas disponíveis de dados.....	79
TABELA 08 - Resultados finais para o exemplo 01.....	81
TABELA 09 - Resultados finais para o exemplo 02.....	82
TABELA 10 - Resultados finais para exemplo 03.....	82
TABELA 11 - Agrupamento de barras para o exemplo 04.....	83
TABELA 12 - Resultados finais para o exemplo 04.....	84
TABELA 13 - Resultados finais para o exemplo 05.....	85
TABELA 14 - Resultados finais para o exemplo 06.....	86
TABELA 15 - Agrupamento de barras para o exemplo 07.....	87
TABELA 16 - Resultados finais para o exemplo 07.....	89
TABELA 17 - Ações atuantes na treliça do exemplo 08 e 09.....	91
TABELA 18 - Agrupamento de barras para os exemplos 08 e 09.....	92
TABELA 19 - Resultados finais para o exemplo 08.....	92
TABELA 20 - Resultados finais para o exemplo 09.....	94
TABELA 21 - Agrupamento de barras para os exemplos 10 e 11.....	95
TABELA 22 - Ações atuantes na treliça dos exemplos 10 e 11.....	97

TABELA 23 - Resultados finais para o exemplo 10.....	98
TABELA 24 - Resultados finais para o exemplo 11.....	100
TABELA 25 - Agrupamento de barras para o exemplo 12.....	103
TABELA 26 - Esforços de cálculo nas barras da treliça do exemplo 12.....	104
TABELA 27 - Resultados finais para o exemplo 12.....	105

LISTA DE SÍMBOLOS

A	- Área da seção transversal de uma barra.
A_{ef}	- Área efetiva.
A_g	- Área bruta da seção transversal de uma barra.
a	- Redutor do parâmetro da função penalizada.
B_j	- Valor da área setorial em um ponto j .
b	- Largura de um elemento componente da seção transversal da barra.
b_{ef}	- Largura efetiva de um elemento.
c	- Centro de torção de uma seção.
C_t	- Coeficiente de redução usado no cálculo da área líquida efetiva.
C_x e C_y	- Cossenos diretores de uma barra em relação aos eixos do sistema global.
C_w	- Constante de empenamento da seção transversal.
D	- Polo para a determinação do diagrama de área setorial.
ds	- comprimento infinitesimal ao longo da linha de centro de um elemento.
$DR(XB)$	- Vetor gradiente relativo da função objetivo no ponto XB .
E	- Ação excepcional ou Módulo de elasticidade.
F_c	- Tensão de flambagem elástica ou inelástica.
F_e	- Tensão crítica de flambagem elástica.
F_{ex}	- Tensão de flambagem elástica com flexão pura relativa ao eixo X .
F_{ey}	- Tensão de flambagem elástica com flexão pura relativa ao eixo Y .
F_{ez}	- Tensão de flambagem elástica com torção.

$\{F\}^i$	- Vetor das ações nos nós da treliça para o carregamento i .
f_y	- Tensão limite de escoamento no ensaio de tração.
G	- Ação permanente ou módulo transversal de elasticidade.
g	- Centro de gravidade de uma seção.
$G(XB)$	- Vetor gradiente da função objetivo no ponto XB .
$GM(XB)$	- Vetor gradiente inteiro em XB .
h	- Altura de um perfil tipo “U”.
h_0	- Distância de centro a centro das mesas de um perfil tipo “U”.
I	- Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo da flexão.
I_t	- Momento de inércia à torção da seção transversal
$I(X)$	- Função de penalização inversamente proporcional ao valor das restrições de comportamento no ponto X .
K	- Coeficiente de flambagem.
L	- Comprimento de uma barra.
l	- Comprimento de solda.
L_{fl}	- Comprimento de flambagem de uma barra em relação a um eixo.
M	- Momento fletor em um ponto da barra.
N_d	- Esforço de cálculo de tração ou compressão em uma barra.
O	- Origem para a determinação do diagrama de área setorial.
P	- Força normal de compressão em uma barra.
P_{fl}	- Carga de flambagem de uma barra.
$P(X,r)$	- Função objetivo penalizada.
Q	- Coeficiente que leva em conta a flambagem local dos elementos

- componentes da seção = $Q_s \cdot Q_a$.
- Q_a - Coeficiente que leva em conta a flambagem local de elementos enrijecidos.
- Q_s - Coeficiente que leva em conta a flambagem de elementos não enrijecidos.
- Q_1 - Ação variável predominante para o efeito analisado.
- Q_j - Demais ações variáveis.
- R - Raio de curvatura da elástica de uma barra deformada.
- $[R]$ - Matriz de rigidez de uma treliça.
- R_d - Resistência de cálculo.
- R_n - Resistência nominal.
- r - Raio de giração de uma seção em relação a um eixo, ou parâmetro da função de penalidade.
- $[S_b]$ - Matriz de rigidez de uma barra de treliça no sistema local de coordenadas.
- $[S_g]$ - Matriz de rigidez de uma barra de treliça no sistema global de coordenadas.
- $S(XB)$ - Vetor gradiente normalizado no ponto XB.
- t - Espessura de um elemento componente da seção.
- t_f - Espessura da mesa de um perfil tipo “U”.
- t_0 - Espessura da alma de um perfil tipo “U”.
- $\{U\}^i$ - Vetor dos deslocamentos dos nós para o carregamento i .
- X e Y - Eixos do sistema global de coordenadas da estrutura treliçada.
- x^k - Vetor que representa o k ésimo ponto em uma direção determinada

pelo gradiente da função objetivo.

- x_i - Número da seção da barra i .
- \underline{x}_i - Limite inferior para o número da seção da barra i .
- \overline{x}_i - Limite superior para o número da seção da barra i .
- XB - Vetor solução.
- Xb e Yb - Eixos de uma barra (sistema local de coordenadas).
- x_0 e y_0 - Coordenadas do centro de torção em relação aos eixos principais de inércia.
- XT - Ponto discreto gerado a partir de XB , na direção do gradiente inteiro.
- $Z(X)$ - Função objetivo para o ponto X .
- α - Parâmetro que leva em conta o efeito das tensões residuais na flambagem.
- α_k - Coeficiente de multiplicação do vetor gradiente para obtenção de pontos ao longo desta direção.
- ϕ - Coeficiente de resistência.
- ϕ_c - Coeficiente de resistência para barras comprimidas.
- ϕ_t - Coeficiente de resistência para barras tracionadas.
- $\phi_i(X)$ - i ésima restrição de comportamento para o vetor X .
- γ_g - Coeficiente de ponderação para ação permanente.
- γ_q - Coeficiente de ponderação para a ação variável i .
- λ - Índice de esbeltez, ou número da posição dos pontos discretos (XT) na direção $GM(XB)$, começando em XB .
- ν - Coeficiente de Poisson.

$\psi_j(X)$	- J ésima restrição de igualdade para o vetor X .
ψq_j	- Fator de combinação para a ação variável j .
σ	- Tensão normal.
σ_p	- Tensão limite de proporcionalidade.
$\nabla Z(X^k)$	- Gradiente da função objetivo no ponto X^k .

RESUMO

PRUDENTE, M. (1998). *Otimização de estruturas de aço treliçadas planas com variáveis discretas*. São Carlos, 1998. 402p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Apresenta-se neste trabalho um processo de busca da solução de mínimo peso, para estruturas de aço treliçadas planas utilizando-se seções formadas por perfis comerciais comuns, dimensionadas segundo a norma brasileira para projeto e execução de estruturas de aço de edifícios. Como base do processo de otimização foi utilizado o método do gradiente inteiro, alterando-se alguns critérios, no sentido de melhorar o desempenho e levar em conta a relação não linear entre as características geométricas dos perfis. São abordados os conceitos matemáticos básicos envolvidos no processo de otimização, os de análise de estruturas treliçadas planas, bem como a formulação para o dimensionamento de barras sujeitas a tração ou compressão.

São apresentadas ainda as listagens dos programas envolvidos no processo e também exemplos de aplicação para demonstrar a eficácia dos procedimentos utilizados.

Palavras-chave: otimização estrutural; treliças planas; estruturas de aço.

ABSTRACT

PRUDENTE, M. *Optimization of two-dimensional trusses composed by steel available sections*. São Carlos, 1998. 402p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work presents a process to find a least weight solution for two-dimensional trusses composed of available steel sections, according to brazilian code for design and constructions of steel buildings structures. The optimization process is based on the method of integer gradient directions. Some modifications were introduced in order to improve the algorithm and take into account the non-linear relationship between geometric characteristics for steel cross-section. It is also presented the basic concepts of mathematics optimization to design two-dimensional trusses, as well as the formulation for designing members in tension or compression. The program listing used in this process is also presented, as well as some examples, to demonstrate the efficacy of the process.

Keywords: Structural optimization; two-dimensional trusses; steel structures

1 INTRODUÇÃO

A determinação de uma estrutura que atenda as limitações de deslocamentos e solicitações nas barras e que seja a mais econômica possível, é uma necessidade do engenheiro projetista.

Os processos que buscam atingir este objetivo são conhecidos no meio técnico como otimização estrutural. Neles, segundo IMAI & SCHMIT 1981, relativamente à estrutura, podem ser analisados : a topologia, a configuração, o tipo de material e o dimensionamento dos elementos estruturais. A topologia e a configuração se referem a forma da estrutura, ou seja, qual o melhor tipo de estrutura a ser usado e qual a melhor disposição das barras, nós e apoios, para determinadas solicitações na estrutura. Já o tipo de material a ser usado interfere diretamente nos métodos de cálculo a serem empregados. O dimensionamento dos elementos estruturais está relacionado à determinação das características geométricas necessárias.

Teoricamente, seria mais correto otimizar uma estrutura (determinar a estrutura de mínimo custo) analisando todos os fatores acima mencionados, entretanto, é praticamente impossível trabalhar com todos eles ao mesmo tempo.

É mais racional se pensar em análise de fatores isolados, ou seja, fixar-se três deles e analisar-se o outro. No presente trabalho serão fixados : o esquema estático, a configuração da estrutura e o material a ser usado nos elementos estruturais. A estrutura assim imposta será dimensionada, no sentido de se determinar as características geométricas das seções transversais dos referidos elementos estruturais, de forma a se obter o mínimo custo da mesma. Entretanto, nada impede que sejam feitas diversas otimizações, variando-se fatores pré-fixados para cada uma delas, a fim de buscar possíveis situações também viáveis e mais econômicas.

Em estruturas de aço isostáticas, a determinação das características geométricas das seções transversais das barras, ou seja, a determinação dos perfis a serem utilizados nestas barras, de modo a resistirem determinadas ações na estrutura, é relativamente simples, uma vez que os esforços em cada uma delas independem de suas características geométricas. Já nas estruturas hiperestáticas estes esforços variarão conforme são alteradas estas características. Assim, um projeto, neste último caso, normalmente é feito a partir de uma pré-solução, confrontando-se resistências com as solicitações em cada barra da estrutura pré-solução. Daí alterando-se seções de modo que estas sejam satisfatórias, encontra-se uma nova possível solução. Repetindo-se o processo sucessivamente, chega-se a uma solução factível, mas não necessariamente ótima. Desta forma, dependendo da complexidade da estrutura analisada, torna-se bastante oneroso encontrar a distribuição de perfis ideal, ou seja, aquela que resiste aos esforços nela atuantes, e que seja a mais econômica.

Com o advento e aprimoramento dos computadores, diversos pesquisadores se empenharam em resolver o problema da determinação da estrutura ótima (estrutura de mínimo custo). Este problema, pelas próprias características do

processo, é mais comumente estudado para estruturas de aço, e tendo em vista as dificuldades de se levar em conta todos os fatores que influenciam no custo destas (tais como: preço do quilo de material para cada tipo de seção, maior ou menor dificuldade de execução, sistemas de ligações, etc.), é usual se comparar o custo das estruturas pelo fator preponderante, que é o peso (ou o volume) do material metálico a ser empregado nas barras das mesmas.

No estudo da otimização de estruturas, considerando como variáveis de projeto as características geométricas da seção utilizada em cada barra, duas grandes linhas de pesquisa se delinearão: as que tratam as variáveis de projeto como variáveis contínuas e as que tratam como variáveis discretas.

A primeira linha considera que uma variável de projeto possa assumir qualquer valor dentro de um limite superior e um inferior, podendo-se citar: MORRIS (1982), CASSIS (1983), FLEURY & SCHMIT (1985), SALGADO & ANTUNES (1987), ALVARENGA & ANTUNES (1989),), CAPSONI (1992), KHOT et al. (1993). Esta linha, de expressivo cunho teórico, tem a sua utilização limitada em casos práticos, uma vez que as variáveis de projeto devem ser usadas dentro de uma gama de perfis oferecidos pela indústria. Assim, num projeto ótimo determinado por estes processos as variáveis devem ser aproximadas para valores encontrados em perfis disponíveis, obtendo-se uma solução diferente da ótima, as vezes até ineficaz.

A segunda linha considera as disponibilidades de perfis no mercado, portanto já é encontrada a solução final, ou de execução, sem necessidade de adaptações de seções como acontece nos processos de otimização contínua.

Com o objetivo de propor soluções práticas para estruturas práticas, o presente trabalho se concentra nesta última linha, na qual diversos outros foram apresentados: CELLA & LOGCHER (1971), REINSCHMIDT (1971), LIEBMAN et al. (1981), SEPÚLVEDA & CASSIS (1986).

Em CELLA & LOGCHER (1971) é apresentado um algoritmo que baseia a busca da estrutura de mínimo peso dentro de “hipercubos” formados pelas distâncias do ponto considerado (solução corrente) até o ponto de violação de alguma restrição em cada eixo, ou seja, em cada variável de projeto. Desta forma existe uma combinação fatorial de possíveis soluções dentro de um “hipercubo” que são analisadas levando em conta uma proporcionalidade entre resistências e áreas, ou seja, é suposto que uma combinação de perfis será uma solução factível se conseguida de outra factível por incremento de área em alguma variável de projeto. E uma combinação será infactível, se conseguida de outra infactível por decréscimo de área também de alguma variável de projeto. Assim, no algoritmo apresentado, consegue-se uma redução no número de análises a serem feitas. Uma vez determinado o ponto de mínimo peso da estrutura dentro do “hipercubo”, são exploradas as regiões adjacentes ao “espaço solução”, na busca de um mínimo local fora das superfícies de restrições. E a partir daí gerar novos “hipercubos”, recomeçando a busca de novos mínimos locais. O algoritmo termina quando dois sucessivos mínimos coincidem.

Este algoritmo tornar-se-ia bastante oneroso para o presente trabalho, uma vez que não seria possível usar o artifício de redução de análises usando os perfis comerciais existentes no mercado brasileiro e dimensionamento segundo ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT 1986), pois se

numa solução factível, a iésima barra possui uma determinada área, devido a não proporcionalidade entre áreas e raios de giração de boa parte dos perfis existentes em uma mesma tabela, adotar um novo perfil com área maior para esta barra, não significa sempre aumentar sua resistência, assim como adotar um perfil com área menor não significa reduzir sua resistência. Este é mais um dos problemas encontrados para a proposição de um algoritmo prático para o dimensionamento ótimo.

O algoritmo apresentado em REINSCHMIDT (1971), prevê a determinação de uma solução pelo método contínuo por um programa Simplex, usando o projeto plástico. Levando em conta a discretização das variáveis de projeto, a solução encontrada pelo método contínuo será o limite inferior em termos de peso da estrutura. “Como a solução arredondada para cima é também factível e realizável, isto é, pode ser construída com seções utilizáveis, ela é um limite superior do peso estrutural. A diferença entre os dois limites é uma estimativa do máximo erro, uma vez que existe uma evidência geral de que a solução arredondada não é a solução de mínimo peso” (REINSCHMIDT 1971,p.134). Aqui também é feita uma análise de soluções que são uma combinação fatorial das variáveis de projeto. São assumidos valores para algumas seções (não todas), no mínimo uma é deixada livre para variar, e o algoritmo termina quando uma solução sem membros assumidos é encontrada.

Para treliças, no método contínuo, a fim de reduzir o número de variáveis de projeto, é comum transformar o raio de giração de uma determinada seção numa função de sua área. Como não existe uma relação explícita entre estas características geométricas para os perfis comerciais comuns, é possível encontrar soluções factíveis abaixo do limite inferior assim como infactíveis acima do limite superior.

Em SEPÚLVEDA & CASSIS (1986), os autores trabalham com variáveis, que tanto podem ser contínuas como discretas. Assim, tem-se dois grupos: um de variáveis contínuas e outro de variáveis discretas. Ali são definidas combinações das variáveis contínuas com os possíveis vetores formados pelas variáveis discretas. Mais uma vez a teoria esbarra na praticidade, tanto nas variáveis contínuas como nas discretas, pelos problemas já mencionados.

O trabalho de LIEBMAN et al. (1981) usa um algoritmo baseado no método do gradiente ou da máxima descida na busca do projeto ótimo. Assim, a partir de uma solução inicial, são analisadas as funções objetivo penalizadas, da vizinhança superior e da inferior de cada variável de projeto, entendendo aqui como variável de projeto o número da seção nas tabelas de dados pré-fixadas para cada barra. A partir daí, por diferenças finitas, é montado o vetor gradiente ou direção de máxima descida, em seguida montado o vetor gradiente inteiro, que é a direção onde será pesquisado o ponto de mínimo peso nesta iteração. A próxima iteração é feita da mesma maneira, mas reduzindo a penalização na função objetivo. O algoritmo termina quando a função objetivo penalizada for praticamente igual a função objetivo e não se encontrar na direção do gradiente inteiro solução melhor em termos de peso.

Com a idéia de desenvolver um trabalho visando ao máximo a utilização prática, optou-se por um procedimento baseado em LIEBMAN et al. (1981), com modificações necessárias para se desviar dos problemas apresentados e serem atendidos os critérios da norma brasileira ABNT (1986). É interessante frisar que não se tem notícia na literatura atual de trabalhos de otimização de estruturas segundo esta norma técnica. Em todos os trabalhos pesquisados, até mesmo por uma

dificuldade menor, usa-se sempre um dimensionamento baseado no método das tensões admissíveis.

As modificações acima referenciadas são principalmente: a análise das vizinhanças superiores e inferiores da solução corrente, onde serão considerados como tal, relativamente a cada barra ou grupo de barras, a primeira seção factível (se esta existir), acima e abaixo respectivamente, e também a busca de uma solução melhor nas mesmas (considerando que estas já terão sido estudadas para a determinação do vetor gradiente). Esta alteração é necessária em função da distorção das direções de descida por uma maior heterogeneidade, em alguns pontos das tabelas, nas variações dos raios de giração relativamente às áreas das seções transversais.

Considerando ainda a praticidade, um outro problema que surgiu foi a dúvida em se dimensionar a estrutura treliçada com nós articulados ou rígidos. Teoricamente, numa estrutura treliçada comum os nós são considerados como articulações perfeitas e, uma vez que as ações externas são consideradas aplicadas diretamente sobre os mesmos, o único esforço que aparece em uma barra da referida treliça é o esforço axial de tração ou compressão.

Na prática, devido a rigidez oferecida à rotação dos nós proveniente da fixação das barras às chapas de nó (através de solda ou com mais de um parafuso) e em função da deformação pelos esforços axiais, aparecerão na treliça deformada esforços de segunda ordem [veja-se: PARCEL & MOORMAN (1955), TIMOSHENKO & YOUNG (1978), WANG (1983), COSTA & TAGUTI (1988)], dos quais os mais importantes são os momentos fletores nas extremidades das barras.

Assim sendo, o dimensionamento de uma barra de treliça nestas condições deveria ser feito levando-se em conta também estes esforços, ou seja, deveria ser feito um dimensionamento à flexão composta.

Entretanto, como uma otimização envolvendo flexão composta, exigiria um maior número de dados necessários e muitos cálculos adicionais, e considerando ainda que: “a maioria das estruturas sejam elas reticuladas ou laminares, pode ser satisfatoriamente resolvida no âmbito da teoria de primeira ordem” (COSTA & TAGUTI 1988, p.878), optou-se por este caminho.

A opção se deu também em função de estudos realizados em treliças reais calculadas como pórticos. O primeiro problema que ocorre nestes estudos é quantificar a rigidez dos nós, daí surge outro problema que é a determinação dos comprimentos de flambagem de cada barra, que serão menores levando-se em conta esta rigidez. Um terceiro problema surge quando são usados perfis tipo “L” para as barras. Não é prevista pela ABNT (1986), a utilização deste tipo de perfil para barras fletidas; sendo assim, a primeira providência a se tomar, caso se opte por uma otimização que se leve em conta os esforços de segunda ordem e segundo ABNT (1986), seria a exclusão de um dos tipos de perfis mais utilizados na prática em barras de treliças.

Continuando o estudo, mesmo contrariando a norma, determinando os comprimentos de flambagem de forma aproximada utilizando o ábaco apresentado em BRESLER (1968), (tratando a treliça como pórtico formado por vigas e pilares), e ainda, considerando como se os perfis tipo “L” fossem uma seção “T” para efeito de verificação a flexão (pior situação prevista pela ABNT (1986)), chega-se a conclusão, que nos casos usuais analisados, as barras das treliças dimensionadas

como se os nós fossem articulados resistem aos esforços provenientes da treliça considerada de nós rígidos. Isto se deve principalmente à redução do comprimento de flambagem das barras, mais notadamente nas diagonais e montantes. Para os banzos, apesar da redução ser menor, em função da menor rigidez das barras concorrentes aos mesmos, em geral uma ou outra barra estão próximas do limite de resistência, uma vez que, por facilidade de construção, as barras dos banzos são agrupadas e verificadas para a situação mais crítica; além disso, o efeito dos momentos na flexão composta nestas barras é pequeno, em função de suas inércias serem maiores que das demais. Desta forma, uma pequena redução no comprimento de flambagem eleva a resistência da barra à compressão, o que é suficiente para que a mesma resista também aos momentos fletores nela atuantes.

Alguns pesquisadores afirmam que o efeito do momento fletor para algumas barras de treliça é muito grande, isto porque seu termo de comparação é a relação do efeito devido ao momento com o efeito devido a força normal. Esta relação nem sempre traduz a realidade em termos de resistência. Por exemplo, para uma barra com esforço normal próximo de zero, a relação tenderia para infinito, o que daria a falsa impressão de falta de resistência da barra.

Vale ressaltar também, que há uma tendência na prática de se impor que os ângulos entre as barras sejam superiores a 30° , o que reduz bastante o erro de cálculo dos esforços, sem levar em conta o efeito de 2ª ordem COSTA & TAGUTI (1988), e ainda que, a limitação do índice de esbeltez das barras de treliça pela ABNT (1986), contribui para que estes efeitos sejam menos sentidos.

A otimização no presente trabalho limitar-se-a a estruturas treliçadas planas. A colocação de pilares de aço de alma cheia, como parte integrante da mesma,

envolverá dimensionamentos à flexão composta e deverá ser incluída em estudos posteriores

2 FORMULAÇÃO BÁSICA PARA DIMENSIONAMENTO DE BARRAS TRACIONADAS E COMPRIMIDAS.

2.1 GENERALIDADES

Num processo de otimização estrutural é necessário o cálculo de restrições de comportamento, que nada mais são que as limitações impostas ao comportamento da estrutura, ou seja, para cada barra existe um limite em termos de solicitação, que é a sua resistência para aquele tipo de solicitação. Podem existir ainda limitações em termos de deslocamento em pontos específicos da estrutura. Ambos os tipos de limitações são, de maneira geral, fornecidas por normas criadas com esta finalidade.

Com relação à verificação da resistência da estrutura, basicamente existem três métodos :

a - Método das tensões admissíveis:

Neste método, compara-se as solicitações nominais com resistências nominais multiplicadas por coeficientes de segurança menores que 1, no sentido de reduzi-las, afim de se levar em conta todas as incertezas de cálculo, tanto relativas aos efeitos das ações quanto relativas às resistências propriamente ditas. O nome “método das tensões admissíveis” provém do fato de se usarem como efeitos das ações as tensões máximas atuantes nos elementos estruturais, que são comparadas com tensões admissíveis (resistências de cálculo). Talvez por comodidade, ou mesmo porque este era o método mais utilizado até poucas décadas atrás, os trabalhos apresentados sobre otimização estrutural usam invariavelmente o referido método.

b - Método dos coeficientes das ações:

Relativamente ao método anterior, aqui há uma inversão na posição dos coeficientes de segurança, ou seja, as incertezas relativas aos efeitos das ações e as relativas a resistência, são colocados em coeficientes ($> 1,0$), específicos para cada tipo de ação, no sentido de se obter uma solicitação majorada (solicitação de cálculo), a qual será comparada à resistência nominal.

c - Método dos estados limites:

Neste método, as incertezas relativas aos efeitos das ações são levadas em conta através de coeficientes específicos para cada tipo de ação, no sentido de majorar as solicitações no elemento estrutural analisado. As relativas às resistências são levadas em conta por coeficientes usados no sentido de minorá-las. Assim são

obtidas as chamadas solicitações e resistências de cálculo, as quais são comparadas entre si, devendo as solicitações de cálculo serem menores que as resistências de cálculo. Por levar em conta separadamente as incertezas mencionadas, e ainda considerar coeficientes específicos para cada tipo de ação, é possível obter no referido método, índices de segurança mais homogêneos para diversos tipos de estruturas com seus diversos carregamentos.

Acompanhando a tendência mundial, foi implantada no Brasil a partir de 1986 a Norma Brasileira 8800, ABNT (1986), para o projeto e execução de estruturas de aço de edifícios, usando o método dos estados limites.

O presente trabalho se baseará na referida norma, e nos itens seguintes serão explicitadas algumas definições e a formulação básica para o dimensionamento de barras sujeitas a tração ou compressão segundo a mesma.

2.2 ESTADOS LIMITES

“São estados a partir dos quais uma estrutura não mais satisfaz a finalidade para a qual foi projetada” (ABNT, 1986, p.2). Os estados limites se dividem em dois:

a- Estados limites últimos:

“Estados correspondentes à ruína de toda a estrutura, ou parte da mesma, por ruptura, deformações plásticas excessivas, ou por instabilidade” (ABNT, 1986, p.3).

b- Estados limites de utilização:

“Estados que, pela sua ocorrência, repetição ou duração, provocam efeitos incompatíveis com as condições de uso da estrutura, tais como: deslocamentos excessivos, vibrações e deformações permanentes” (ABNT, 1986, p.3).

2.3 SEGURANÇA NAS ESTRUTURAS

2.3.1 Combinações de ações

A NBR 8800, ABNT (1986), dá duas expressões para combinações de ações:

- Combinações normais e combinações aplicáveis a etapas

construtivas:

$$\sum \gamma g \cdot G + \gamma q_1 \cdot Q_1 + \sum_{j=2}^n \gamma q_j \cdot \psi_j \cdot Q_j \quad (01)$$

- Combinações excepcionais:

$$\sum \gamma g \cdot G + E + \sum \gamma q \cdot \psi \cdot Q \quad (02)$$

onde:

γ_g = coeficientes de ponderação para as ações permanentes.

G = ações permanentes.

Q = ações variáveis em geral (sobrecargas, vento, variações de temperatura, cargas móveis de equipamentos, etc...).

γ_q = coeficientes de ponderação para as ações variáveis.

Q_1 = ação variável predominante para o efeito analisado.

Q_j = demais ações variáveis.

E = ação excepcional.

ψ = fator de combinação.

TABELA 01 - Coeficientes de ponderação para as ações.

COMBINAÇÕES	AÇÕES PERMANENTES		AÇÕES VARIÁVEIS			
	de grande variabilidade	de pequena variabilidade	recalques diferenciados	ações decorrentes do uso	variações de temperatura	demais ações variáveis
	γ_g (a)	γ_g (a,b)	γ_q	γ_q (d)	γ_q (c)	γ_q
Normais	1.4 (0.9)	1.3 (1.0)	1.2	1.5	1.2	1.4
Durante a construção	1.3 (0.9)	1.2 (1.0)	1.2	1.3	1.0	1.2
Excepcionais	1.2 (0.9)	1.1 (1.0)	0	1.1	0	1.0

Obs.:

- a- Os valores entre parênteses devem ser usados quando as ações permanentes reduzem o efeito analisado; ações variáveis e excepcionais que também reduzem o efeito analisado simplesmente não entram nas combinações usadas para a determinação deste efeito.
- b- São consideradas ações permanentes de pequena variabilidade os pesos próprios de elementos metálicos e pré-fabricados, com controle rigoroso de peso. Excluem-se os revestimentos feitos in-loco destes elementos.
- c- A variação de temperatura citada não inclui a gerada por equipamentos; esta deve ser considerada como ação decorrente do uso da edificação.
- d- Ações decorrentes do uso da edificação incluem: sobrecargas em pisos e em coberturas, cargas de pontes rolantes, cargas de outros

equipamentos, etc...

TABELA 02 - Fatores de combinação de ações.

AÇÕES	ψ
Sobrecargas em pisos de bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens; conteúdo de silos e reservatórios.	0.75
Cargas de equipamentos incluindo pontes-rolantes, e sobrecargas em pisos diferentes dos anteriores.	0.65
Pressão dinâmica do vento	0.6
Variações de temperatura	0.6

Obs.:

- Os coeficientes ψ devem ser tomados iguais a 1.0 para as ações variáveis não citadas nesta tabela e também para as ações nela citadas, quando forem de mesma natureza da ação variável predominante Q_1 . Todas as ações variáveis decorrentes do uso de uma edificação (sobrecargas em pisos e em coberturas, cargas de pontes rolantes e de outros equipamentos), por exemplo, são consideradas de mesma natureza.
- Na verificação de estados limites de utilização é usual calcular os efeitos com base nas ações sem coeficientes de segurança (ações nominais).

2.3.2 Resistências para estados limites últimos

$$R_d = \phi \cdot R_n \quad (03)$$

onde:

R_d = resistência de cálculo

R_n = resistência nominal

ϕ = coeficiente de resistência ($\phi < 1$)

Os coeficientes de resistência serão apresentados para cada caso, juntamente com as resistências nominais correspondentes a cada tipo de estado limite.

2.4 BARRAS TRACIONADAS

2.4.1 Estados limites últimos aplicáveis:

- ruptura da seção líquida efetiva;
- escoamento da seção bruta (ou da barra como um todo);

2.4.2 Resistências nominais

$$R_n = A_g \cdot f_y = P_y = \text{carga de escoamento da seção bruta.} \quad (04)$$

$$R_n = A_e \cdot f_u = P_u = \text{carga de ruptura da seção líquida efetiva.} \quad (05)$$

onde:

A_g = área bruta da seção (sem desconto de furos).

A_e = menor área líquida efetiva = $C_t \cdot A_n$.

A_n = Área líquida.

C_t = Coeficiente que leva em conta a redução de resistência devido a perturbação do fluxo de tensões, quando a solicitação de tração for transmitida a um perfil por apenas alguns elementos de sua seção.

$C_t = 1.0$ - para regiões afastadas daquelas onde são feitas as ligações que introduzem a força de tração na barra; e para região de uma ligação (soldada ou parafusada) que introduz a força de tração na barra, caso esta ligação seja feita através de todos os componentes da seção (por exemplo : as duas abas de uma cantoneira, as duas mesas e mais a alma de um perfil “I”, etc...).

$C_t = 0.9$ - para perfis “I” e “H” cujas mesas tenham uma largura não inferior a $2/3$ da altura do perfil e perfis “T” cortados desses perfis, com ligações nas mesas tendo, no caso de ligações parafusadas, um mínimo de três parafusos por linha de furação na direção da solicitação.

$C_t = 0.85$ - para perfis “I” e “H” que não atendam os requisitos anteriores, perfis “T” cortados desses perfis, incluindo barras compostas, tendo, no caso de ligações parafusadas, um mínimo de três parafusos por linha de furação na direção da solicitação.

$C_t = 0.75$ - para todas as barras com ligações parafusadas, tendo somente dois parafusos por linha de furação na direção da solicitação.

Quando a carga for transmitida a uma chapa por soldas longitudinais ao longo de ambas as bordas, na extremidade da chapa, o comprimento das soldas não pode ser inferior à largura da chapa e os valores de C_t são:

$$\begin{array}{lll} \text{Para :} & l \geq 2b & \Rightarrow C_t = 1.0 \\ & 2b > l \geq 1.5b & \Rightarrow C_t = 0.87 \\ & 1.5b > l \geq b & \Rightarrow C_t = 0.75 \end{array}$$

com :

l = comprimento da solda.

b = largura da chapa (distância entre soldas).

f_y = limite de escoamento.

f_u = limite de resistência.

2.4.3 Resistência de cálculo

É o menor dos valores, baseados nos estados limites anteriores, determinados por:

$$R_d = \phi_t \cdot R_n \quad (06)$$

TABELA 03 - Coeficientes de resistência para barras tracionadas.

ESTADO LIMITE	ϕ_t
Escoamento da seção líquida efetiva	0.9
Ruptura da seção líquida efetiva	0.75

2.4.4 Limitação do índice de esbeltez de barras tracionadas

$$\lambda = \frac{L_{fl}}{r} = \text{índice de esbeltez} \quad (07)$$

onde:

L_{fl} = comprimento de flambagem = $K \cdot L$

r = raio de giração da seção.

K = coeficiente de flambagem (depende das condições de extremidades).

L = comprimento da barra ou distância entre dois pontos travados.

Segundo a NBR 8800, ABNT (1986), para evitar flexibilidade excessiva ocasionando deformações em possíveis choques no transporte, na montagem e

vibrações durante o uso da estrutura, o índice de esbeltez de barras tracionadas não deve ultrapassar 240 para barras principais ou 300 para barras secundárias. Nas barras redondas pré-tensionadas esta limitação não é aplicada.

2.5 BARRAS COMPRIMIDAS

Em conformidade com ABNT (1986), aqui são apresentados conceitos básicos para o dimensionamento de barras comprimidas, adotando-se a sequência observada em QUEIROZ (1994), onde o assunto está muito bem detalhado.

2.5.1 Estados limites Últimos aplicáveis

- Instabilidade da barra como um todo;
- Instabilidade local dos elementos componentes da seção.

2.5.2 Flambagem elástica (sem considerar flambagem local)

- Hipóteses preestabelecidas
 - a - O eixo é perfeitamente reto, a única solicitação é a força normal de compressão, perfeitamente centrada, e o material é homogêneo.
 - b - O efeito da força cortante é desprezado.
 - c - A barra é prismática e a força de compressão é constante ao longo da barra.
 - d - A direção da força externa aplicada não varia durante a

flambagem.

e - A flambagem dá-se por flexão pura.

f - O material é isento de tensões residuais, indefinidamente elástico e tem resistência infinita.

2.5.3 Carga de flambagem (barra bi-rotulada)

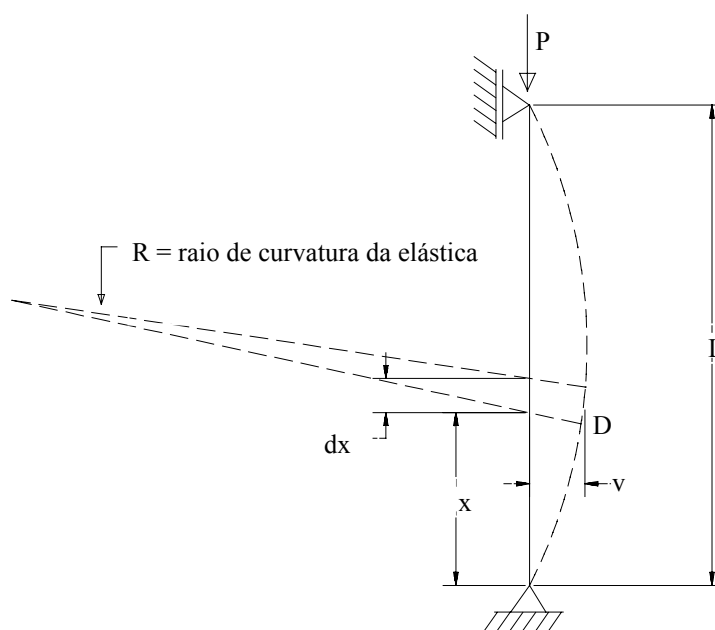


FIGURA 01 - Flambagem de uma barra articulada nas extremidades.

Da resistência dos materiais:

$$\frac{1}{R} = \frac{M}{E.I} \quad (08)$$

onde:

M = momento fletor num ponto D qualquer = $P.v$

E = módulo de elasticidade.

I = momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo da

flexão.

$$\left(\frac{1}{R}\right) = \text{curvatura no ponto D.}$$

Usando a equação aproximada da curvatura tem-se:

$$\frac{1}{R} = -\frac{d^2v}{dx^2} \quad (09)$$

$$\frac{d^2v}{dx^2} = -\frac{M}{E.I} = -\frac{P.v}{E.I} \quad (10)$$

fazendo $p = \sqrt{\frac{P}{E.I}}$ tem-se:

$$v'' + p^2.v = 0 \quad (11)$$

A solução da equação diferencial (11) é:

$$v = A.\text{sen}(p.x) + B.\text{cos}(p.x) \quad (12)$$

Condições de extremidade

$$\text{para } x = 0 \Rightarrow v = 0 \quad \text{para } x = L \Rightarrow v = 0$$

Da primeira condição conclui-se que $B = 0$

Da segunda condição conclui-se que $A.\text{sen}(p.L) = 0$.

Esta última condição é atendida se:

$A = 0 \Rightarrow$ correspondente a forma reta ($v = 0$)

$\text{sen}(p.L) = 0$ correspondente à forma curva para $A \neq 0$

A expressão $\text{sen}(p.L) = 0$ representa, portanto, a condição de flambagem e conduz a:

$$p.L = n.\pi \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

com:

$$p = \sqrt{\frac{P}{E.I}} \Rightarrow P = E.I.p^2$$

donde:

$$P_{fl} = E.I. \left(\frac{n.\pi}{L} \right)^2 \quad (13)$$

A menor carga de flambagem que é a procurada, é obtida com $n = 1$ e com I igual ao momento de inércia mínimo da seção transversal.

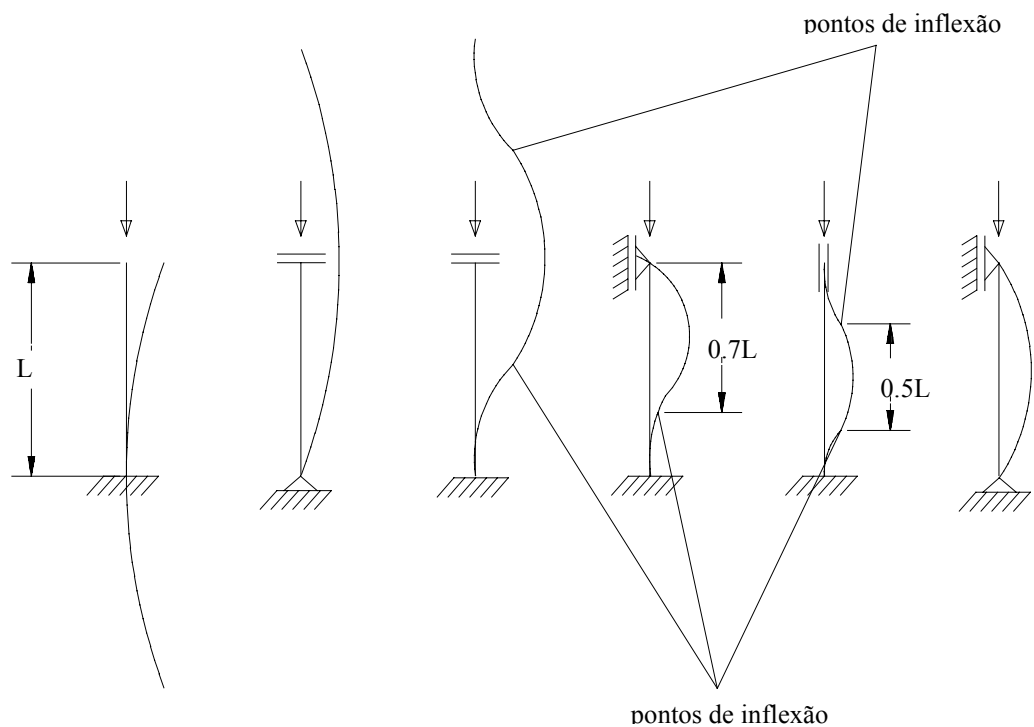
$$P_e = \frac{\pi^2 . E . I}{L^2} \quad (\text{Fórmula de Euler}) \quad (14)$$

$$v = A . \text{sen}(p.x) = A . \text{sen} \frac{(n.\pi.x)}{L} \quad (\text{linha elástica de flambagem}) \quad (15)$$

O valor $n = 0$ não interessa porque conduziria também a $v = 0$ (forma reta).

2.5.4 Cargas de flambagem para outras condições de extremidades

Por processo análogo ao anterior, é possível determinar cargas de flambagem elástica para outras condições ideais de extremidade, assim tem-se:



$$\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(2 \cdot L)^2} \quad \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(2 \cdot L)^2} \quad \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(0.7 \cdot L)^2} \quad \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(0.5 \cdot L)^2} \quad \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

FIGURA 02 - Cargas de flambagem em função das condições de extremidades.

2.5.5 Comprimentos de flambagem

Fórmula geral para flambagem elástica:

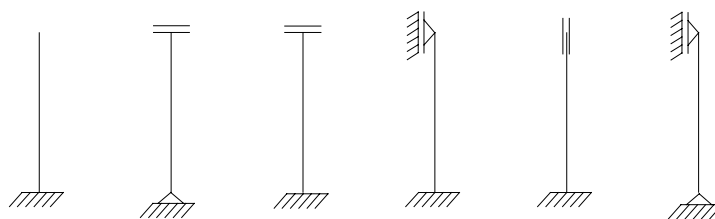
$$P_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(K \cdot L)^2} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_f^2} \quad (16)$$

onde:

K = coeficiente de flambagem (função das extremidades).

$L_f = K \cdot L$ = comprimento de flambagem.

2.5.6 Coeficientes de flambagem para barras isoladas



valores teóricos de K	2	2	1	1	0.7	0.5
-------------------------	---	---	---	---	-----	-----

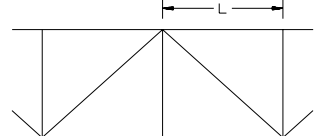
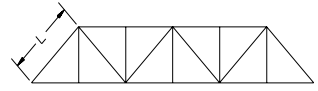
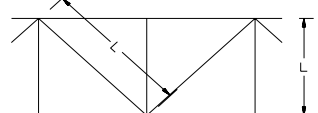
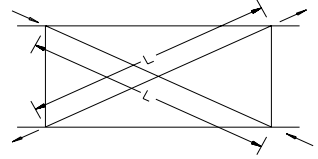
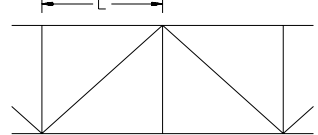
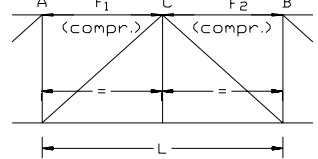
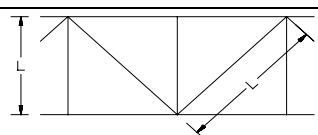
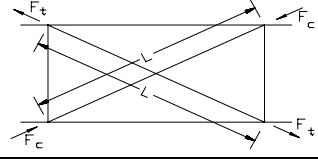
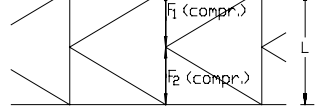
valores recomendados de K ,

segundo ABNT (1986)	2.1	2	1.2	1	0.8	0.65
---------------------	-----	---	-----	---	-----	------

FIGURA 03 - Coeficientes de flambagem em função das condições de extremidades.

2.5.7 Coeficientes de flambagem para barras de treliça

TABELA 04 - Coeficientes de flambagem para barras de treliça segundo ABNT
(1986)

Caso	Elemento considerado		K
flambagem no plano da treliça	1		1.0
	2		1.0
	3		1.0
	4		0.5
flambagem fora do plano da treliça	5		1.0
	6		$0.75 + 0.25 \frac{F_2}{F_1}$
	7		1.0
	8		$\sqrt{1.0 - 0.75 \frac{F_t}{F_c}} \geq 0.5$
	9		$0.75 + 0.25 \frac{F_2}{F_1}$

2.5.8 Flambagem com flexo-torção ou com torção

a - Perfis assimétricos

A tensão crítica de flambagem elástica “Fe” de um perfil com seção assimétrica, segundo TIMOSHENKO & GERE (1961), é dada pela menor das raízes da equação (17).

$$(Fe - Fex)(Fe - Fey)(Fe - Fez) - Fe^2 (Fe - Fey) \left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2 - Fe^2 (Fe - Fex) \left(\frac{y_0}{r_0}\right)^2 = 0 \quad (17)$$

onde:

$$Fex = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K_x \cdot L_x}{r_x}\right)^2} \quad (18)$$

$$Fey = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K_y \cdot L_y}{r_y}\right)^2} \quad (19)$$

λ_x e λ_y = índices de esbeltez para flambagem com flexão pura relativa aos eixos principais de inércia x e y respectivamente.

$$Fez = \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot Cw}{(K_z \cdot L)^2} + G \cdot It \right] \cdot \frac{1}{A \cdot r_0^2} \quad (20)$$

onde:

Cw = constante de empenamento.

It = momento de inércia à torção.

G = módulo transversal de elasticidade = $\frac{E}{[2 \cdot (1 + \nu)]}$

$K_z \cdot L$ = comprimento de flambagem com torção.

A = área da seção transversal.

$$r_0^{-2} = x_0^2 + y_0^2 + r_x^2 + r_y^2$$

x_0 e y_0 = coordenadas do centro de cisalhamento “c” com relação aos eixos principais de inércia.

E = módulo de elasticidade

ν = coeficiente de Poisson

b - Perfis monossimétricos

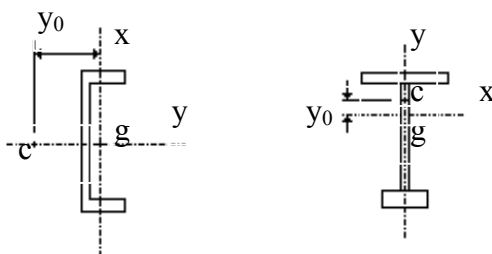


FIGURA 04 - Perfis monossimétricos, posição do centro de torção.

com $x_0 = 0$ na equação (17) tem-se:

$$(Fe - F_{ex})(Fe - F_{ey})(Fe - F_{ez}) - Fe^2 \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 = 0 \quad (21)$$

ou

$$(Fe - F_{ex}) \left[(Fe - F_{ey})(Fe - F_{ez}) - Fe^2 \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right] = 0 \quad (22)$$

uma das raízes da equação (22) é $Fe = F_{ex}$ que corresponde à possibilidade de flambagem com flexão pura em relação ao eixo x. A outra raiz é o menor valor obtido da equação do segundo grau resultante da anterior:

$$(Fe - Fey)(Fe - Fez) - Fe^2 \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 = 0 \quad (23)$$

e corresponde à possibilidade de flambagem com uma combinação de flexão relativa ao eixo de simetria y e torção, chamada de flambagem com flexo-torção. O tipo de flambagem que irá ocorrer é o que corresponde ao menor valor das duas raízes anteriores Fe (o qual é a tensão de flambagem elástica da barra).

c - Perfis com dupla simetria

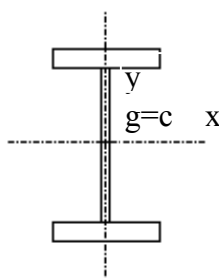


FIGURA 05 - Perfis com dupla simetria, posição do centro de torção.

da equação (17) com $x_0 = y_0 = 0$ tem-se:

$$(Fe - Fex)(Fe - Fey)(Fe - Fez) = 0 \quad (24)$$

As raízes da equação (24) são:

$Fe = Fex$ que corresponde à flambagem com flexão pura relativa ao eixo x .

$Fe = Fey$ que corresponde à flambagem com flexão pura relativa ao eixo y .

$Fe = Fez$ que corresponde à flambagem com torção.

2.5.9 Flambagem Inelástica (sem considerar a flambagem local)

Para a flambagem inelástica as hipóteses de que o material é isento de tensões residuais, indefinidamente elástico e que tem resistência infinita, devem ser eliminadas. Assim o diagrama tensão x deformação, veja-se FIGURA 06, que foi suposto conforme item “a” da mesma, passa a ter a configuração do item “b” (sem levar em conta as tensões residuais), e do item “c” (levando em conta as tensões residuais).

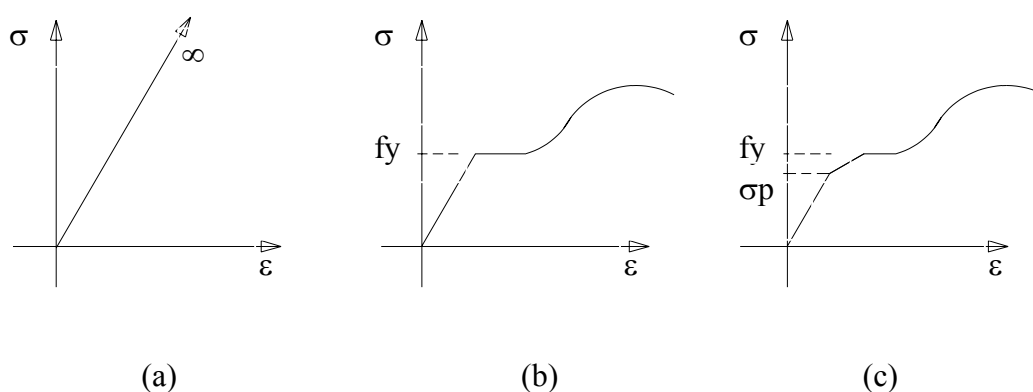


FIGURA 06 - Diagrama tensão x deformação para hipóteses preestabelecidas.

Para cargas ligeiramente superiores à carga de flambagem, as grandes deformações da barra por flexão fariam surgir momentos fletores que, nos casos práticos, levariam a barra ao colapso. Assim, a carga de flambagem é um limite de resistência do aço e a flambagem é um estado limite último das estruturas de aço. Além disso, o escoamento da barra por compressão pura é também um estado limite último, portanto, na ausência de tensões residuais (FIGURA 06 item b), a fórmula de Euler

valeria somente para $F_e \leq f_y$, ou seja, $F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \leq f_y \Rightarrow \lambda \geq \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, como existem

tensões residuais, o diagrama tensão x deformação fica alterado (FIGURA 06 item c)

e portanto na prática a fórmula de Euler só vale para $F_e \leq \sigma_p$, devendo ser corrigida quando $F_e > \sigma_p$, de forma a levar em conta o comportamento inelástico do aço.

Para $F_e = \sigma_p$ tem-se:

$$\frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_{\text{lim}}^2} = \sigma_p \quad (25)$$

$$\lambda_{\text{lim}} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}} \quad (26)$$

Para $\lambda \geq \lambda_{\text{lim}}$ é válida a fórmula de Euler.

Para $\lambda < \lambda_{\text{lim}}$ deve ser feita correção na mesma.

Correção da fórmula de Euler para $\lambda < \lambda_{\text{lim}}$

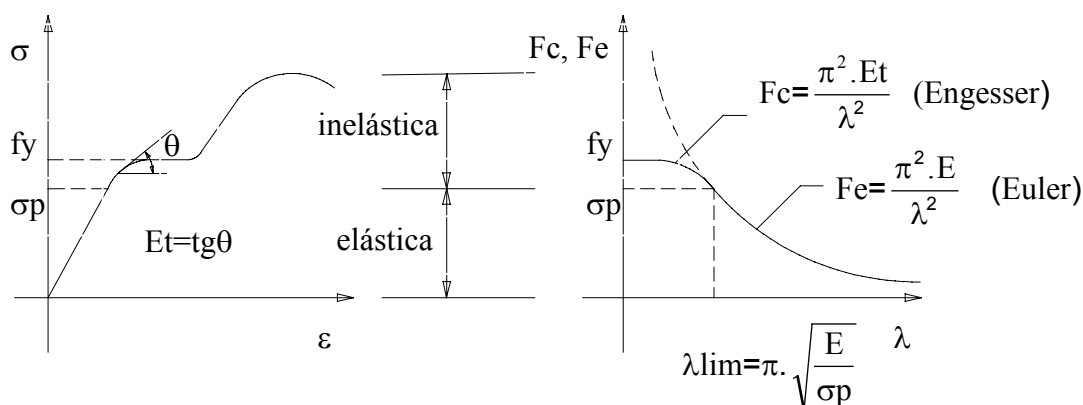


FIGURA 07 - Correção da fórmula de Euler segundo Engesser.

Para $\lambda < \lambda_{\text{lim}}$, diversas expressões tem sido propostas para determinar a tensão de flambagem (regime inelástico); uma delas consiste simplesmente em substituir, na fórmula de Euler, o módulo de elasticidade E pelo módulo tangente $Et = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \text{tg}\theta$

isto é:

$$F_c = \frac{\pi^2 \cdot E_t}{\lambda^2} \quad (\text{fórmula de Engesser}) \quad (27)$$

Como a determinação de E_t é problemática, sendo função das tensões residuais ($\sigma_p = f_y - f_r$) e da equação do trecho do diagrama $\sigma \times \varepsilon$ que vai de σ_p até f_y , a NBR

8800, ABNT (1986), admite que $F_c = f_y$ para $\lambda \leq \frac{\pi}{5} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ e para λ maior que este

valor, utiliza uma expressão única para os regimes elástico e inelástico. Esta expressão é função de um parâmetro (α) baseado na influência das tensões residuais na flambagem. São definidos quatro valores para este parâmetro em função do tipo de perfil e do eixo em relação ao qual se dá a flexão durante a flambagem. Como o referido parâmetro depende do eixo em relação ao qual se dá a flambagem, nem sempre a menor tensão de flambagem por flexão corresponde a λ máx.

$\alpha = 0.158$ para a curva (a)

$\alpha = 0.281$ para a curva (b)

$\alpha = 0.384$ para a curva (c)

$\alpha = 0.572$ para a curva (d)

Obs.:

- As curvas são definidas conforme a TABELA 05.
- Para determinar a resistência à flambagem com torção ou com flexo-torção, independentemente do caso correspondente na tabela, usa-se sempre $\alpha = 0.384$.

2.5.10 Determinação da tensão de flambagem elástica ou inelástica

Considerando as possibilidades de flambagem com flexão pura, com torção e com flexo-torção, e ainda a interação flambagem local / flambagem global, a tensão de flambagem elástica ou inelástica é dada por:

$$F_c = \rho \cdot Q \cdot f_y \quad (28)$$

onde:

$$\rho = 1,00 \text{ para } \bar{\lambda} \leq 0,20$$

$$\rho \cong \beta - \sqrt{\beta^2 - 1/\bar{\lambda}^2} \quad \text{para } \bar{\lambda} > 0,20$$

$$\beta = \left[1 / \left(2 \bar{\lambda}^2 \right) \right] \cdot \left[1 + \alpha \cdot \sqrt{\bar{\lambda}^2 - 0,04} + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{Q \cdot f_y / F_e}$$

com:

f_y = limite de escoamento do aço.

F_e = tensão de flambagem elástica com flexão, com torção ou flexo-torção, para a determinação da resistência à flambagem com flexão, com torção ou flexo-torção respectivamente.

Obs.: Devido a variação de α com o eixo em relação ao qual se dá a flambagem, nem sempre o valor mínimo de F_e (correspondente a λ máx.) conduz ao mínimo F_c .

$$Q = Q_s \cdot Q_a$$

Q_s e Q_a são coeficientes que levam em conta a flambagem local de elementos

não enrijecidos e enrijecidos respectivamente

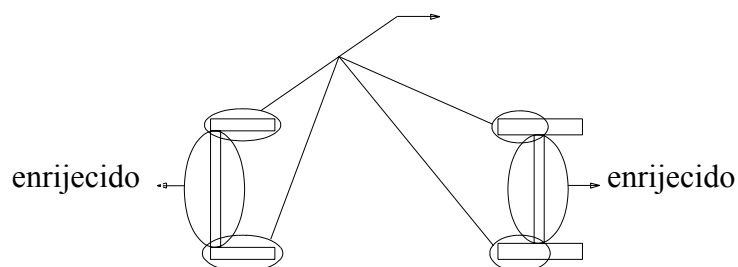


FIGURA 08 - Elementos enrijecidos e não enrijecidos.

Q_s é a relação entre a tensão de flambagem σ_{xc} de um elemento não enrijecido e a tensão de escoamento $\Rightarrow Q_s = \frac{\sigma_{xc}}{f_y}$. Havendo mais de um elemento não enrijecido na seção, prevalecerá o menor valor obtido de Q_s . $Q_s=1$ se todos os elementos não enrijecidos tiverem relação (b/t) inferior ao limite $(b/t)_{\text{máx}}$. dado na TABELA 06. Isto não ocorrendo, usam-se as expressões a seguir:

Para o grupo (1) da TABELA 06:

$$Q_s = 1,34 - 0,77 (b/t) \sqrt{f_y/E} \text{ para } 0,44 \sqrt{E/f_y} < (b/t) \leq 0,9 \sqrt{E/f_y} \quad (29)$$

$$Q_s = 0,52 \frac{E}{[f_y \cdot (b/t)^2]} \text{ para } (b/t) > 0,9 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (30)$$

Para o grupo (2) da TABELA 06:

$$Q_s = 1,42 - 0,76 (b/t) \sqrt{f_y/E} \quad \text{para} \quad 0,55 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < (b/t) \leq 1,02 \sqrt{E/f_y} \quad (31)$$

$$Q_s = 0,67 \frac{E}{[f_y \cdot (b/t)^2]} \quad \text{para} \quad (b/t) > 1,02 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (32)$$

Para o grupo (3) da TABELA 06:

$$Q_s = 1,91 - 1,24 (b/t) \sqrt{f_y/E} \quad \text{para} \quad 0,74 \sqrt{E/f_y} < (b/t) \leq 1,02 \sqrt{E/f_y} \quad (33)$$

$$Q_s = 0,67 \frac{E}{[f_y (b/t)^2]} \quad \text{para} \quad (b/t) > 1,02 \sqrt{E/f_y} \quad (34)$$

Nos três grupos anteriores, a primeira expressão corresponde ao regime inelástico e a segunda ao regime elástico.

Valores de Q_a

Se os elementos enrijecidos componentes da seção, tiverem relação (b/t) inferiores ao limite $(b/t)_{\text{máx.}}$ dado na TABELA 06, $Q_a = 1$. Caso contrário este é definido como sendo a relação entre a área efetiva da seção (obtida substituindo as larguras reais dos elementos enrijecidos pelas larguras efetivas) e a área real.

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A} = \frac{A - \sum (b - b_{ef}) \cdot t}{A} \quad (35)$$

onde:

(b-bef) refere-se aos elementos enrijecidos.

b = largura real de um elemento enrijecido qualquer.

bef = largura efetiva deste elemento.

t = espessura deste elemento (na mesma unidade de b).

Aef = área efetiva da seção transversal.

A = área real da seção transversal.

Sendo bef dado pelas seguintes fórmulas:

Para o grupo (4) da TABELA 06:

$$b_{ef} = 1,76 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,350}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad (36)$$

Para o grupo (5) da TABELA 06:

$$b_{ef} = 1,76 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,310}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad (37)$$

Nas duas expressões de bef, “f” é a tensão calculada dividindo a força normal de cálculo pela área efetiva da seção (“f” é obtida, portanto, por aproximações sucessivas).

2.5.11 Resistência nominal e de cálculo de barras comprimidas

A resistência de cálculo é dada por:

$$R_d = \phi_c \cdot R_n \quad (38)$$

onde:

R_n = resistência nominal.

$\phi_c = 0.9$ (coeficiente de resistência para barras comprimidas).

$R_n = A_g \cdot F_c$

A_g = área bruta da seção.

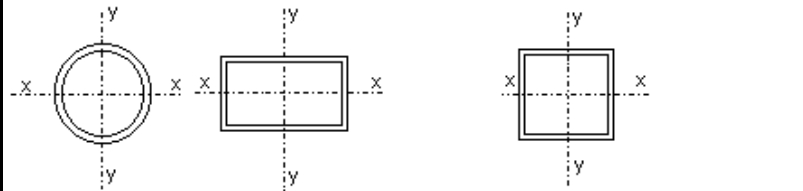
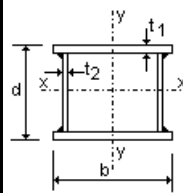
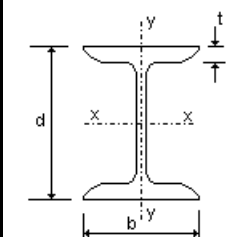
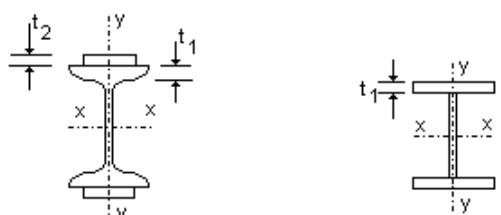
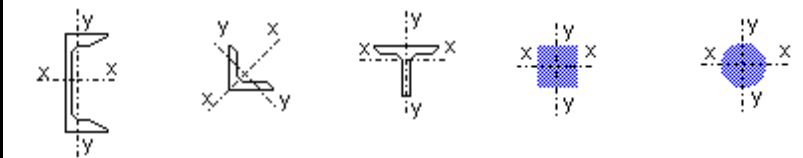
F_c = tensão de flambagem elástica ou inelástica, já levando em conta a interação flambagem local / flambagem global.

2.5.12 Índice de esbeltez limite para barras comprimidas

Segundo ABNT (1986), o índice de esbeltez $\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$, para barras comprimidas não

pode ser superior a 200.

TABELA 05 - Classificação de seções e curvas de flambagem.

Seção Transversal		flambagem em torno do eixo :	curva de flambagem	
		x-x y-y	a	
perfil caixão soldado 	Soldas de grande espessura $b/t_1 < 30$ $d/t_2 < 30$	x-x y-y	c	
	outros casos	x-x y-y	b	
perfis "I" ou "H" laminados 	$d/b > 1.2$ $t \leq 40\text{mm}$	x-x y-y	a b (a)	
	$d/b \leq 1.2$ $t \leq 40\text{mm}$ $t > 40\text{mm}$	x-x y-y x-x y-y	b (a) c (b) d d	
perfis "I" ou "H" soldados 		$t_i \leq 40\text{mm}$ $t_i \geq 40\text{mm}$	x-x y-y x-x y-y	b c c d
"U", "L", "T" e perfis de seção cheia 		x-x y-y	c	

Notas:

- a - Seções não incluídas na tabela devem ser classificadas de forma análoga.
- b - As curvas de flambagem indicadas entre parênteses podem ser adotadas para aços de alta resistência, com $f_y > 430$ MPa.
- c - Para barras compostas comprimidas, deverá ser adotada a curva “c”, para flambagem relativa ao eixo que não intercepta os perfis componentes principais.

TABELA 06 - Valores limites de b/t.

TIPO DO ELEMENTO	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO	ELEMENTO	(b/t)máx
ELEMENTOS NÃO ENRIJECIDOS	Abas de cantoneiras simples; abas de cantoneiras duplas providas de chapas de enchimento ou presilhas; elementos comprimidos não enrijecidos em geral (1).		$0.44 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	Mesas de perfil "I", "U", "H" e "T". Abas em projeção de cantoneiras duplas ligadas continuamente. Abas de cantoneiras ou chapas, ligadas continuamente em perfis "I" ou "U" (2).		$0.55 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	Almas de perfis "T" (3).		$0.74 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
ELEMENTOS ENRIJECIDOS.	Mesas de seções caixão tubulares, de espessura constante (4).		$1.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	Mesas de seções quadradas e retangulares; almas de perfis "U" e "I"; chapas contínuas de reforço de mesas, entre linhas de parafusos ou soldas (5).		$1.47 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
TUBOS REDONDOS	Elementos tubulares de seção circular (6).		$0.11 \cdot \frac{E}{f_y}$

3 PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO DE ESTRUTURAS TRELIÇADAS PLANAS USANDO VARIÁVEIS DISCRETAS

3.1 GENERALIDADES

Conforme já mencionado, o objetivo do presente trabalho é desenvolver um procedimento que permita encontrar um projeto estrutural de mínimo custo, mas infelizmente seria praticamente impossível levar em conta todas as variáveis que determinam este custo, tais como: peso, maior ou menor facilidade de execução, tipos de perfis para os quais o custo do quilo de matéria prima seria menor e diversas outras variáveis que influenciam no custo final da estrutura. Assim optou-se por linearizar o custo com o peso do material estrutural empregado nas barras, ou seja, a função objetivo é uma função do peso do mesmo.

A análise das soluções será feita pelo processo dos deslocamentos, usando o método de Choleski na resolução do sistema de equações. Este método apresenta a vantagem de se resolver o sistema apenas uma vez para diversas combinações de carregamento.

3.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

“Um problema onde se procura pelo máximo ou mínimo de uma função de diversas variáveis, devendo estas satisfazer alguns requisitos impostos, é chamado problema de programação matemática ou otimização. A função recebe o nome de função objetivo, e os requisitos impostos o de restrições do problema”, FRITZCHE (1978).

Um dos métodos mais conhecidos de minimização de uma função de várias variáveis [$Z(x)$], é o método do gradiente, ou da máxima descida. Para um problema irrestrito e variáveis podendo assumir qualquer valor (otimização contínua), o método pode ser definido pelo seguinte algoritmo iterativo:

$$x^{K+1} = x^K + \alpha_K \cdot [-\nabla Z(x^K)] \quad (39)$$

onde:

x^K = vetor das variáveis de projeto no ponto K.

x^{K+1} = vetor das variáveis de projeto no ponto de mínimo na direção do gradiente.

$\nabla Z(x^K)$ = gradiente da função objetivo no ponto x^K .

$$\nabla(Z(x^K)) = \left[\frac{\partial Z(x^K)}{\partial x_1} \quad \frac{\partial Z(x^K)}{\partial x_2} \quad \frac{\partial Z(x^K)}{\partial x_3} \quad \dots \quad \frac{\partial Z(x^K)}{\partial x_n} \right]$$

α_K = escalar não negativo.

Assim, pesquisa-se a partir de um ponto x^K ao longo da direção do gradiente (com sinal negativo), até encontrar um ponto de mínimo para

$Z[x^K + \alpha_K \cdot \nabla Z(x^K)]$, este ponto é x^{K+1} .

A FIGURA 09 representa a minimização pelo método do gradiente de uma dada função objetivo $[Z(x)]$, de 2 variáveis, iniciando em um ponto com vetor x^1 e finalizando em x^5 . As setas com linhas tracejadas representam o sentido do gradiente da função $Z(x^i)$, num ponto i e as setas com linhas cheias representam o caminhamento da otimização, no caso uma minimização da função $Z(x)$.

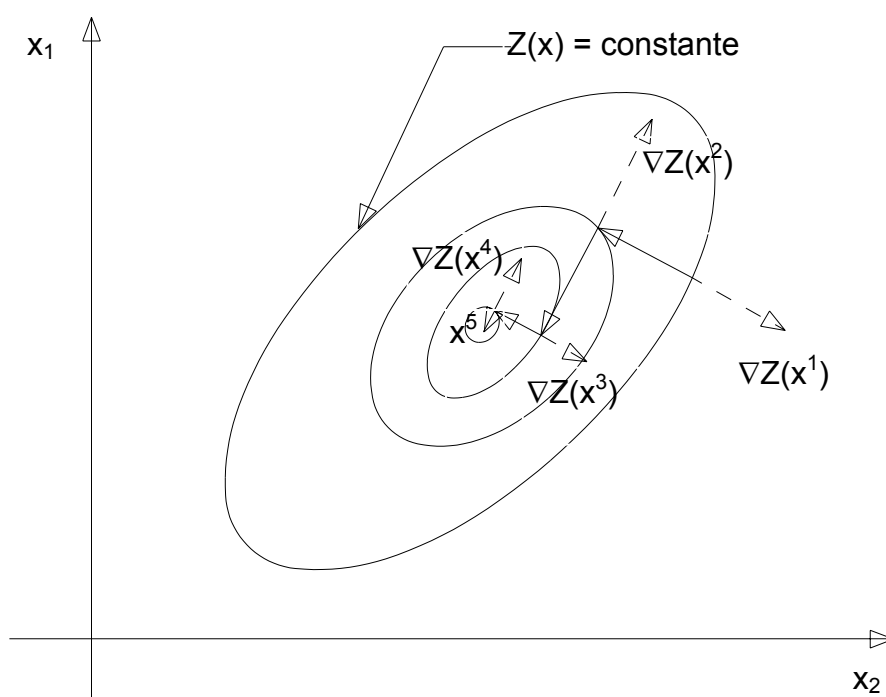


FIGURA 09 - Minimização de uma dada função pelo método do gradiente.

O esquema acima é um caso típico de uma minimização irrestrita com variáveis contínuas, ou seja, as variáveis x_1 e x_2 podem assumir quaisquer valores.

No caso de uma minimização discreta x_1 e x_2 só podem assumir valores prefixados, por exemplo, para o trabalho em questão as variáveis de projeto só

podem assumir valores correspondentes aos dos perfis disponíveis ou prefixados para análise.

Assim, considerando o problema abaixo:

$$\min Z(x) \quad (40)$$

$$\text{sujeito a } \phi_i(x) \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (41)$$

$$\Psi_j(x) = 0 \quad j = 1, 2, 3, \dots, p \quad (42)$$

$$x \geq 0 \quad (43)$$

onde:

x = vetor das variáveis de projeto. No caso os números de ordem dos perfis nas tabelas de dados correspondentes a cada variável de projeto. As tabelas serão montadas em sequência de área da seção transversal, da menor para a maior.

$Z(x)$ = função objetivo, representada no caso pela soma dos volumes dos elementos estruturais.

$\phi_i(x)$ = restrição de comportamento i , que pode ser relativa tanto ao limite de resistência de uma barra, como ao deslocamento permitido em determinado ponto da estrutura.

$\Psi_j(x)$ = restrições de igualdade, no caso, impostas no processo dos deslocamentos.

$$R(x) \cdot U = F \quad (44)$$

para o caso prático em questão existem ainda as limitações de perfis a serem utilizados, assim:

$$\underline{x}_i \leq x_i \leq \bar{x}_i \quad (45)$$

onde:

x_i = número da seção da barra i .

\underline{x}_i = limite inferior para o número da seção da barra i .

\bar{x}_i = limite superior para o número da seção da barra i .

A solução do problema restrito acima será baseada no método do gradiente adaptado à situação de variáveis discretas, chamado em LIEBMAN (1981) de método do gradiente inteiro.

O método apresenta a seguinte sequência de passos para problemas irrestritos:

1 - Selecione um vetor de variáveis discretas factível (XB);

2 - Gere a direção inteira do gradiente GM(XB);

$$a - \text{Calcule } G(XB) = \frac{[Z(x + \Delta x) - Z(x - \Delta x)]}{2 \cdot \Delta x} \quad (46)$$

onde $Z(x_i + \Delta x_i)$ e $Z(x_i - \Delta x_i)$ são os valores da função objetivo do vetor solução (XB), alterado em seu i ésimo elemento por $(+\Delta x_i)$ e por $(-\Delta x_i)$ respectivamente, com Δx_i representando o tamanho do passo discreto para a barra i (no presente trabalho será usado sempre $\Delta x = 1$).

b - Calcule $S(XB)$, a direção do gradiente normalizada em XB;

$$S(XB) = \frac{-G(XB)}{\|G(XB)\|} \quad (47)$$

onde: $\|G(XB)\|$ é a norma de $G(XB)$ dada pela raiz quadrada do somatório dos elementos componentes do vetor (XB), elevados ao quadrado.

c - Calcule $DR(XB)$, a direção relativa do gradiente em XB

$$DR(XB) = \frac{S(XB)}{S} \quad (48)$$

onde S é o menor (em valor absoluto) elemento de $S(XB)$;

d - Calcule $GM(XB)$, o vetor da direção do gradiente inteiro em

XB, alterando cada valor de $DR(XB)$ para o valor inteiro mais próximo;

3 - Faça uma busca unidimensional ao longo da direção $GM(XB)$ até

encontrar a maior melhoria da função objetivo. Um ponto

discreto XT , ao longo da direção de $GM(XB)$ pode ser gerado

pela equação

$$(XT) = (XB) + \lambda.(\Delta x).GM(XB) \quad (49)$$

na qual λ representa o número da posição de todos os pontos discretos (XT) na direção GM(XB) começando de (XB) e deve ser um inteiro; Δx é uma matriz diagonal dos tamanhos de passos discretos na qual o i ésimo componente diagonal é o tamanho do passo da i ésima variável de projeto.

4 - Redefina (XB) como sendo aquele que maior melhoria deu na

função objetivo e gere uma nova direção de busca GM(XB). Se

(XB) é um ponto ótimo local, pare. Caso contrário vá para o

passo 3.

Neste algoritmo apresentado em LIEBMAN (1981) a operação de obtenção de DR(XB) é também uma normalização, e pode-se notar que ela anula a anterior. De fato, se $S(XB)_i$ é um número $G(XB)_i$ dividido por $\|G(XB)\|$ e S é o menor valor de $S(XB)_i$, que é também um número dividido por $\|G(XB)\|$, no final tem-se:

$$DR(XB)_i = \frac{G(XB)_i / \|G(XB)\|}{\text{Min} \left(\frac{G(XB)_k}{\|G(XB)\|} \right)_{k=1}^n} = \frac{G(XB)_i}{\text{Min}(G(XB))_{k=1}^n} \quad (50)$$

onde n é o número de elementos componentes do vetor G(XB).

Assim a obtenção do vetor gradiente inteiro pode ser resumido ao cálculo do gradiente por diferenças finitas e posteriormente na determinação do gradiente

relativo, com os valores de seus elementos arredondados para números inteiros. Isto porque procura-se decréscimos ou acréscimos inteiros, ou seja, passos inteiros, ou ainda, sair de um perfil e chegar em outro existente na tabela de dados.

A solução de um problema restrito pode ser obtida transformando-o em uma sequência de sub-problemas irrestritos, usando funções de penalidade na função objetivo. Uma função objetivo deverá ser tanto mais penalizada (aumentada), quanto maior for a proximidade de violação de alguma restrição. Desta forma a resolução do sub-problema passa a ser a busca do valor mínimo da função penalizada, e esta função deve, na sequência de subproblemas, tender para a função objetivo.

A formulação é a seguinte:

$$\min P(x,r) = Z(x) + r.I(x) \quad (51)$$

onde:

$P(x,r)$ = função objetivo penalizada

r = parâmetro da função penalizada

$I(x)$ = uma função de penalização inversamente proporcional ao valor

das restrições de comportamento.

$Z(x)$ = Função objetivo.

O parâmetro r é o termo que será diminuído, afim de que a função objetivo penalizada tenda para a função objetivo. Assim $r_2 = r_1/a$, $r_3 = r_2/a$, ..., $r_{k+1} = r_k/a$, onde a é um número constante e maior do que 1.

O valor de (r) deve ser escolhido em função da proximidade da solução inicial em relação ao ponto de mínimo para diminuir o tempo computacional. Isto se deve ao fato de que, se (r) for grande numa solução inicial bastante próxima da final, as restrições de comportamento estão próximas de serem violadas, penalizando demasiadamente a função $P(x,r)$, fazendo com que a otimização tome uma direção no sentido de diminuí-la, o que se consegue aumentando a função objetivo, em outras palavras, distanciando inicialmente da solução final. Para todos os exemplos analisados com uma solução inicial adotada de acordo com o item 3.3, se obteve ótimos resultados em termos de tempo computacional e convergência, usando r inicial igual a 1000.

Com relação ao redutor do parâmetro da função de penalidade, conforme se aumenta ou diminui o seu valor, os efeitos da penalização são mais ou menos rapidamente sentidos. Não é interessante em termos de tempo computacional, que uma solução corrente longe da solução final seja penalizada demasiadamente, e um redutor muito pequeno do parâmetro da função de penalidade levaria a penalizações grandes em soluções distantes da final, ao passo que um redutor muito grande eliminaria muito rapidamente a vantagem da função de penalização, que é o tratamento de um problema restrito como uma seqüência de problemas irrestritos.

Para praticamente todos os exemplos analisados obteve-se ótimos resultados com $a=10$, ou seja, para cada valor mínimo encontrado da função objetivo penalizada

para um parâmetro da função de penalidade r_k , se faz a redução do mesmo, dividindo-o por 10 e recomeça-se a busca da solução final.

A solução final é obtida quando se consegue o valor mínimo da função penalizada, para um valor r tão pequeno, que praticamente $P(x, r) = F(x)$.

A função de penalização utilizada é a seguinte:

$$I(x) = \sum \frac{1}{\phi_i(x) + \varepsilon \cdot \delta_i} \quad (52)$$

onde: $\phi_i(x)$ = valor da i ésima função de restrição de comportamento;

$\varepsilon \cdot \delta_i$ = valor a ser acrescentado caso a i ésima restrição seja

praticamente igual a zero (para evitar que $I(x)$ seja infinita);

ε = valor muito pequeno;

$\delta_i = 1$ se $\phi_i(x)$ for praticamente nula, ou zero caso contrário.

Para iniciar o processo de determinação da solução é necessário ter um ponto de partida, ou seja, seleccionar uma solução corrente inicial, ou ainda um vetor de variáveis de projeto inicial factível. Além disto, é necessário fixar os valores r_1 e a .

3.3 SOLUÇÃO CORRENTE INICIAL

A determinação de uma solução inicial é quase uma “otimização inversa”, ou seja, deve ser estabelecida uma solução infactível, a mais leve possível e através de análises mais grosseiras e alterações de seções se chega a um ponto factível a partir do qual se procurará a solução ótima.

Nos diversos exemplos analisados, chegou-se a conclusão que o tempo computacional gasto nesta operação é superior ao tempo que se gasta quando se usa como solução, para cada grupo de barras, o 2^o perfil mais pesado correspondente à tabela a ser utilizada para o respectivo grupo de barras. Por esta razão optou-se por este procedimento.

Vale mencionar que a escolha do segundo e não do primeiro se deve a problemas operacionais, em função da pesquisa da direção de descida da função penalizada depender do perfil imediatamente abaixo e do imediatamente acima da solução corrente para cada barra ou grupo de barras (no caso a solução corrente inicial).

Caso na seqüência do processo chegue-se a conclusão que, para um determinado grupo, não existem perfis que sejam factíveis, é necessária a mudança de tabela para o grupo em questão.

3.4 DETERMINAÇÃO DAS RESTRIÇÕES DE COMPORTAMENTO PARA A SOLUÇÃO CORRENTE.

De posse de uma solução corrente e das características geométricas relativas aos perfis correspondentes à mesma, será utilizado o processo dos deslocamentos para a determinação dos deslocamentos dos nós e esforços nas barras, conforme esquema abaixo:

$$[R] \cdot \{U\}^i = \{F\}^i \quad (53)$$

onde:

$[R]$ = matriz de rigidez da treliça.

$\{U\}^i$ = vetor dos deslocamentos dos nós para o carregamento i .

$\{F\}^i$ = vetor das ações nos nós para o carregamento i .

3.4.1 Matriz de rigidez da estrutura treliçada para a solução corrente

A matriz de rigidez da treliça será montada a partir da contribuição da rigidez de cada barra, nas devidas posições do sistema global, sendo que a mesma para uma barra “b” (FIGURA 10) no sistema local $X_b \times Y_b$ é dada por:

$$[Sb] = \frac{E \cdot Ax}{L} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (54)$$

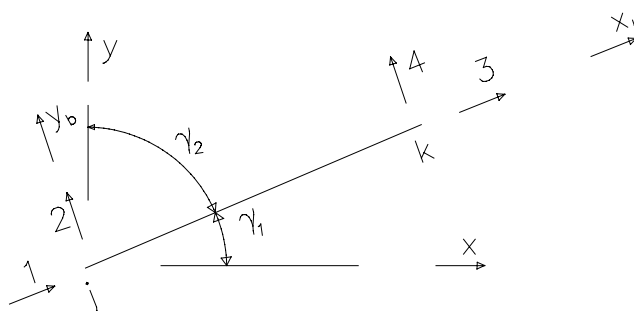


FIGURA 10 - Coordenadas deslocamento no sistema local de uma barra genérica de treliça plana

onde:

S_b = matriz de rigidez da barra b .

X e Y são os eixos do sistema global de coordenadas da estrutura treliçada.

X_b e Y_b são os eixos de uma barra (sistema local de coordenadas).

γ_1 e γ_2 são os ângulos formados entre o eixo axial da barra e os eixos do sistema global.

A matriz de rigidez da barra em relação ao sistema global (S_g) pode ser determinada a partir da matriz de rigidez do sistema local (S_b), utilizando os cossenos diretores (C_x e C_y) dos eixos da barra em relação aos eixos do sistema global com:

$$C_x = \cos\gamma_1 \quad e \quad (55)$$

$$C_y = \cos\gamma_2 \quad (56)$$

Como exemplo consideremos a treliça de 5 nós e 7 barras da FIGURA 11:

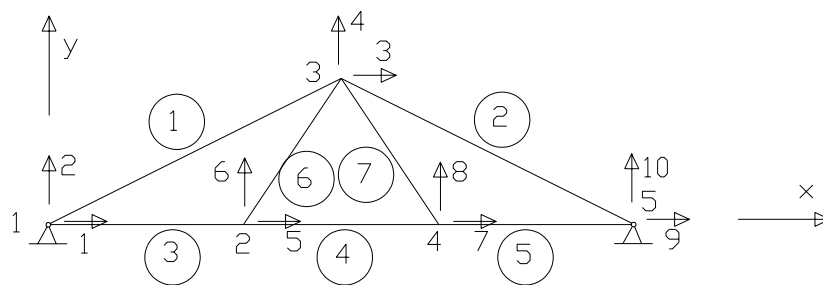


FIGURA 11 - Coordenadas deslocamento no sistema global de uma dada treliça.

A matriz de rigidez da estrutura com 10 coordenadas deslocamento, portanto de ordem 10, será obtida através da contribuição da matriz de rigidez de cada barra nas devidas posições. Assim, para a barra 1, por exemplo, um deslocamento unitário no nó j , na direção de X_b , será conseguido aplicando uma ação de restrição $S_{b_{11}}$ nesta direção de valor igual a $\frac{E \cdot Ax}{L}$.

Para obter um deslocamento unitário na direção X , conforme FIGURA 12, torna-se necessária a aplicação de uma ação de restrição na direção de X_b , de valor igual a $S_{b_{11}} \cdot C_x = \frac{E \cdot Ax}{L} \cdot C_x$

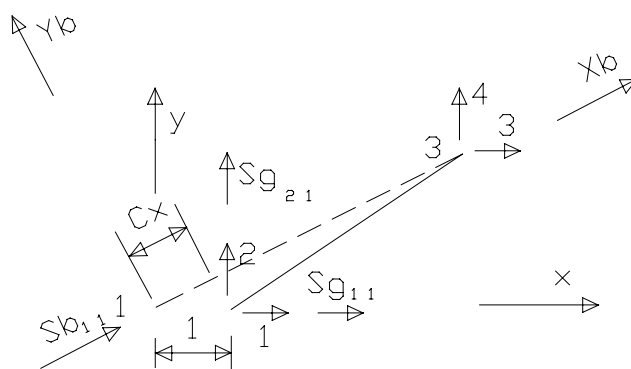


FIGURA 12 - Mudança de sistema de coordenadas.

Como a matriz de rigidez é expressa em termos de ação de restrição na direção das coordenadas, e estas agora se referem ao sistema global, é necessária a decomposição da ação $S_{b11}.C_x$ nas direções X e Y, assim tem-se:

$$S_{g11} = S_{b11}.C_x.C_x = \frac{E.A_x}{L}.C_x^2 \quad (57)$$

$$S_{g21} = S_{b11}.C_x.C_y = \frac{E.A_x}{L}.C_x.C_y \quad (58)$$

Analogamente pode-se obter os demais elementos da matriz de rigidez da barra em relação ao sistema global de coordenadas na extremidade 1. Para a extremidade 2 as ações de restrição são encontradas por equilíbrio estático. Assim obtém-se:

$$[S_g] = \frac{E.A_x}{L} \begin{bmatrix} C_x^2 & C_x.C_y & -C_x^2 & -C_x.C_y \\ C_x.C_y & C_y^2 & -C_x.C_y & -C_y^2 \\ -C_x^2 & -C_x.C_y & C_x^2 & C_x.C_y \\ -C_x.C_y & -C_y^2 & C_x.C_y & C_y^2 \end{bmatrix} \quad (59)$$

A contribuição da rigidez da barra 1 na matriz de rigidez da estrutura, se dará nos elementos das linhas e colunas 1 a 4, que correspondem aos números das coordenadas nas extremidades da barra. Para a barra 2, a contribuição se dará nos elementos das linhas e colunas 3, 4, 9 e 10, e assim sucessivamente.

A matriz de rigidez final será arquivada em disco da diagonal principal para cima, na forma de vetor, aproveitando a simetria da mesma.

A fórmula para a determinação da posição (i_v) no vetor, de um elemento da linha j e coluna i da matriz será:

$$i_v = \frac{i \cdot (i - 1)}{2} + j \quad (60)$$

De posse da matriz de rigidez (armazenada em vetor), será feita uma decomposição pelo método de Choleski, conforme PRZEMIENIECKI (1968) e SORIANO (1981), para a resolução dos diversos sistemas de equações, decorrentes das diversas combinações de carregamentos.

3.4.2 Resolução de sistemas de equações pelo método de Choleski.

Do processo dos deslocamentos tem-se:

$$[R] \cdot \{U\} = \{F\} \quad (61)$$

onde : $[R]$ = matriz de rigidez da estrutura.

$\{U\}$ = vetor dos deslocamentos dos nós.

$\{F\}$ = vetor das ações nos nós.

Segundo Choleski, a solução do sistema de equações (61) pode ser feita a partir da substituição da matriz simétrica $[R]$ por um produto de duas matrizes triangulares, conforme se segue:

$$[R] = [A] \cdot [A]^T \quad (62)$$

com:

$$[R] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & \dots & r_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (63)$$

e

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & \dots & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (64)$$

onde:

$$a_{ii} = \left(r_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} a_{ik}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (65)$$

$$a_{ij} = \frac{r_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{ik} \cdot a_{jk}}{a_{jj}} \quad p/ i > j \quad (66)$$

$$a_{ij} = 0 \quad p/ i < j \quad (67)$$

Substituindo (62) em (61) chega-se a :

$$[A].[A]^T.\{U\} = \{F\} \quad (68)$$

Fazendo :

$$\{Y\} = [A]^T.\{U\} \quad (69)$$

O sistema de equações (68) se escreve :

$$[A] \cdot \{Y\} = \{F\} \quad (70)$$

Resolve-se inicialmente o sistema (70), cuja matriz dos coeficientes é triangular inferior, através de um processo de substituição para obter o vetor $\{Y\}$. Com este vetor, resolve-se então o sistema (69), cuja matriz dos coeficientes é triangular superior, através de um processo de retrosubstituição, obtendo-se o vetor dos deslocamentos $\{U\}$. Uma vez determinado um vetor de deslocamentos nas coordenadas globais, é possível determinar as deformações correspondentes nas barras e daí determinar os esforços axiais nas mesmas.

3.4.3 Restrições de comportamento na solução corrente

Para a determinação das restrições de comportamento, é necessário o cálculo das resistências, que por suas vezes exigem o conhecimento dos coeficientes de flambagem local dos elementos enrijecidos e não enrijecidos, entre outros dados. Para os elementos não enrijecidos, estes valores serão fornecidos pelo arquivo de dados dos perfis, uma vez que é possível tê-los pré-determinados. Já para os elementos enrijecidos é impossível tê-los pré-determinados, porque os mesmos são dados, conforme já mencionado, como a relação entre a área efetiva e a área total da seção transversal do perfil. Como a área efetiva depende das larguras efetivas destes elementos, as quais dependem das tensões atuantes nesta área, torna-se necessária a programação deste cálculo, por um processo de aproximação sucessiva.

Na determinação das resistências de barras comprimidas no processo de otimização, serão considerados como comprimentos de flambagem para diagonais e montantes, tanto no plano como fora do plano da treliça, as distâncias entre os nós

conforme TABELA 04 ABNT(1986). Para os banzos serão consideradas inicialmente, as distâncias entre os nós para ambos os planos de flambagem, e uma vez definidas as seções a serem utilizadas, que na prática por questões de facilidade de execução são agrupadas e determinadas para a pior situação de cada grupo, os pontos a serem realmente contraventados lateralmente serão determinados através de comparação entre esforços atuantes em cada barra e as resistências da seção já definida, para as diversas possibilidades de comprimento de flambagem fora do plano da treliça. Desta forma verifica-se a necessidade ou não de se contraventar um determinado nó do banzo.

Para o banzo superior é comum, na prática, considerar como nós com possibilidade de contraventamento fora do plano da treliça aqueles aos quais chegam terças, já que as mesmas são usadas como parte integrante do contraventamento. Sendo assim, as vezes será necessária a alteração de tabelas de dados no que diz respeito às inércias, afim de se poder continuar considerando inicialmente o comprimento de flambagem como sendo a distância entre os nós (veja exemplo 11).

Para barras sujeitas a tração, as resistências serão determinadas inicialmente para o estado limite escoamento da seção bruta. O estado limite ruptura da seção líquida efetiva será verificado após o processo de otimização e cálculo das ligações, uma vez que esta verificação depende de parâmetros que serão conseguidos nestas etapas. Caso seja necessária a alteração de alguma seção para atender ao referido estado limite último, recomenda-se que ao invés de mudar os perfis componentes da barra, que se coloque chapas de reforço nos locais onde a área líquida efetiva seja insuficiente, evitando-se assim, no caso de estruturas hiperestáticas, uma possível

perda da otimização por variação nas seções e conseqüentemente nos esforços das barras.

Determinadas as resistências de cálculo, a restrição de comportamento da barra i para o carregamento j ($\phi_{[i,j]}$) poderia ser dada por:

$$\phi_{[i,j]} = Rd_{[i]} - Nd_{[i,j]} \quad (71)$$

onde:

$Rd_{[i]}$ é a resistência de cálculo da barra i , determinada de acordo com os itens 2.4 ou 2.5

$Nd_{[i,j]}$ é o esforço de cálculo da barra i para o carregamento j .

O objetivo do parâmetro $\phi_{[i,j]}$ é verificar a proximidade da violação de uma restrição de comportamento, portanto o valor da diferença entre a resistência e o esforço de cálculo, que vai depender da unidade utilizada e do nível de resistência das seções em análise, não distingue uma maior ou menor proximidade de violação da restrição. Assim optou-se por usar restrições relativas de comportamento, ou seja:

$$\phi_{[i,j]} = \left[\frac{(Rd_{[i]} - Nd_{[i,j]})}{Rd_{[i]}} \right] \quad (72)$$

Para as restrições de comportamento relativas aos deslocamentos de nós, as variações dos mesmos em relação às variações de perfis são pequenas, fazendo com que estas penalizem muito e desnecessariamente a função objetivo, razão pela qual usou-se a seguinte fórmula para as mesmas:

$$\phi_{[i,j]} = 100 \cdot \left[\frac{(dlim_{[j1]} - ac_{[i,j1]})}{ABS(dlim_{[j1]})} \right] \quad (73)$$

onde:

$dlim_{[j1]}$ é o deslocamento permitido na posição $j1$

$ac_{[i,j1]}$ é o deslocamento na posição $j1$ devido ao carregamento i .

3.5 FUNÇÃO OBJETIVO PENALIZADA NA SOLUÇÃO CORRENTE.

Conforme já mencionado, afim de poder transformar o problema restrito em uma série de problemas irrestritos, será utilizada uma função de penalização ($I(x)$) na função objetivo, de forma a aumentá-la quando alguma restrição estiver próxima de ser violada. Assim esta função deve ser inversamente proporcional às restrições de comportamento. A função poderia ser:

$$I(x) = \sum \frac{1}{\phi_i(x)} \quad (74)$$

Mas quando $\phi_i(x)$ se torna praticamente zero, $I(x)$ tende para infinito, o que teoricamente estaria correto, mas computacionalmente daria problemas de arredondamento de pontos flutuantes. Desta forma será usada a expressão segundo LIEBMAN et al. (1981):

$$I(x) = \sum \frac{1}{\phi_i(x) + \varepsilon \cdot \delta_i} \quad (75)$$

onde:

$\varepsilon \cdot \delta_i$ = valor a ser acrescentado, caso a i ésima restrição de comportamento seja praticamente igual a zero.

ε = valor muito pequeno.

$\delta_i = 1$ se $\phi_i(x)$ for praticamente nula, ou zero caso contrário.

A função objetivo penalizada para a solução corrente será:

$$P(x,r) = Z(x) + r.I(x) \quad (76)$$

Vale lembrar que r é o termo a ser diminuído, afim de que a função objetivo penalizada tenda para a função objetivo.

Para r , inicialmente tentou-se um decréscimo segundo LIEBMAN (1981), iniciava-se o processo com $r = 1000$, encontrava-se o ponto de mínimo da função penalizada, daí r era diminuído dividindo-o por uma constante “a”, no caso $a = 10$, e assim sucessivamente até encontrar um ponto de mínimo, para um valor tão pequeno de r , que a função objetivo penalizada praticamente seria igual à função objetivo.

A sequência dos valores de r era :

$$r_1 = 1000, r_2 = 100, r_3 = 10, r_4 = 1, r_5 = 0.1, r_6 = 0.01...$$

Este fator de penalização funcionou bem para todos os exemplos com exceção de um, onde a convergência se deu para um ponto muito próximo da solução ótima. A razão desta convergência para um ponto que não a solução ótima, será explicada baseando-se na FIGURA 13, para uma estrutura formada por dois grupos de variáveis de projeto, x_1 e x_2 . Nesta figura, os pontos A,B,C,D,E,F,G e H, são pontos que atendem às restrições de comportamento, ou seja, são pontos factíveis. Já os

pontos M,N,O,P,Q e R são infactíveis. As linhas tracejadas, representam a união de pontos de mesmo valor da função objetivo, ou seja, são as curvas de nível da mesma, decrescendo no sentido da origem de x_1 e x_2 .

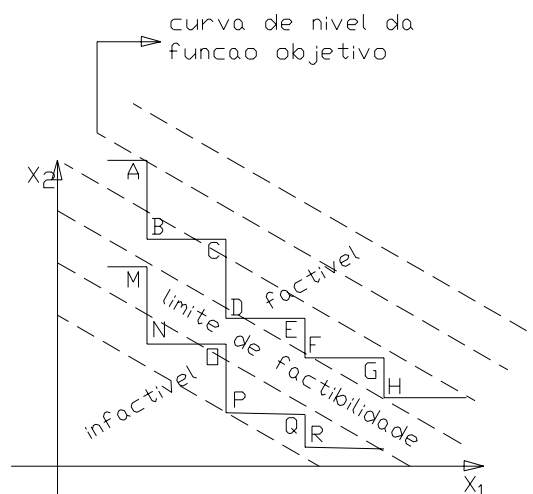


FIGURA 13 - Regiões factíveis e infactíveis em uma otimização genérica, com duas variáveis de projeto.

É possível notar que o menor valor da função objetivo é obtido no ponto D. Trabalhando com função penalizada com a sequência de r acima, muito esporadicamente, poderia se chegar ao ponto B com um valor muito pequeno de r , impedindo que se obtivesse um ponto de mínimo para a função objetivo penalizada, que tivesse o valor da função objetivo maior (ponto C). Isto equivale a dizer que se chegou ao ponto B com um valor tão pequeno de r , que os valores da função objetivo e da função objetivo penalizada praticamente se confundem. Daí, não se encontra uma direção de descida com pontos factíveis, e nem valores menores da função

objetivo penalizada, nas vizinhanças, impedindo o caminhar para C e posteriormente para D.

Para solucionar este problema, um dos meios utilizados com sucesso foi o da re Penalização, ou seja, uma vez conseguida a provável solução ótima, neste ponto é reiniciado o processo de busca, com um valor de r pequeno, relativamente ao inicial, mas grande, relativamente ao final. No caso foi utilizado o valor $r = 10$. Desta forma, conseguiu-se chegar à solução ótima em todos os exemplos utilizados e suas variações.

Ainda na tentativa de melhorar o desempenho do programa, foi utilizada uma sequência de r em escala logarítmica. A equação de recorrência utilizada foi a seguinte :

$$r_k = \frac{ra_k}{\ln(ra_k)} - e \quad (77)$$

onde :

r_k é o valor de r para a K-ésima redução.

$$ra_k = \frac{ra_{(k-1)}}{\ln(ra_{(k-1)})}$$

$$e = 2.7182818$$

assim, com $r_1 = ra_1 = 1000$, obtém-se as seguintes sequências de ra e r :

$$ra_1 = 1000, ra_2 = 144.76, ra_3 = 29.10, ra_4 = 8.63, ra_5 = 4.00, ra_6 = 2.72 \dots$$

$$r_1 = 1000, r_2 = 142.05, r_3 = 26.38, r_4 = 5.91, r_5 = 1.29, r_6 = 0.17 \dots$$

Comparativamente à outra sequência, nota-se que o valor de r não desce tão acentuadamente, nos pontos onde ainda se necessita de alguma penalização. Desta

forma, foi possível eliminar o processo de re penalização, e os resultados para todos os exemplos e suas variações foram corretos. Além disto, o tempo de execução ficou menor, mesmo com r tendendo para zero menos rapidamente no centro da sequência.

3.6 FUNÇÕES OBJETIVO PENALIZADAS PARA AS VIZINHANÇAS DA SOLUÇÃO CORRENTE.

3.6.1 Vizinhanças da solução corrente.

Para efeito de exemplificação, suponha-se uma treliça de três barras a ser otimizada, usando-se uma única tabela de perfis para as mesmas. Suponha-se ainda que existam 10 elementos nesta tabela, ou seja, 10 perfis disponíveis, e ainda que a solução corrente seja o vetor (6,4,6), o que representa que a solução corrente para as barras 1 e 3 é o 6^o perfil da tabela, e para a barra 2 é o 4^o. Assim, a vizinhança superior para a barra 1 é o vetor $x = (7, 4, 6)$ e a inferior é $x = (5, 4, 6)$. Analogamente podem ser conseguidas as vizinhanças para as demais barras.

A determinação das vizinhanças é necessária para se obter a direção de descida, ou seja, a direção do gradiente inteiro.

3.6.2 Matriz de rigidez da treliça para as vizinhanças da solução corrente.

Para a determinação da direção do gradiente inteiro, conforme já dito, é necessário conhecer as funções penalizadas e conseqüentemente as restrições de comportamento, que dependem dos deslocamentos e esforços em cada vizinhança da solução corrente. Isto será conseguido da mesma forma que o foi para a solução

corrente, com exceção de que para a montagem da matriz de rigidez de cada vizinhança será lida a matriz de rigidez da solução corrente, previamente arquivada em disco, e se fará o cálculo e a contribuição da diferença de rigidez, devido a variação da área da barra i , na matriz de rigidez da solução corrente, obtendo-se as matrizes de rigidez nas vizinhanças da barra i (ou grupo de barras i).

3.6.3 Determinação da direção do gradiente inteiro.

De posse das matrizes determinadas conforme o sub-item anterior, outra vez usando Choleski, são calculadas as restrições de comportamento, e daí, as funções penalizadas em cada vizinhança, obtendo-se a direção do gradiente inteiro (direção de descida) de acordo com o esquema abaixo:

$$G(XB)_i = 0.5.[P(XB + \Delta X_i, r) - P(XB - \Delta X_i, r)] \quad (78)$$

com i variando de 1 até o número de barras ou grupo de barras.

Em seguida :

$$S(XB)_i = - \frac{G(XB)_i}{\|G(XB)_i\|} \quad (79)$$

daí ao contrário de LIEBMAN et al. (1981) encontra-se o máximo em valor absoluto dos elementos do vetor $S(XB)$ e determina-se o vetor de direção relativa do gradiente em XB .

$$DR(XB)_i = \frac{S(XB)_i}{\max[ABS(S(XB))]} \quad (80)$$

de posse do vetor $DR(XB)$, encontra-se $GM(XB)$, o vetor da direção do gradiente inteiro em XB , alterando cada valor de $DR(XB)$ para o valor inteiro mais próximo.

A razão pela qual usou-se o $\max[ABS(S(XB))]$, ao contrário de LIEBMAN et al. (1981) que usa o mínimo, é meramente o tempo computacional gasto para resolver problemas práticos com as tabelas de perfis existentes.

Os perfis existentes no mercado, em geral, possuem uma relação não linear entre as características geométricas, portanto suas resistências não são diretamente proporcionais às suas áreas da seção transversal, ou seja, um perfil imediatamente superior a outro em termos de área, em boa parte das vezes tem uma resistência menor, devido a um possível raio de giração menor. Isto por si só, já eliminaria a possibilidade de utilização de um algoritmo como o encontrado em CELLA & LOGCHER (1971), que se baseia no fato de que uma solução continua factível, se esta for conseguida de outra factível, por acréscimo de área.

A falta de proporcionalidade nas variações das características geométricas pode gerar direções de descida incorretas em alguns casos, uma vez que são utilizadas as funções penalizadas nas vizinhanças para determinação das mesmas. Assim sendo, dois artifícios foram utilizados para reduzir o problema: o primeiro consiste em se fazer uma análise das vizinhanças, e fazer com que estas sejam tomadas como sendo a primeira seção factível acima para a vizinhança superior, e a primeira factível abaixo para a vizinhança inferior (caso esta exista). O segundo artifício é usar para nova solução corrente, a solução vizinha que menor valor da função objetivo penalizada resultou (desde que este valor seja menor que o da solução corrente), caso não se encontre solução melhor na direção de descida determinada. Este segundo artifício dispensaria a alteração mencionada

anteriormente, ou seja, usar $\max[\text{ABS}(S(\text{XB}))]$ ao invés do $\min[\text{ABS}(S(\text{XB}))]$, mas foi constatado que o tempo de execução do programa é menor.

Continuando com o exemplo da treliça de três barras, supondo que o gradiente em XB tenha sido encontrado e é :

$$G(\text{XB}) = [2 \ 4 \ 3]$$

daí:

$$\|G(\text{XB})\| = 5.38$$

e

$$S(\text{XB}) = - [2/5.38 \ 4/5.38 \ 3/5.38] = [-0.37 \ -0.74 \ -0.56]$$

este valor representa os decréscimos que deveriam ser dados nas variáveis de projeto x_1 , x_2 e x_3 para se obter um decréscimo unitário na função objetivo penalizada. Mas, conforme já mencionado, são necessários os acréscimos ou decréscimos inteiros, ou seja, passos inteiros, ou ainda, sair de um perfil e chegar em outro existente na tabela.

Seguindo o procedimento de LIEBMAN et al. (1981) tem-se:

$$DR(\text{XB}) = [-1 \ -2 \ -1.5]$$

$$GM(\text{XB}) = [-1 \ -2 \ -1]$$

Ou dispensando a primeira normalização com

$$G(\text{XB}) = [2 \ 4 \ 3]$$

tem-se:

$$DR(\text{XB}) = [-2/2 \ -4/2 \ -3/2] = [-1 \ -2 \ -1.5]$$

daí:

$$GM(\text{XB}) = [-1 \ -2 \ -1],$$

que é igual ao vetor conseguido segundo LIEBMAN et al. (1981), ou seja, com duas normalizações. Nota-se portanto, uma normalização desnecessária no referido trabalho.

O vetor GM(XB) representa que a máxima descida na função objetivo penalizada ocorre para variações múltiplas da variação -1 em x_1 , -2 em x_2 e -1 em x_3 (com $\lambda = 1$), o que significa tomar os perfis imediatamente inferiores para as variáveis x_1 e x_3 , e dois perfis abaixo para a variável x_2 , ou 2 perfis abaixo para x_1 e x_3 e 4 perfis abaixo para x_2 (com $\lambda=2$), e assim sucessivamente variando o valor de λ , até encontrar, se possível, um ponto de mínimo da função objetivo penalizada naquela direção.

Em função das já mencionadas faltas de homogeneidade nas variações das características geométricas, nas tabelas de perfis, as vezes é encontrado um valor muito grande no vetor GM(XB), que faz com que a possível nova solução seja infactível, ou mesmo esteja fora da tabela já para $\lambda=1$, o que torna inútil o trabalho de determinação da direção do gradiente inteiro, fazendo com que a busca se dê apenas nas vizinhanças da solução corrente, aumentando o tempo computacional principalmente no início do problema.

Afim de reduzir estes problemas, optou-se por usar $\text{máx}[ABS(S(XB))]$, assim:

$$DR(XB) = [-2/4 \ -4/4 \ -3/4] = [-0.5 \ -1.0 \ -0.75]$$

$$GM(XB) = [0 \ -1.0 \ -1.0]$$

O vetor GM(XB) representa agora quais as variáveis que serão alteradas; assim, a variável x_1 permaneceria a mesma, e as variáveis x_2 e x_3 tomariam o valor

correspondente a λ perfis imediatamente inferiores aos da solução corrente. Da mesma forma a busca será unidimensional, variando o valor de λ até encontrar, se possível, um ponto de mínimo da função objetivo penalizada naquela direção.

Vale lembrar que a alteração é devida a não existência, suposta nas otimizações contínuas, de uma relação constante entre áreas e raios de giração nos perfis existentes no mercado. É importante frisar também que, quanto mais homogênea for a variação das áreas relativamente à variação dos raios de giração, melhor será o desempenho do programa em termos de tempo de execução.

Com relação ao tempo de execução do programa, este ficou bastante reduzido, determinando as matrizes de rigidez das vizinhanças a partir da matriz da solução corrente. Para diminuir ainda mais este tempo, foi usado o artifício de se obter a direção de descida através das funções objetivos penalizadas das vizinhanças, usando resistências de cálculo referentes aos perfis da vizinhança e esforços e deslocamentos da solução corrente, para restrições de comportamento relativamente longe de serem violadas. Foi considerado o referencial de $\phi_i > 10\%$ para se usar este artifício.

4 PROGRAMA DE OTIMIZAÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO TRELIÇADAS PLANAS

4.1 GENERALIDADES

Será apresentado na sequência o fluxograma simplificado dos passos do programa de otimização usando variáveis discretas, objeto do presente trabalho, bem como serão abordados com detalhes os passos referentes às entradas de dados necessários à execução do mesmo.

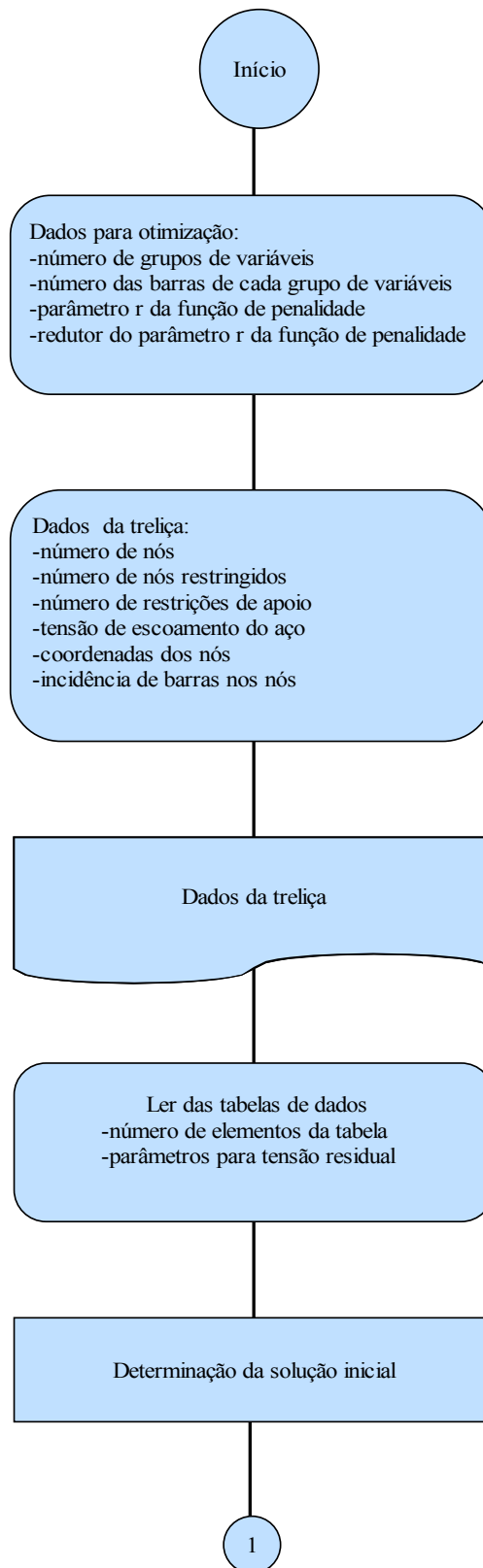
A listagem do referido programa em linguagem Turbo-Pascal será apresentada no ANEXO A.

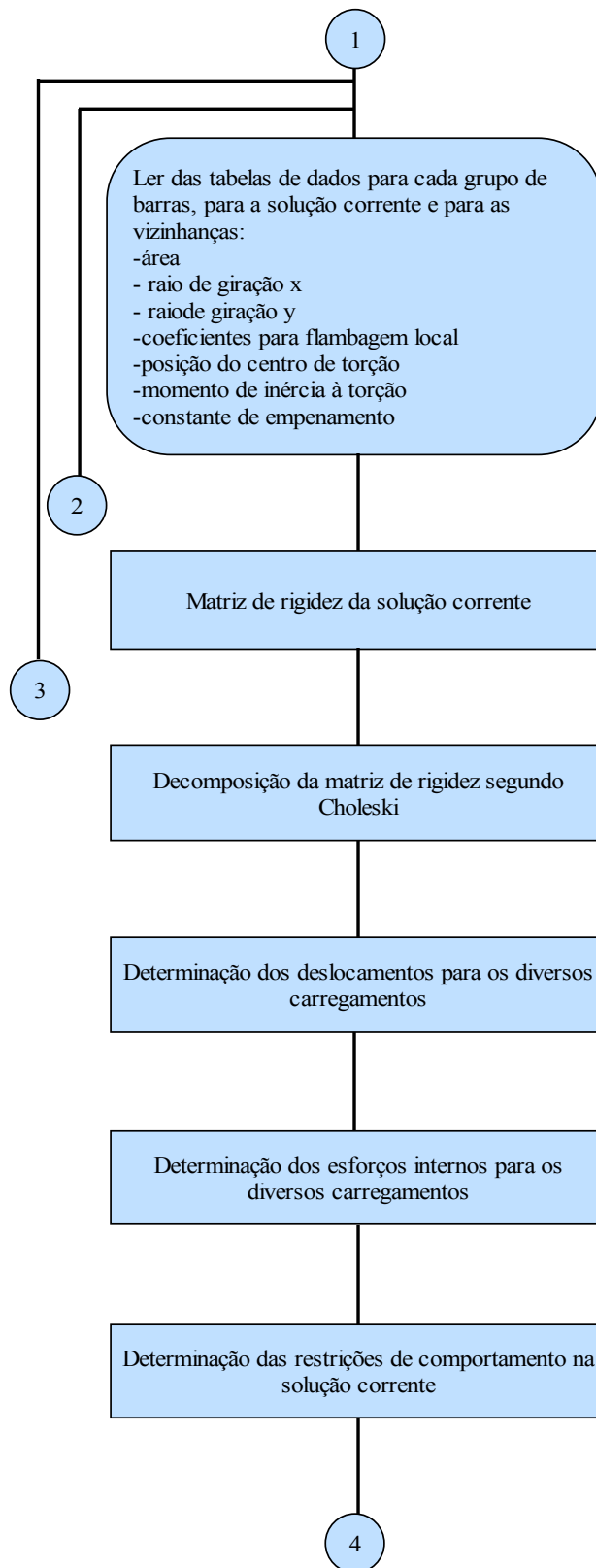
Os programas para geração de tabelas de dados necessárias no programa de otimização em questão, e de leitura com possibilidade de correção destas, serão listados no ANEXO B.

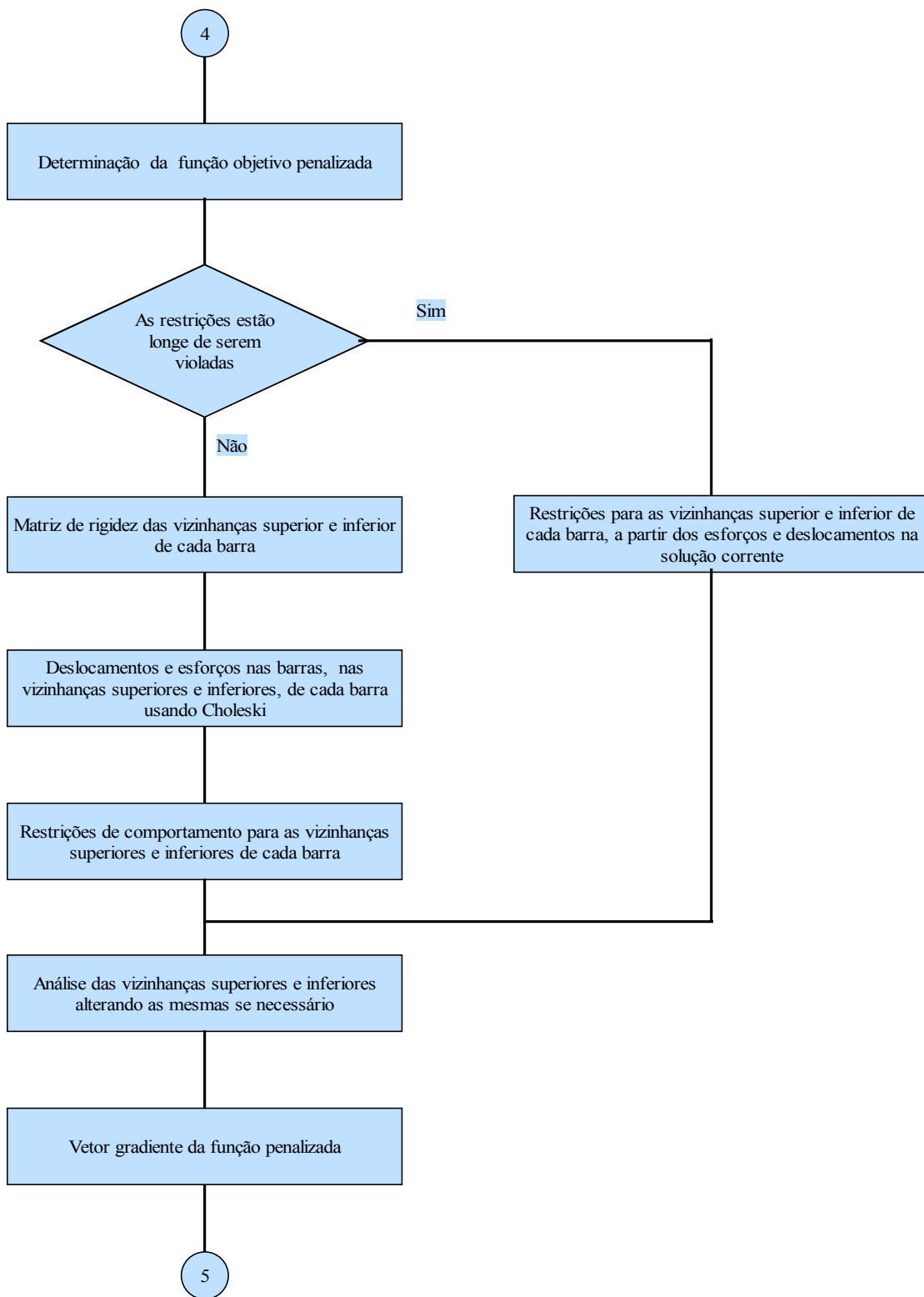
No ANEXO C encontram-se algumas tabelas de dados, geradas para os exemplos do presente trabalho.

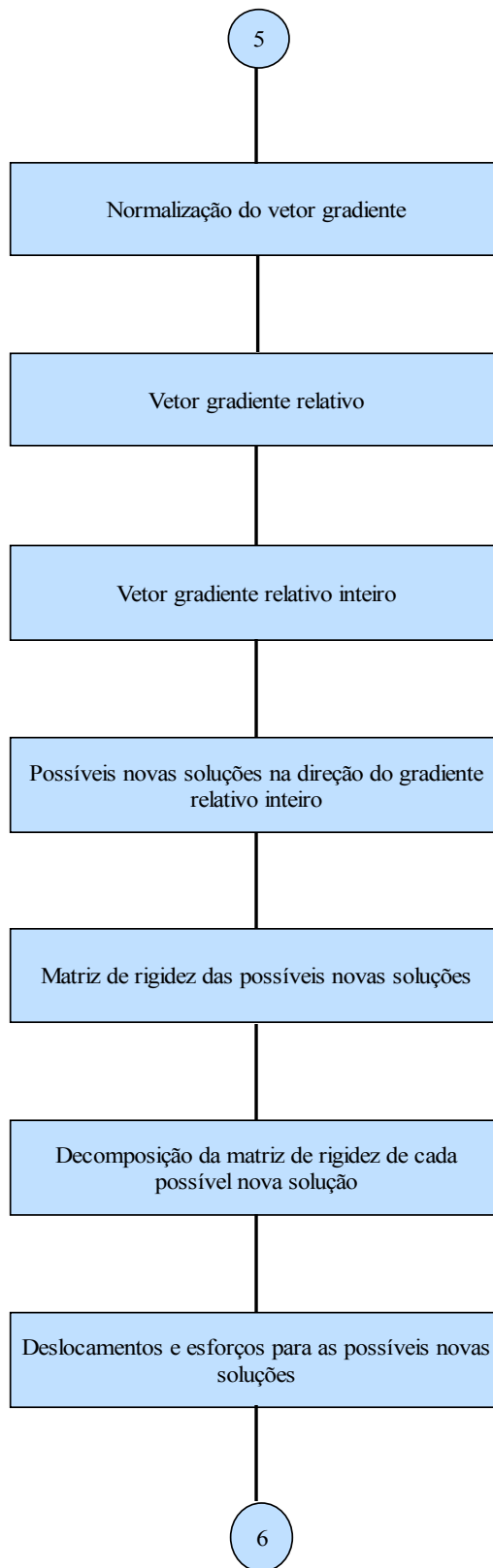
As listagens dos programas de análise de treliças planas e de cálculo de resistências para barras comprimidas, usados nas verificações de resultados obtidos nos exemplos, estão listados no ANEXO D.

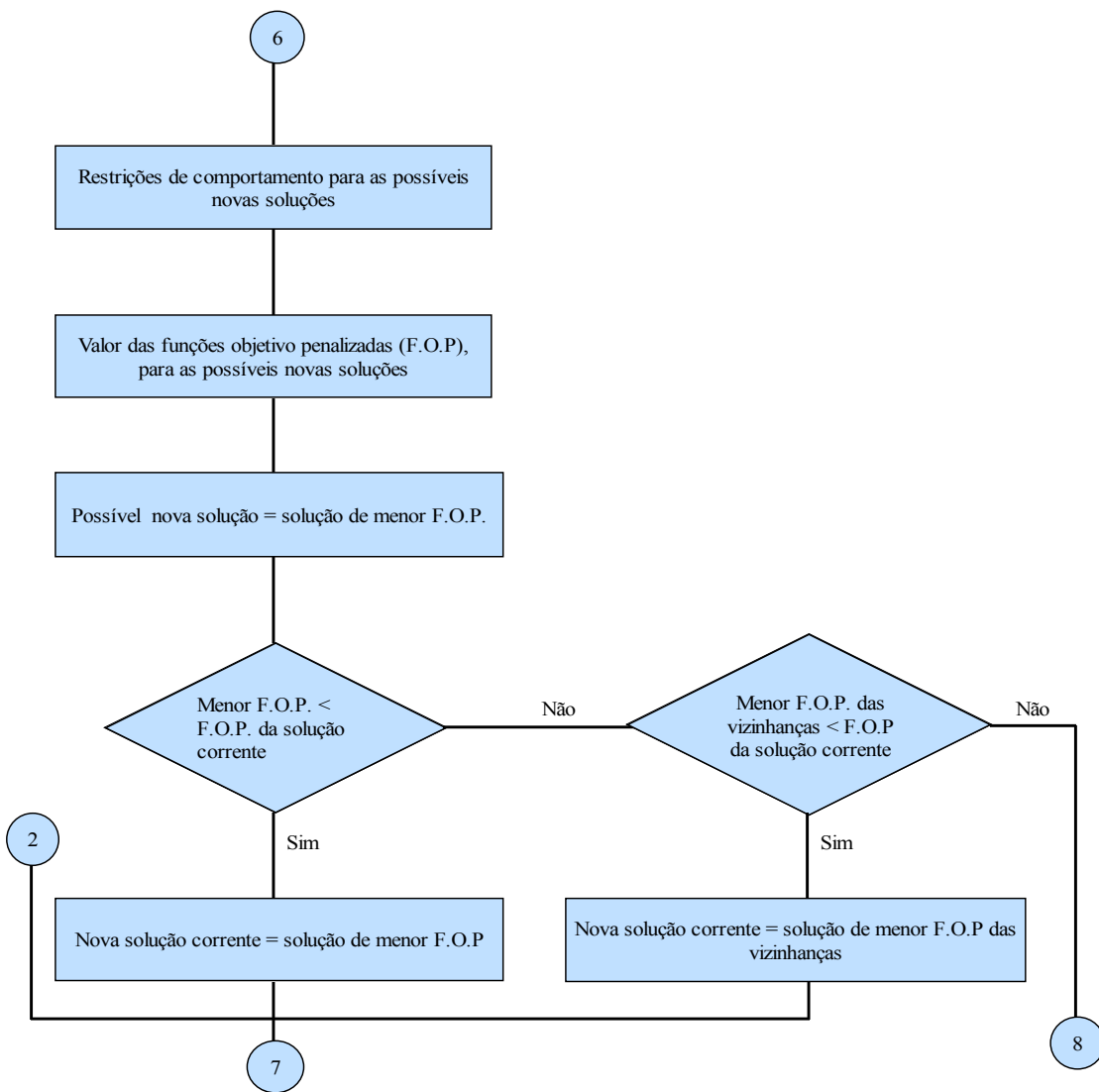
4.2 FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO

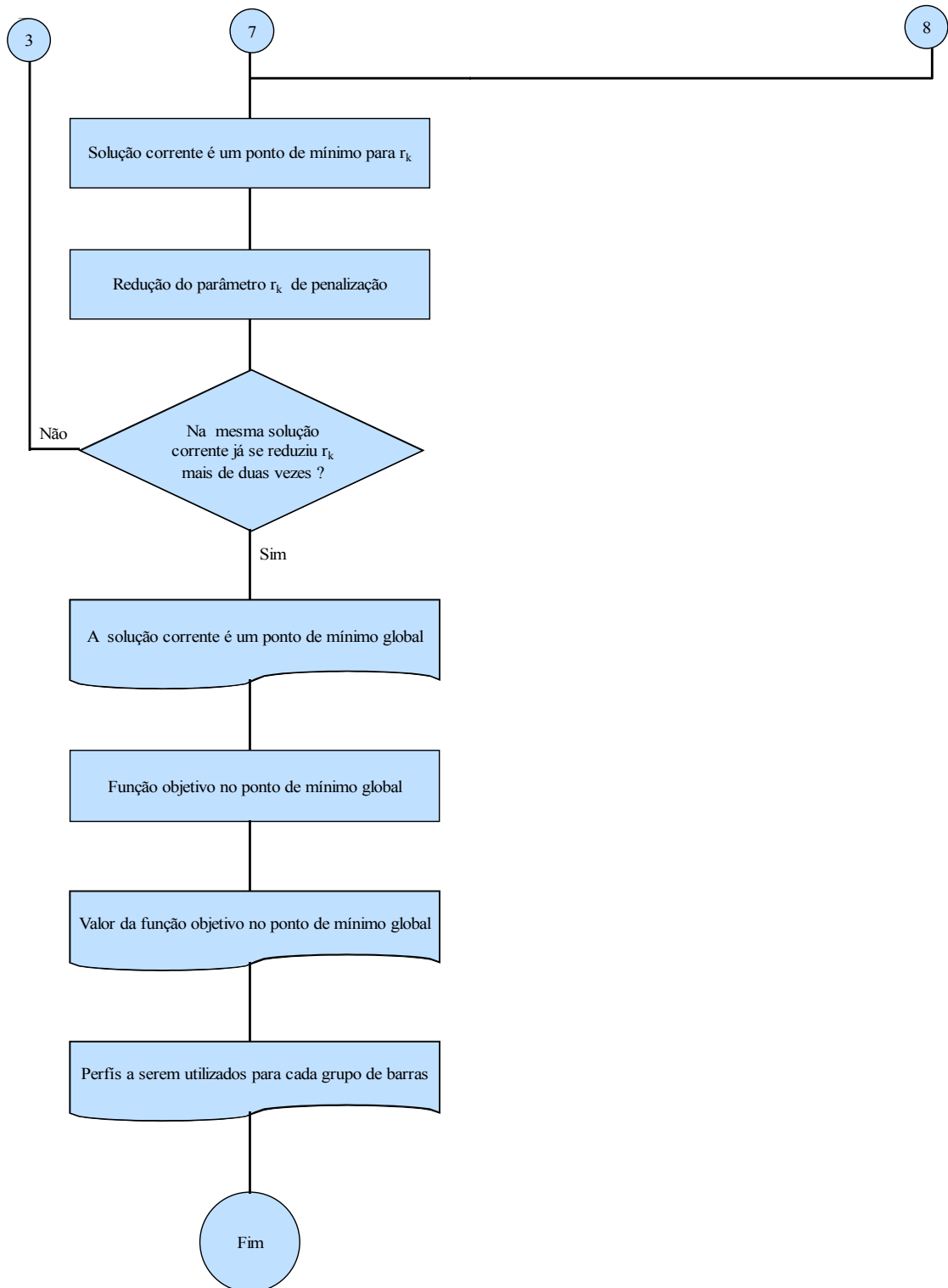












4.3 LEITURA DE DADOS PARA O PROGRAMA DE OTIMIZAÇÃO.

4.3.1 Dados relativos ao problema de otimização.

A partir das disponibilidades de perfis e da configuração geométrica da treliça são solicitados os seguintes dados:

- Vai haver grupamento de variáveis? - S/N.

- Número de grupos de variáveis. Caso não vá haver grupamento de variáveis de projeto, ou seja, caso não vá se impor que determinadas barras sejam compostas dos mesmos perfis, o número de grupos será igual ao número de barras.

- Número de barras de cada grupo

- Número da tabela de dados para cada grupo de variáveis. Neste ponto, são especificadas as seções de perfis a serem utilizadas em cada grupo de variáveis e conseqüentemente a tabela de dados onde a otimização se procederá para cada grupo de variáveis. Existem 22 tabelas disponíveis de composição de perfis, mas caso se queira uma outra composição, basta montar a respectiva tabela através do programa Gertab.Pas (geração de tabelas de dados).

- Parâmetro (r) da função de penalidade. Conforme se viu no capítulo 3, o parâmetro (r) é o termo que será diminuído no decorrer da otimização a fim de que a função objetivo penalizada tenda para a função objetivo. Para todos os exemplos analisados com uma solução inicial adotada de acordo com o capítulo 3, foram obtidos ótimos resultados em termos de tempo computacional e convergência, usando-se r inicial igual a 1000.

4.3.2 Dados relativos a análise da estrutura treliçada

Ainda em função da configuração geométrica, são solicitados os seguintes dados:

- Números de nós.
- Número de nós restringidos.
(nós com algum deslocamento impedido).
- Número de restrições de apoio.
(somatório do número de deslocamentos impedidos).
- Coordenadas dos nós.
(coordenadas X e Y dos nós em uma unidade compatível com os demais dados).
- Incidência de barras .
(para cada barra é necessário se fornecer o nó inicial e o final da mesma).
- Módulo de elasticidade.
(este dado poderia ser pré-fixado no programa, caso as unidades fossem sempre as mesmas).
- Tensão de escoamento.
(em função do aço a ser utilizado, é estabelecida a tensão de escoamento em unidades compatíveis com os demais dados).

4.3.3 Dados relativos aos carregamentos

Em conformidade com a norma vigente no Brasil (NBR- 8800), ABNT (1986), podem serem feitas combinações de carregamentos permanentes, variáveis e excepcionais. Para o programa de otimização estão previstas as atuações de diversas

combinações de ações com carregamento nodal, sendo necessário para cada combinação, o fornecimento do número de nós carregados e para cada nó carregado, as ações nas direções X e Y, observando que ações no mesmo sentido do eixo de referência são positivas, caso contrário, são negativas.

4.3.4 Deslocamentos limites dos nós.

Neste ponto será solicitado pelo programa o número de nós com restrições de comportamento, ou seja, o número de nós com limitações impostas de deslocamento. Daí serão solicitados o número de cada um destes nós, com sua respectiva limitação de deslocamento.

Os deslocamentos limites aqui referenciados entrarão no processo de otimização como parte integrante das restrições de comportamento dos nós

Segundo a ABNT (1986), os valores limites a serem impostos ao comportamento da estrutura e que garantem sua plena utilização, devem ser escolhidos levando-se em conta as funções previstas para a estrutura e os materiais a ela vinculados, e cada estado limite de utilização deve ser verificado utilizando-se combinações de ações nominais associadas ao tipo de resposta pesquisada. Como no programa em questão trabalha-se com combinações de cálculo (com coeficientes de ponderação de ações), as restrições de comportamento dos nós será levada em conta de forma aproximada, multiplicando-se limites de deslocamento por um valor médio dos coeficientes de ponderação de ações.

4.3.5 Leitura de dados das tabelas (Leitura interna do computador).

4.3.5.1 Leitura de dados comuns a todos os elementos de uma mesma tabela.

Neste ponto são lidos os parâmetros que levam em conta a influência das tensões residuais na flambagem, dados em função do tipo de perfil e do eixo em relação ao qual se dá a flexão durante a flambagem, portanto são comuns a todos os perfis de uma mesma tabela, para cada eixo.

Além destes dados comuns, são lidos também o número de elementos das tabelas envolvidas no processo de otimização em questão, afim de se determinar os limites superior e inferior das referidas tabelas.

4.3.5.2 Leitura dos dados de projeto específicos para cada grupo de barras.

Neste ponto serão lidos das tabelas de dados a área, os raios de giração, a constante de empenamento, o momento de inércia a torção, as coordenadas do centro de torção e o coeficiente de flambagem local dos elementos não enrijecidos para cada grupo de barras, referentes à solução corrente, às vizinhanças superiores e às inferiores.

Aqui também serão lidos os números dos perfis com possibilidade de coeficiente de flambagem local dos elementos enrijecidos < 1.0 . Posteriormente serão calculados os valores destes coeficientes para os perfis da solução, coincidentes com estes números.

4.4 TABELAS DISPONÍVEIS DE DADOS.

As tabelas disponíveis com as características das seções, serão apresentadas no Anexo C. No momento serão mostrados a seguir os números destas tabelas , com o tipo de seção formada (caso de composição de perfis), bem como a composição propriamente dita.

TABELA 07 - Tabelas de dados disponíveis

tabela	seção	composição	distância livre entre perfis
50	“U”	1 “U” laminado	-
51	“T”	2 “Us” laminados	0
52	“T”	2 “Us” laminados	1/8”
53	“T”	2 “Us” laminados	5/32”
54	“T”	2 “Us” laminados	3/16”
55	“T”	2 “Us” laminados	1/4”
56	“T”	2 “Us” laminados	5/16”
57	“T”	2 “Us” laminados	3/8”
58	“T”	2 “Us” laminados	1/2”
59	“T”	2 “Us” laminados	5/8”
60	“T”	2 “Us” laminados	3/4”
70	“L”	1 “L” laminado	-
71	“T”	2 “Ls” laminados	0
72	“T”	2 “Ls” laminados	1/8”
73	“T”	2 “Ls” laminados	5/32”
74	“T”	2 “Ls” laminados	3/16”
75	“T”	2 “Ls” laminados	1/4”
76	“T”	2 “Ls” laminados	5/16”
77	“T”	2 “Ls” laminados	3/8”
78	“T”	2 “Ls” laminados	1/2”
79	“T”	2 “Ls” laminados	5/8”
80	“T”	2 “Ls” laminados	3/4”

5 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

5.1 GENERALIDADES

São apresentados no presente capítulo: exemplos práticos, para mostrar a eficácia dos processos utilizados, e exemplos teóricos com a finalidade única de mostrar a concordância dos resultados em alguns pontos específicos.

Os resultados finais da otimização consistirão do valor da função objetivo no ponto de mínimo global, o número da tabela e da solução para cada barra, além da composição da seção em termos de perfis para este número da solução.

A função objetivo, conforme já mencionado, representa a volume de aço em cm^3 a ser gasto nas barras, considerando seus comprimentos teóricos.

5.2 EXEMPLO N^o 01

O primeiro exemplo, FIGURA 14, consiste de uma treliça plana composta de três barras e três nós sobre um apoio fixo e outro móvel, na qual serão usados perfis laminados simples tipo “L” de abas iguais (tabela de dados número 70), e aço com tensão de escoamento de 25 kN/cm^2 . O objetivo deste exemplo é simplesmente a verificação direta dos resultados, uma vez que a estrutura é isostática e

consequentemente os esforços não variam com a alteração das seções ao longo do processo de otimização.

Será apresentada na FIGURA 15 a evolução da busca da solução ótima, e na sequência dos resultados da otimização serão apresentados os esforços e dimensionamento prático das barras para conferência.

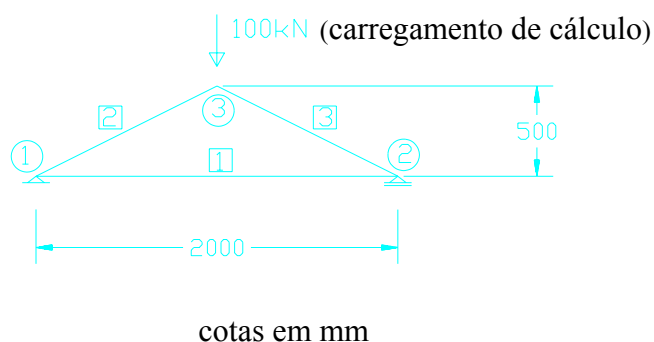


FIGURA 14 - Treliça plana de 3 barras e 3 nós dos exemplos 01, 02 e 03

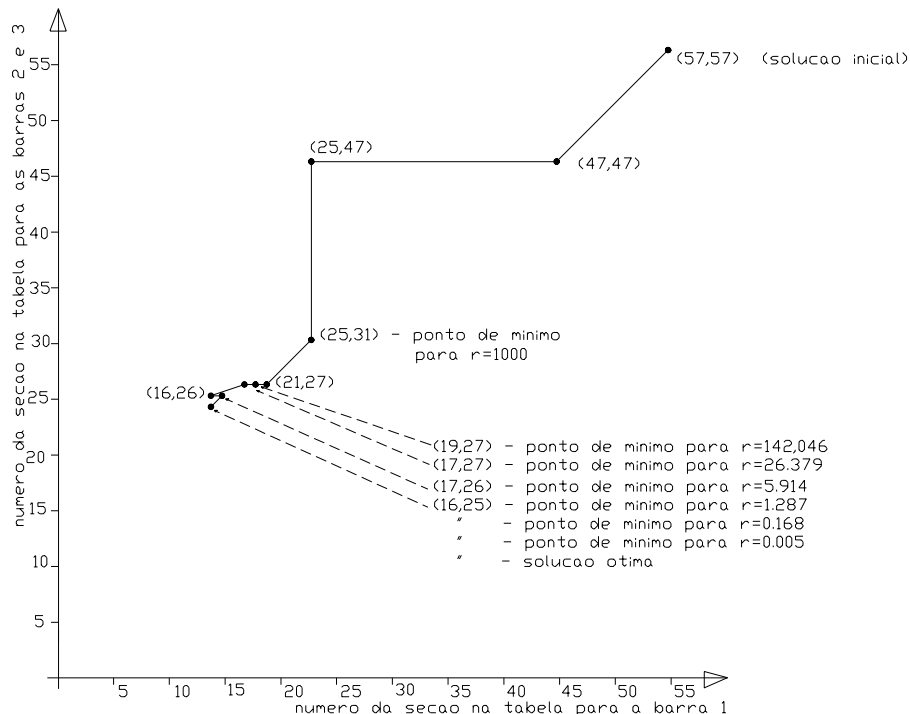


FIGURA 15 - Evolução da busca da solução ótima para o exemplo 01

TABELA 08 - Resultados finais para o exemplo 01

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1	70	16	“L” laminado 2” x 2”x 3/16”
2	2	70	25	“L” laminado 2 ½” x 2 ½” x 5/16”
3	3	70	25	“L” laminado 2 ½” x 2 ½” x 5/16”
Volume de aço = 3035.79 cm ³				

Verificação dos resultados da otimização:

Dimensionamento da barra 1:

a - Esforço de cálculo

$$Nd_1 = 100 \text{ Kn (tração)}$$

b - Estado limite escoamento da seção bruta

Das equações 04 e 06 e tabela 03:

$$Rd(+)_1 = 0.9 A_g \cdot f_y = 0.9 A_g \cdot 25 = 22.5 A_g$$

$$Rd(+)_1 \geq Nd \Rightarrow 22.5 A_g \geq 100 \Rightarrow A_g \geq 4.44 \text{ cm}^2$$

$$\text{Seção adotada “L” 2” x 2” x 3/16”} \quad A_g = 4.58 \text{ cm}^2$$

O que confere com o resultado da otimização

c - Estado limite ruptura da seção líquida efetiva (verificação)

Das equações 05 e 06 e tabela 3 :

$$Rd(+)_2 = 0.75 A_e \cdot f_u = 0.75 C_t \cdot A_n \cdot f_u$$

considerando as ligações como sendo soldadas ($A_n = A_g$),

$f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$ e ainda $C_t = 0.75$ (pior situação) :

$$Rd(+)_2 = 0.75 \cdot 0.75 \cdot 4.58 \cdot 40 = 103.05 \text{ kN} > Nd_1 = 100 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

d - Verificação do índice de esbeltez

$$\lambda \leq 240 \text{ (considerando barra tracionada)}$$

$$\lambda = l_{fl}/r = 200/0.99 = 202 < 240 \text{ OK!}$$

Portanto a seção satisfaz e é a mais econômica.

Dimensionamento das barras 2 e 3

a - Esforço de cálculo

$$Nd_{2,3} = -111.803 \text{ kN (compressão).}$$

b - Verificação da seção conseguida no processo de otimização

- Resistências de cálculo

das equações (18), (19),(20), (22), (28),(38) e com $l_{fl} = 111.80 \text{ cm}$,

ou com o programa FLTORCD :

$$Rd_x = 116.31 \text{ kN}$$

$$Rd_{yz} = 164.94 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow Rd(-) = Rd_x = 116.31 \text{ kN} > Nd_{2,3} = 111.803 \text{ kN}$$

c - Verificação do índice de esbeltez :

$$\lambda \leq 200 \text{ (considerando barra comprimida)}$$

$$\lambda = 111.80 / 1.24 = 90.16 \leq 200 \text{ OK!}$$

Portanto a seção é satisfatória.

d - Verificação de seções mais econômicas

d - 1 Seção número 24 na tabela de dados “L” 2” x 2” x 3/8”

$$Rd_x = 82.45 \text{ kN}$$

$$Rd_{yz} = 142.54 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow Rd(-) = Rd_x = 82.45 \text{ kN} < Nd = 111.803 \text{ kN} \Rightarrow \text{A seção não satisfaz.}$$

d - 2 Seção número 23 na tabela de dados “L” 2 1/2” x 2 1/2” x 1/4”

$$Rd_x = 94.23 \text{ kN}$$

$$Rd_{yz} = 128.14 \text{ kN}$$

$\Rightarrow Rd(-) = Rd_x = 94.23 \text{ kN} < Nd = 111.803 \text{ kN} \Rightarrow$ A seção não satisfaz.

Portanto a seção conseguida no processo de otimização é realmente a mais econômica.

5.3 EXEMPLO N^o 02

Mesma estrutura da FIGURA 14, utilizando para as barras 2 e 3 perfis tipo “U” laminado (tabela de dados número 50).

TABELA 09 - Resultados finais para o exemplo 02

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1	70	16	“L” laminado 2” x 2” x 3/16”
2	2	50	03	“U” laminado 4” x 8.0 kg/m
3	3	50	03	“U” laminado 4” x 8.0 kg/m
Volume de aço = 3174.43 cm ³				

5.4 EXEMPLO N^o 03

Ainda a mesma estrutura da FIGURA 14, tornando-a hiperestática pela transformação do apoio móvel em fixo.

O objetivo deste exemplo é verificar o funcionamento da limitação do índice de esbeltez. Uma vez que a barra 1 terá esforço nulo, o que determinará a solução para a mesma, é a limitação do índice de esbeltez recomendado pela NBR 8800 ABNT (1986).

TABELA 10 - Resultados finais para o exemplo 03

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1	70	08	“L” laminado 1 3/4” x 1 3/4” x 1/8”
2	2	70	25	“L” laminado 2 1/2” x 2 1/2” x 3/16”
3	3	70	25	“L” laminado 2 1/2” x 2 1/2” x 3/16”
Volume de aço = 2659.79 cm ³				

O perfil “L” laminado 1 3/4” x 1 3/4” x 1/8” tem um raio de giração mínimo igual a 0.88 cm, o que fornece um índice de esbeltez para a barra 1 igual a 227.27. Como os perfis mais leves levam a um índice de esbeltez maior que 240, a solução 8 para a barra 1 realmente é a mais leve que atende esta limitação. É importante ressaltar que a limitação usada para a barra com esforço nulo foi de 240, que é a menos crítica.

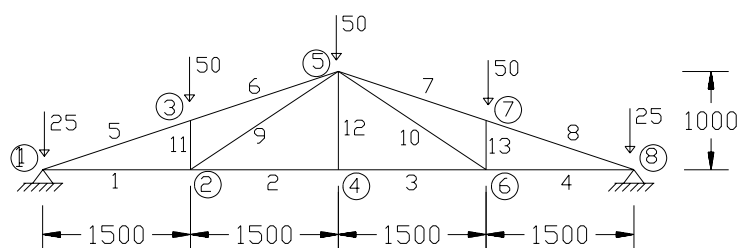
5.5 EXEMPLO N^o 04

Este exemplo consiste de uma treliça plana de 13 barras e 8 nós (FIGURA 16), usando para os banzos seções duplo “L” com distância livre entre os perfis de 1/4” (tabela de dados número 75), e perfis “L” laminados (tabela de dados número 70) para as demais.

Neste exemplo foi utilizado o agrupamento de barras a seguir:

TABELA 11 - Agrupamento de barras para o exemplo 04

grupo	barras componentes
1	1,4
2	2,3
3	5,6,7,8
4	9,10
5	11,13
6	12



cotas em mm e carregamento de cálculo em kN

FIGURA 16 - Treliça plana de 13 barras e 8 nós do exemplo 04 e 05

TABELA 12 - Resultados finais para o exemplo 04

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1, 4	75	03	duplo "L" laminado 7/8" x 7/8" x 1/8"
2	2, 3	75	08	duplo "L" laminado 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
3	5, 6, 7, 8	75	25	duplo "L" laminado 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
4	9, 10	70	16	"L" laminado 2" x 2" x 3/16"
5	11, 13	70	12	"L" laminado 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
6	12	70	03	"L" laminado 7/8" x 7/8" x 1/8"
Volume de Aço = 16549.70 cm ³				

5.6 EXEMPLO N^o 05

Será otimizada a mesma treliça e com os mesmos dados do exemplo anterior, supondo agora que não vai haver agrupamento de barras.

TABELA 13 - Resultados finais para o exemplo 05

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1	75	03	duplo "L" laminado 7/8" x 7/8" x 1/8"
2	2	75	08	duplo "L" laminado 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
3	3	75	08	duplo "L" laminado 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
4	4	75	03	duplo "L" laminado 7/8" x 7/8" x 1/8"
5	5	75	25	duplo "L" laminado 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
6	6	75	25	duplo "L" laminado 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
7	7	75	25	duplo "L" laminado 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
8	8	75	25	duplo "L" laminado 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
9	9	70	16	"L" laminado 2" x 2" x 3/16"
10	10	70	16	"L" laminado 2" x 2" x 3/16"
11	11	70	12	"L" laminado 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
12	12	70	03	"L" laminado 7/8" x 7/8" x 1/8"
13	13	70	12	"L" laminado 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
Volume de aço = 16549.70 cm ³				

5.7 EXEMPLO N^o 06

Otimização da mesma treliça do exemplo 05, com os mesmos dados, sem agrupamento de barras, impondo uma limitação do deslocamento do nó 4 de 0.5 cm.

TABELA 14 - Resultados finais para o exemplo 06

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1	75	03	duplo "L" laminado 7/8" x 7/8" x 1/8"
2	2	75	08	duplo "L" laminado 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
3	3	75	08	duplo "L" laminado 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
4	4	75	03	duplo "L" laminado 7/8" x 7/8" x 1/8"
5	5	75	26	duplo "L" laminado 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
6	6	75	28	duplo "L" laminado 3" x 3" x 3/8"
7	7	75	26	duplo "L" laminado 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
8	8	75	26	duplo "L" laminado 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
9	9	70	16	"L" laminado 2" x 2" x 3/16"
10	10	70	16	"L" laminado 2" x 2" x 3/16"
11	11	70	11	"L" laminado 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
12	12	70	03	"L" laminado 7/8" x 7/8" x 1/8"
13	13	70	11	"L" laminado 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
Volume de aço = 21740.78 cm ³				

Para esta solução o deslocamento do nó 4 é de 0.4950 cm. É interessante salientar, que se fosse adotada a solução 26 para a barra 6 (22.32 cm² de área), para que a treliça ficasse simétrica, o deslocamento neste nó passaria a ser 0.51834 cm que é maior que o limite estabelecido. Se for adotada a solução 27 (área de 22.96 cm²) para as barras 5,6,7 e 8, o deslocamento no referido nó será de 0.51473 cm o que é também maior do que o permitido, portanto a solução mais leve é realmente a que dá uma treliça assimétrica.

5.8 EXEMPLO N^o 07

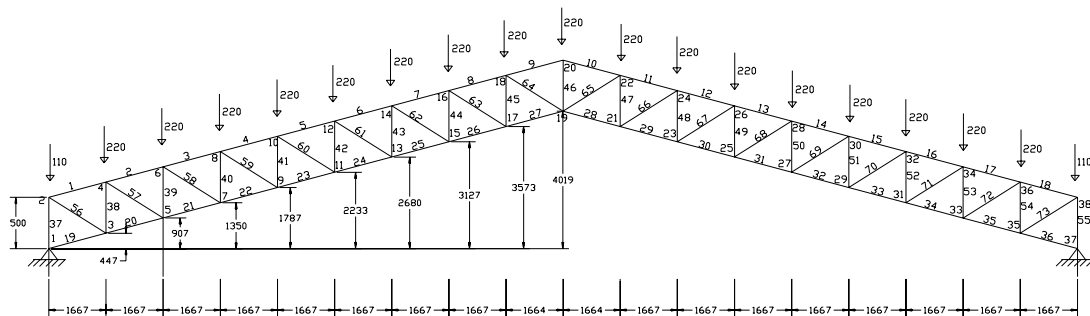
Este exemplo consiste da otimização de uma treliça (FIGURA 17), de 55 barras e 38 nós, executada por uma empresa da cidade de Uberlândia, usando para os banzos seções duplo “L” laminados com distância livre entre perfis de 5/16” (tabela de dados número 76), e “L” laminado (tabela de dados número 70) para as demais.

A tensão de escoamento utilizada no cálculo foi de 25 kN/cm², e o fato de ter sido usado apenas um carregamento, é devido ao fornecimento incompleto de dados pela empresa.

O agrupamento de barras utilizado foi pré-definido como se segue :

TABELA 15 - Agrupamento de barras para o exemplo 07

grupo	barras componentes
1	1,2,3,4,15,16,17,18
2	5,6,7,8,9,10,11,12,13,14
3	19,20,21,22,23,32,33,34,35,36
4	24,25,26,27,28,29,30,31
5	37,38,39,40,41,51,52,53,54,55
6	42,43,44,45,46,47,48,49,50
7	56,57,58,59,70,71,72,73
8	60,61,62,63,66,67,68,69
9	64,65



cotas em mm e ações em kN

FIGURA 17 - Treliça plana de 55 barras e 38 nós do exemplo 07

TABELA 16 - Resultados finais para o exemplo 07

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1,2,3,4,15, 16,17,18.	76	07	duplo “L” laminado 1 ½” x 1 ½” x 1/8”
2	5,6,7,8,9,10, 11,12,13,14.	76	07	duplo “L” laminado 1 ½” x 1 ½” x 1/8”
3	19,20,21,22,23, 32,33,34,35,36.	76	08	duplo “L” laminado 1 ¾” x 1 ¾” x 1/8”
4	24,25,26,27, 28,29,30,31.	76	07	duplo “L” laminado 1 ½” x 1 ½” x 1/8”
5	37,38,39,40,41, 51,52,53,54,55.	70	08	“L” laminado 1 ¾” x 1 ¾” x 1/8”
6	42,43,44,45,46, 47,48,49,50.	70	11	“L” laminado 2” x 2” x 1/8”
7	56,57,58,59, 70,71,72,73.	70	08	“L” laminado 1 ¾” x 1 ¾” x 1/8”
8	60,61,62,63 66,67,68,69.	70	11	“L” laminado 2” x 2” x 1/8”
9	64,65.	70	23	“L” laminado 2 ½” x 2 ½” x 1/4”
Volume de aço = 51421.87 cm ³				

5.9 EXEMPLO N^o 08

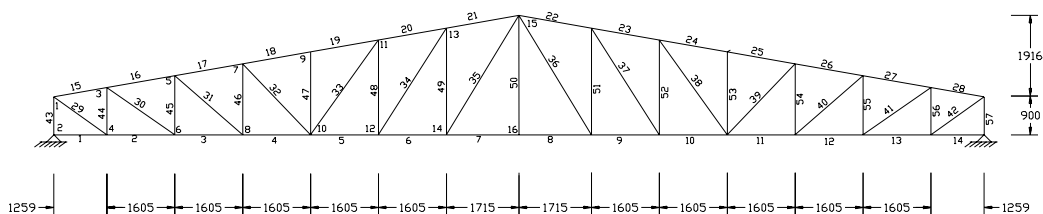
A treliça do exemplo 08 (FIGURA 18), assim como a anterior, é um exemplo prático, que foi executada por outra empresa de construção metálica da cidade de Uberlândia.

Da mesma forma, a tensão de escoamento utilizada no cálculo foi de 25 kN/cm², foram usadas seções duplo “L” laminados com distância livre entre perfis de 1/4” (tabela de dados número 75) para os banzos e perfis “L” laminados simples para as demais barras.

As ações nos nós carregados estão relacionadas na TABELA 17, e as combinações de ações utilizadas foram as seguintes:

Combinações de ações utilizadas:

- a - $1.4 \times (\text{Permanente}) + 1.5 \times (\text{Sobrecarga}) + 1.4 \times 0.6 \times (\text{Vento 1})$
- b - $0.9 \times (\text{Permanente}) + 1.4 \times (\text{Vento 2})$
- c - $0.9 \times (\text{Permanente}) + 1.4 \times (\text{Vento 3})$



cotas em mm

FIGURA 18 - Treliça plana de 57 barras e 30 nós dos exemplos 08 e 09

TABELA 17 - Ações atuantes na treliça dos exemplos 08 e 09

Aplicação	Permanente	Sobrecarga	Vento 1		Vento 2		Vento 3	
	(kN)	(kN)	(kN)		(kN)		(kN)	
Eixo Nó	Y	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	-3.34	-0.85	0.03	-0.15	-0.22	1.22	-0.11	0.61
3	-2.27	-1.93	0.06	-0.35	-0.49	2.78	-0.24	1.39
5	-2.55	-2.17	0.07	-0.39	-0.55	3.12	-0.27	1.56
7	-2.55	-2.17	0.07	-0.39	-0.55	3.12	-0.27	1.56
9	-2.55	-2.17	0.07	-0.39	-0.55	3.12	-0.27	1.56
11	-2.55	-2.17	0.07	-0.39	-0.55	3.12	-0.27	1.56
13	-2.64	-2.24	0.07	-0.40	-0.57	3.23	-0.28	1.61
15	-2.72	-2.31	0	-0.42	0	3.33	0.29	3.33
17	-2.64	-2.24	-0.07	-0.40	0.57	3.23	0.85	4.84
19	-2.55	-2.17	-0.07	-0.39	0.55	3.12	0.82	4.68
21	-2.55	-2.17	-0.07	-0.39	0.55	3.12	0.82	4.68
23	-2.55	-2.17	-0.07	-0.39	0.55	3.12	0.82	4.68
25	-2.55	-2.17	-0.07	-0.39	0.55	3.12	0.82	4.68
27	-2.27	-1.93	-0.06	-0.35	0.49	2.78	0.74	4.17
29	-3.34	-0.85	-0.03	-0.15	0.22	1.22	0.32	1.83

O agrupamento de barras utilizado está relacionado na TABELA 18.

TABELA 18 - Agrupamento de barras para o exemplo 08

grupo	barras componentes
1	1,2,3,4,7,8,9,10,11,12,13,14.
2	15,16,17,18,19,20, 21,22,23,24,25,26.
3	29,30,31,32,39,40,41,42.
4	33,34,35,36,37,38
5	43,44,45,46,54,55,56,57.
6	47,48,49,50,51,52,53.

TABELA 19 - Resultados finais para o exemplo 08

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1,2,3,4,5,6, 7,8,9,10,11, 12,13,14.	75	14	duplo "L" laminado 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
2	15,16,17,18, 19,20,21,22, 23,24,25,26.	75	19	duplo "L" laminado 2" x 2" x 1/4"
3	29,30,31,32, 39,40,41,42.	70	19	"L" laminado 2" x 2" x 1/4"
4	33,34,35, 36,37,38.	70	27	"L" laminado 3" x 3" x 5/16"
5	43,44,45,46, 54,55,56,57.	75	07	duplo "L" laminado 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
6	47,48,49,50, 51,52,53	75	08	duplo "L" laminado 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
Volume de aço = 88733.61 cm ³				

Usando-se para o grupo 4 perfil duplo “L”, ou seja, a tabela 75, é encontrada uma solução com valor menor da função objetivo ($F.O. = 77684.832 \text{ cm}^3$), e os perfis (solução) no caso serão os mesmos, com exceção, é lógico, do grupo 4, que passa a ser duplo “L” $1 \frac{3}{4}'' \times 1 \frac{3}{4}'' \times 1/8''$.

5.10 EXEMPLO N^o 09

Verificando as tabelas apresentadas em MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO (1988), ou determinando os valores das resistências de cálculo segundo ABNT (1986), é possível notar que a medida que os comprimentos de flambagem à flexão e/ou as espessuras dos elementos componentes dos perfis da seção ficam menores, os efeitos da flexo-torção são mais sentidos, ou seja, para cada seção existe um comprimento de flambagem a flexão, abaixo do qual a resistência à flexo-torção é a mais crítica.

Uma vez que muitos calculistas, por simplificação, como antigamente não utilizam os efeitos da flexo-torção em seus projetos, por curiosidade, é apresentada a seguir a solução para o exemplo anterior sem este efeito:

TABELA 20 - Resultados finais para o exemplo 09

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1,2,3,4,5,6, 7,8,9,10,11, 12,13,14.	75	11	duplo “L” laminado 2” x 2” x 1/8”
2	15,16,17,18, 19,20,21,22, 23,24,25,26.	75	19	duplo “L” laminado 2” x 2” x 1/4”
3	29,30,31,32, 39,40,41,42.	70	19	“L” laminado 2” x 2” x 1/4”
4	33,34,35, 36,37,38.	70	27	“L” laminado 3” x 3” x 5/16”
5	43,44,45,46, 54,55,56,57.	75	07	duplo “L” laminado 1 1/2” x 1 1/2” x 1/8”
6	47,48,49,50, 51,52,53	75	08	duplo “L” laminado 1 3/4” x 1 3/4” x 1/8”
Volume de aço = 84773.61 cm ³				

Na verdade, foram determinadas as soluções sem o referido efeito para todos os exemplos anteriores, e verificou-se que as soluções para algumas barras puderam ser mais leves, em função da não necessidade de elementos com espessuras maiores para aumentar a rigidez à torção. Em outras palavras, verificou-se que perfis quase nunca usados antigamente, pelo seu maior peso e menor resistência à flambagem com flexão, passaram a ser em alguns casos, levando em conta o efeito da torção, os mais econômicos.

5.11 EXEMPLO Nº 10

Dimensionamento de uma viga mestra de uma cobertura metálica do tipo “Shed”, (FIGURA 19), com os carregamentos apresentados em SALES et al. (1994), e dimensionamento das barras dos pilares treliçados colocados nas extremidades das referidas vigas.

O agrupamento de barras e as ações nos nós carregados estão relacionados nas TABELAS 21 e 22 respectivamente.

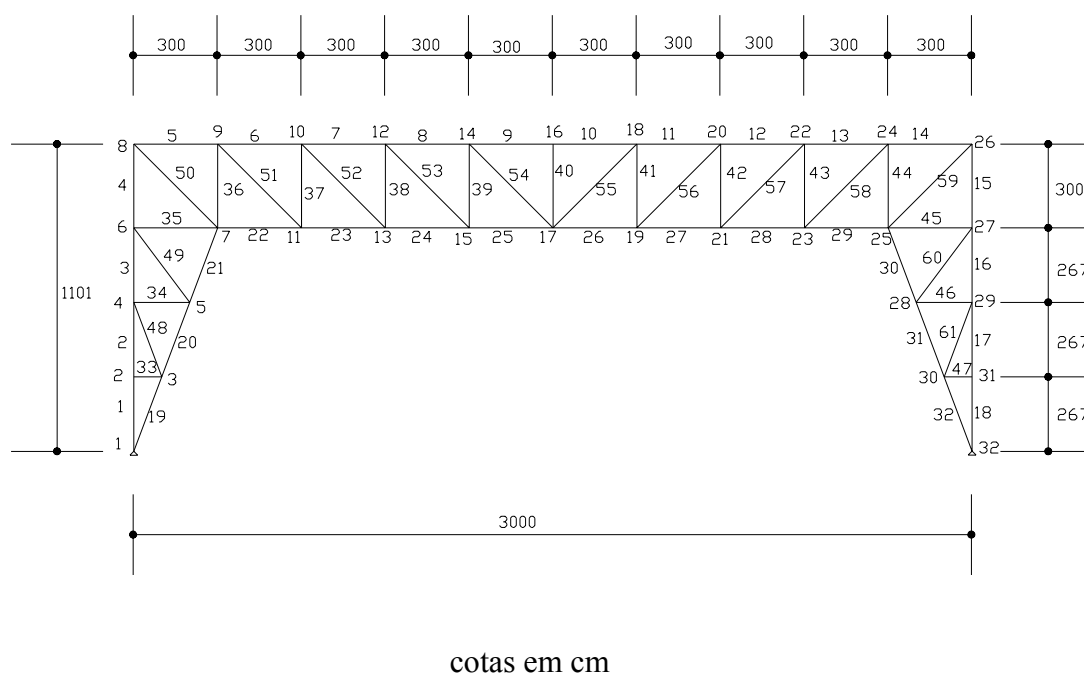


FIGURA 19 - Treliça (viga mestra) de 61 barras e 32 nós dos exemplos 10 e 11

TABELA 21 -Agrupamento de barras para os exemplos 10 e 11

grupo	barras componentes
1	1,2,3,4,15,16,17,18
2	19,20,21,30,31,32
3	5,14
4	6,7,8,9,10,11,12,13
5	35,45
6	22,23,24,25,26,27,28,29
7	33,34,46,47
8	36,38,40,42,44
9	37,39,41,43
10	48,49,60,61
11	50,51,58,59
12	52,53,54,55,56,57

TABELA 22 - Ações atuantes na treliça dos exemplos 10 e 11

Aplicação	Permanente	Sobrecarga	Vento 1		Vento 2		Vento 3	
	(kN)	(kN)	(kN)		(kN)		(kN)	
Eixo Nó	Y	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0.00	0.00	-7.21	0.00	6.41	0.00	-7.21	0.00
2	0.00	0.00	-14.42	0.00	12.82	0.00	-14.42	0.00
4	0.00	0.00	-14.42	0.00	12.82	0.00	-14.42	0.00
6	-7.75	-3.75	-15.31	7.15	13.61	8.20	-15.31	-2.05
8	-3.75	-3.75	-8.10	2.05	7.20	8.20	-8.10	-2.05
10	-7.50	-7.50	0.00	4.10	0.00	15.50	0.00	-4.10
11	-7.50	-7.50	0.00	14.30	0.00	15.50	0.00	-4.10
14	-7.50	-7.50	0.00	4.10	0.00	12.3	0.00	-4.10
15	-7.50	-7.50	0.00	14.30	0.00	12.3	0.00	-4.10
18	-7.50	-7.50	0.00	4.10	0.00	5.40	0.00	-4.10
19	-7.50	-7.50	0.00	14.30	0.00	5.40	0.00	-4.10
22	-7.50	-7.50	0.00	4.10	0.00	4.20	0.00	-4.10
23	-7.50	-7.50	0.00	14.30	0.00	4.20	0.00	-4.10
26	-3.75	-3.75	8.10	2.05	4.05	2.10	8.10	-2.05
27	-7.75	-3.75	15.31	7.15	7.65	2.10	15.31	-2.05
29	0.00	0.00	14.42	0.00	7.21	0.00	14.42	0.00
31	0.00	0.00	14.42	0.00	7.21	0.00	14.42	0.00
32	0.00	0.00	7.21	0.00	3.60	0.00	7.21	0.00

As combinações de ações utilizadas foram as seguintes:

- a - $1.3 \times (\text{Permanente}) + 1.5 \times (\text{Sobrecarga}) + 1.4 \times 0.6 \times (\text{Vento 3})$
- b - $1.0 \times (\text{Permanente}) + 1.4 \times (\text{Vento 1})$
- c - $1.0 \times (\text{Permanente}) + 1.4 \times (\text{Vento 2})$

Obs. : Foram desconsideradas aqui as flexões nos montantes de fixação das vigas mestras, provocadas pela atuação do vento nas faces verticais de fechamento.

TABELA 23 - Resultados finais para o exemplo 10

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1,2,3,4,15 16,17,18.	76	23	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 1/4"
2	19,20,21 30,31,32	76	27	duplo "L" laminado 3" x 3" x 5/16"
3	5, 14	106(*)	26	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 3/8"
4	6,7,8,9,10 11,12,13	106(*)	30	duplo "L" laminado 3" x 3" x 1/2"
5	35, 45	106(*)	21	duplo "L" laminado 2" x 2" x 5/16"
6	22,23,24,25, 26,27,28,29	106(*)	25	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 5/16"
7	33,34, 46,47	76	08	duplo "L" laminado 1 ¾" x 1 ¾" x 1/8"
8	36,38,40, 42,44	76	25	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 5/16"
9	37,39, 41,43	76	23	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 1/4"
10	48,49, 60,61	76	23	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 1/4"
11	50,51, 58,59	76	27	duplo "L" laminado 3" x 3" x 5/16"
12	52,53,54, 55,56,57	76	23	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 1/4"
Volume de aço = 373.223,22 cm ³				

(*) A tabela 106 foi criada a partir da 76, reduzindo pela metade o raio de giração y , levando em conta que o comprimento de flambagem em torno deste eixo, para os banzos é pré-fixado em 2 x 300 cm, pela impossibilidade de se ter travamento lateral nos nós onde não se tem traves. Os nós das traves, conforme SALES et al. (1994), são: 6, 8, 10, 11, 14, 15, 18, 19, 22, 23, 26, 27.

5.12 EXEMPLO Nº 11

Otimização da mesma treliça do exemplo anterior (FIGURA 19), com o mesmo agrupamento de barras (TABELA 21), os mesmos carregamentos (TABELA 22) e as mesmas combinações, adotando aqui um travejamento secundário para as diagonais, no sentido de reduzir pela metade os seus comprimentos de flambagem no plano da treliça, afim de se tentar, conforme feito em SALES et al. (1994), uma treliça mais leve.

A redução do comprimento de flambagem pela metade será levada em conta, usando-se uma tabela de dados proveniente da tabela 76, com os raios de giração para a flambagem em torno do eixo x duplicados, a qual será chamada de tabela 116..

TABELA 24 - Resultados finais para o exemplo 11

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1,2,3,4,15 16,17,18.	76	23	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 1/4"
2	19,20,21 30,31,32	76	27	duplo "L" laminado 3" x 3" x 5/16"
3	5, 14	106(*)	26	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 3/8"
4	6,7,8,9,10 11,12,13	106(*)	30	duplo "L" laminado 3" x 3" x 1/2"
5	35, 45	106(*)	21	duplo "L" laminado 2" x 2" x 5/16"
6	22,23,24,25, 26,27,28,29	106(*)	25	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 5/16"
7	33,34, 46,47	76	08	duplo "L" laminado 1 ¾" x 1 ¾" x 1/8"
8	36,38,40, 42,44	76	25	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 5/16"
9	37,39, 41,43	76	23	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 1/4"
10	48,49, 60,61	76	23	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 1/4"
11	50,51, 58,59	116	23	duplo "L" laminado 2 ½" x 2 ½" x 1/4"
12	52,53,54, 55,56,57	116	16	duplo "L" laminado 2" x 2" x 3/16"
Volume de aço = 344.542,97 cm ³				

Observando-se os valores das funções objetivo (volume de aço) dos exemplos 10 e 11, nota-se uma diferença de 28.680,25 cm³. Considerando-se o travejamento secundário sugerido em SALES et al. (1994) (seção duplo “L” 1 ½” x 1 ½” x 1/8”), levando-se em conta os comprimentos teóricos destas barras, obtém-se um comprimento total de 36,2 metros por treliça da referida combinação de perfis, que tem uma área da seção transversal de 4.64 cm². Isto representa um volume de 16796.8 cm³ a ser acrescentado no valor da função objetivo do exemplo 11. Desta forma, a diferença real entre um exemplo e outro é de 11883.45 cm³, o que representa uma economia de peso de aproximadamente 93.28 kG por viga mestra, usando-se o travejamento sugerido.

5.13 EXEMPLO Nº 12

Otimização da treliça da FIGURA 20, de uma cobertura de arquibancada, usando seções formadas por perfis “L” de abas iguais com chapas de nó de 1/4” (distância livre entre perfis), para os carregamentos dados na referida figura onde:

V_i = Ação devida ao vento de pressão ou sucção.

P_1 e P_2 = Ações permanentes de grande variabilidade.

Foram utilizadas as seguintes combinações:

a - 1.4 x (Permanente) + 1.4 x (Vento de pressão).

b - 0.9 x (Permanente) + 1.4 x (Vento de sucção).

A treliça do exemplo em questão, foi usada como trabalho didático da disciplina Estruturas Metálicas 1, do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, com intuito de exercitar o dimensionamento de barras sujeitas a tração e compressão.

O objetivo deste exemplo, no presente trabalho, assim como o do exemplo 1, é simplesmente a verificação direta dos resultados finais em termos de resistência, uma vez que a estrutura é isostática e conseqüentemente os esforços não variam com a alteração das seções das barras, ao longo do processo de otimização.

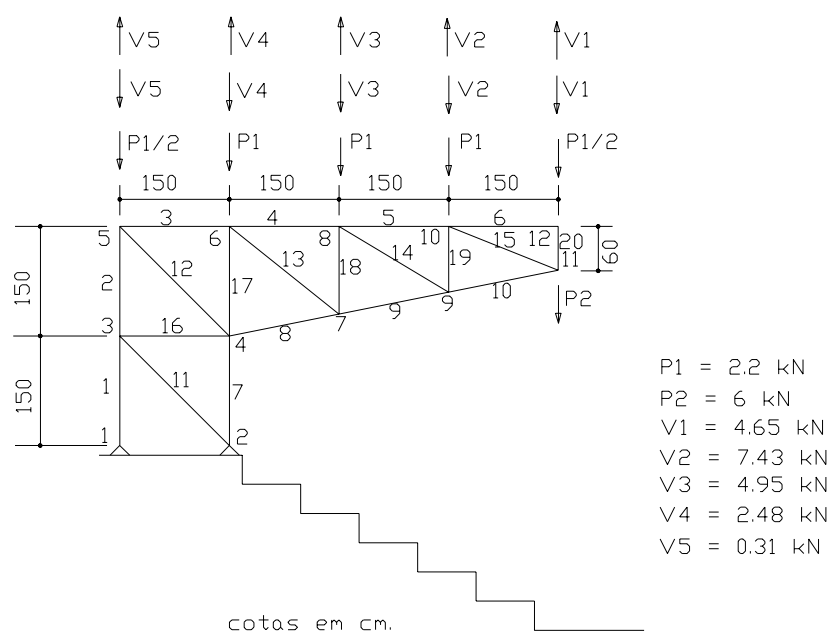


FIGURA 20 - Treliça do exemplo 12 (cobertura de arquibancada)

TABELA 25 -Agrupamento de barras para o exemplo 12

grupo	barras componentes
1	1,2
2	3,4,5,6
3	7
4	8,9,10
5	11,16
6	12
7	13,14,15
8	17
9	18,19,20

TABELA 26 -Esforços de cálculo nas barras da treliça do exemplo 12

barra	tração (kN)	compressão (kN)
1	84.35	22.71
2	84.35	22.71
3	86.32	22.15
4	57.98	10.83
5	27.42	0.20
6	0.00	0.00
7	37.14	132.82
8	22.59	88.03
9	11.04	59.13
11	0.00	0.00
12	31.33	122.08
13	36.30	14.50
14	35.64	12.39
15	29.53	0.21
16	0.00	0.00
17	10.55	29.23
18	11.33	28.35
19	8.50	24.45
20	5.52	8.05

TABELA 27 - Resultados finais para o exemplo 12

grupo	barras do grupo	tabela	solução	perfis componentes
1	1,2	75	07	duplo “L” laminado 1 ½” x 1 ½” x 1/8”
2	3,4,5,6	75	05	duplo “L” laminado 1 ¼” x 1 ¼” x 1/8”
3	7	75	19	duplo “L” laminado 2” x 2” x 1/4”
4	8,9,10	75	16	duplo “L” laminado 2” x 2” x 3/16”
5	11,16	75	11	“L” laminado 2” x 2” x 1/8”
6	12	70	23	duplo “L” laminado 2 ½” x 2 ½” x 1/4”
7	13,14,15	75	05	duplo “L” laminado 1 ¼” x 1 ¼” x 1/8”
8	17	75	07	duplo “L” laminado 1 ½” x 1 ½” x 1/8”
9	18,19,20	75	05	duplo “L” laminado 1 ¼” x 1 ¼” x 1/8”
Volume de aço = 17885.47 cm ³				

Dimensionando-se para cada grupo de barras com seus respectivos casos críticos, e usando-se a mesma tabela usada no processo de otimização conforme PFEIL (1995), nota-se que os resultados finais estão corretos.

É interessante ressaltar a diferença nos resultados finais das barras 7 e 12, para as quais foram encontradas pelos alunos, respectivamente as seções duplo “L” 2 ½” x 2 ½” x 3/16” e 3” x 3” x 3/16”. As divergências se deram em função dos mesmos terem usado a tabela apresentada por SANTOS (1977), onde ao contrário de PFEIL (1995), existem estes perfis.

Vale frisar, como foi feito no exemplo 03, que para barras com esforços nulos, os perfis são escolhidos no programa de otimização, levando em conta as limitações de índices de esbeltez recomendadas pela NBR 8800 .

6 CONCLUSÕES

Conforme foi dito anteriormente, o objetivo final deste trabalho seria a proposição de um procedimento para o dimensionamento ótimo de estruturas de aço treliçadas planas, de acordo com a norma vigente no Brasil e usando-se perfis comuns como variáveis discretas. Notou-se que o objetivo foi atingido e que se consegue, neste procedimento, um dimensionamento sem necessidades de ajustes finais, como seria o caso de otimizações com variáveis contínuas.

É importante ressaltar que foi possível colocar neste procedimento, mesmo que com certas dificuldades, meios de contornar a heterogeneidade nas tabelas de perfis utilizados no que diz respeito à variação de resistência em relação à variação de áreas das seções transversais.

É conveniente lembrar que se podem gerar tabelas de dados compostas de mais de uma seção, apesar da heterogeneidade ser maior e o tempo de execução aumentar. Entretanto é possível também otimizar uma estrutura usando tabelas predefinidas inicialmente para cada grupo de barras e posteriormente fazer novas otimizações, variando-se algumas destas tabelas, conforme foi feito no exemplo número 08. Verifica-se ali que seções inadequadas podem gerar gastos extras, em termos de volume de material usado na referida estrutura.

Nota-se que o programa gerado, tem uma entrada de dados bastante simples e permite a sua utilização para diversos carregamentos na estrutura. Ainda com relação à entrada de dados, é possível gravar praticamente todos os dados, afim de se fazer, caso haja interesse, novas otimizações, com mudança de configuração, de tabelas, etc..

Com relação ao tempo de execução do programa, houve uma redução bastante acentuada do mesmo, quando se determinou as matrizes de rigidez das vizinhanças de uma solução corrente, a partir da matriz de rigidez desta solução, previamente arquivada em disco, usando-se uma contribuição nesta, da diferença de áreas das barras da solução vizinha em relação à corrente. Ainda quanto ao fator tempo de execução, obteve-se uma grande melhoria no desempenho do programa, quando se calculou as restrições de comportamento das vizinhanças usando-se esforços e deslocamentos da solução corrente, com as limitações de resistência para aquela situação. Este artifício foi usado para restrições não próximas de serem violadas, e mesmo assim o esquema reduziu expressivamente o número de análises (cálculo de esforços e deslocamentos) nas estruturas.

É interessante notar ainda que o procedimento usado em LIEBMAN et al. (1981), que já era bastante simples, ficou no presente trabalho em linhas gerais, mais simples ainda, eliminando um passo desnecessário, que era uma segunda normalização descaracterizando a primeira.

Constatou-se também que não se tinha uma convergência exata para todos os exemplos, usando a escala de variação do parâmetro redutor da função de penalidade, de acordo com o referido trabalho. Esta foi conseguida inicialmente através de um procedimento de “repenalização” na solução final, que posteriormente

foi abandonado, frente as vantagens, em termos de tempo computacional, do uso do redutor numa descendência em escala logarítmica.

Concluiu-se ainda que é possível otimizar estruturas treliçadas práticas, sem nenhum problema de memória, usando-se microcomputadores comuns.

O programa desenvolvido foi amplamente utilizado na resolução de diversos exemplos e muitas variações destes, e verificou-se que os resultados concordam com aqueles obtidos “manualmente”, usando-se esforços e deslocamentos calculados por um programa comum de análise de treliças.

Quanto a versatilidade, no que diz respeito a variedade de tabelas de dados, é apresentado no presente trabalho um outro programa que gera estas, sendo possível análises para variadas especificações de seções.

Com relação a melhorias posteriores, o programa pode se tornar mais prático ainda, se for adicionada a possibilidade de colocação de pilares de aço de alma cheia, acoplados à estrutura treliçada; neste caso, estes serão dimensionados à flexão composta. Uma sugestão talvez um pouco mais simples, seria a análise da treliça com pilares de aço de alma cheia, como sendo um pórtico plano, onde as barras da treliça seriam verificadas apenas para os esforços normais, que são praticamente os mesmos, e os pilares seriam verificados à flexão composta. As verificações aqui mencionadas entrariam no processo de otimização como restrições de comportamento. Para se levar em conta apenas os esforços normais na estrutura treliçada, pode-se ainda determinar os esforços na estrutura como um pórtico, impondo-se inércia igual a zero para as barras da treliça.

BIBLIOGRAFIA

- ALVARENGA, R. C. S. S.; ANTUNES, H. M. C. C. (1989). *Otimização de treliças*. São Carlos. 98p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986). *NBR 8800 - Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios*. Rio de Janeiro.
- BELLEI, I. H. (1994). *Edifícios industriais em aço : Projeto e Cálculo*. 1.ed. São Paulo, PINI.
- BRESLER, L. S. (1968). *Design of steel structures*, 2.ed. New York, John Wiley & Sons.
- CAPSONI, A. (1992). Approccio progettuale al problema de ottimizzazione. *Costruzioni Metalliche*; n.6; p.341-54.
- CASSIS, J. H. (1983). Una introducción al diseño óptimo de estructuras. *Boletín IMME*; n.72-73, p.37-52.
- CELLA, A.; LOGCHER, R. D. (1971). Automated optimum design from discrete components. *Journal of the Structural Division*. v.97, n. ST1, p.175-89, jan..
- COSTA, H.B. & TAGUTI, Y. (1988). Efeitos estruturais de segunda ordem nas treliças. *Anais Epusp*, São Paulo, v. 1, f.18, p. 875-88.
- FLEURY, C.; SCHMIT, A. (1985). Primal and dual methods in structural

- optimization. *Journal of the Structural Division*. May.
- FRIEDLANDER, A. (s. d.). *Elementos de programação não linear*. Campinas, Unicamp.
- FRITZSCHE, H. (1978). *Programação não linear*. Análise e Métodos. Editora Edgard Blucher Ltda.
- GERE, J. M.; WEAVER JR, W. (1981). *Análise de estruturas reticuladas*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois.
- IMAI, K. & SCHMIT, L. A. (1981). Configuration optimization of trusses, *Journal of the Structural Division*. p.745-56, May.
- KELLER, A. M. (1982). *A First course in computer programming using Pascal*. McGraw-Hill.
- KHOT, N. S.; POLYAK, R.; SCHNEUR, R.; BERKE, L. (1993). Application of Newton modified Barrier method to structural optimization. *Computers & Structures*; v.49; n.3, p.467-72, jun.
- LIEBMAN, J. S.; KHACHATURIAN, N.; CHANARATNA, V. (1981). Discrete structural optimization. *Journal of the Structural Division*, v.107, n.ST11, p.2177-97, nov.
- LIMA, V. L. S. (1983). *Linguagem Pascal*. Rio de Janeiro; Campus.
- LUENBERGER, D. G. (s. d.). *Linear and nonlinear programming reading*. Mass. Addison Wesley. 491p.
- MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. Secretaria de Tecnologia Industrial (1988). *Manual brasileiro para cálculo de estruturas metálicas*. Brasília. 3 v.
- MOREIRA, D. F. (1977). *Análise matricial de estruturas*. São Paulo,

- LTC / EDUSP.
- MORI, D. D. (1988). *Flexo-Torção* : Barras com seção transversal aberta de paredes delgadas; São Carlos, EESC - USP.
- MORRIS, A. J. (1982). *Foundations of structural optimization: a unified approach*. New York, John Wiley & Sons.
- NASH, W. A. (1982). *Resistência dos materiais*. 3.ed. São Paulo, McGraw Hill do Brasil.
- PARCEL, J. I. & MOORMAN, R. B. (1955). *Analysis of statically indeterminate structures*. New York, John Wiley & Sons.
- PFEIL, W. (1986). *Estruturas de aço*. 4.ed. Rio de Janeiro, LTC. 3 v.
- PFEIL, W; PFEIL, M. (1995). *Estruturas de aço* : Dimensionamento Prático. Rio de Janeiro, LTC.
- PRZEMIENIECKI, J. S. (1968). *Theory of matrix structural analysis*. New York, McGraw-Hill.
- QUEIROZ, G. (1994). *Elementos das estruturas de aço*. Belo Horizonte, UFMG.
- RACHID, M. (1978). *Instabilidade de barras de secção delgada*. São Carlos. 119p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- REINSCHMIDT, K. F. (1971). Discrete structural optimization. *Journal of the Structural Division*. v.97, n.ST1, p.133-56; 1971, jan.
- SALES, J. J.; MALITE, M.; GONÇALVES, R. M. (1994). *Cobertura metálica do tipo "Shed"* : Exemplo de Cálculo; São Carlos, EESC - USP.
- SALGADO, N. K.; ANTUNES, H. M. C. C. (1987). *Técnicas de otimização matemática no projeto de pórticos planos retangulares*; São Carlos. 99p.

- Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, A. F. (1977). *Estruturas metálicas : Projeto e Detalhes para Fabricação*; 3.ed. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil.
- SEPÚLVEDA, A.; CASSIS, J. H. (1986). An efficient algorithm for the optimum design of trusses with discrete variables. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*; v. 23; p.1111-30; 1986.
- SCHIEL, F.(1980). *Introdução à resistência dos materiais*. São Carlos, EESC.
- SIDERBRÁS - SIDERURGIA BRASILEIRA, S.A. (1987) *Galpões para usos gerais*. Brasília.
- SILVA JR., J. F. (1962). *Resistência dos materiais*. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico.
- SORIANO, H. L. (1981). *Sistemas de equações algébricas lineares em problemas estruturais*. Lisboa, Ministério da Habitação e Obras Públicas - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- TIMOSHENKO, S. P. & GERE, J. M. (1961). *Theory of elastic stability*. New York, McGraw Hill.
- TIMOSHENKO, S. P. & YOUNG, D. H. (1978). *Structural analysis : a unified classical and matrix approach*. 2.ed., London, Chapman and Hall.
- TOAKLEY, A. R. (1968). Optimum design using available sections. *Journal of the Structural Division*. v. 94, n. ST5, p.1219-41.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de Engenharia de São Carlos. Serviço de Biblioteca (1993). *Diretrizes para elaboração de dissertações e teses na EESC-USP*. São Carlos.

WANG, Chua-Kia (1983). *Intermediate structural analysis*, Singapore, McGraw-Hill.

WOOD, S. (1987). *turbo Pascal : guia do usuário*. São Paulo, McGraw-Hill.

ANEXO A

PROGRAMA DE OTIMIZAÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO TRELIÇADAS PLANAS

A.1 GENERALIDADES.

Conforme mencionado anteriormente, será apresentada na sequência a listagem, em linguagem Turbo-Pascal, do programa de otimização em questão no presente trabalho.

Vale ressaltar que, para a execução do mesmo, as tabelas de dados referentes às características geométricas das seções a serem utilizadas no processo de otimização devem estar disponíveis em disco, mais precisamente no diretório `c:\tp\mauro`.

A.2 LISTAGEM DO PROGRAMA DE OTIMIZAÇÃO

```
unit quarta;  
interface  
uses crt,dos,printer;  
const nvn=70; nvc=140; nvm=140; nt=2500;  
const lst = "  
type arraytype1 = array[1..70] of integer;  
      arraytype2 = array[1..140] of integer;  
      arraytype3 = array[1..70] of real;  
      arraytype4 = array[1..140] of real;  
      arraytype5 = array[1..2500] of real;
```

```
arraytype6 = array[1..6,1..70] of real;  
str40 = string[40];
```



```

var arqtab : file of real;  arqta : file of str40;
  arqmat : file of real;
  nvp,i,j,lamb,lamb1,lamb2,k,k1,k2,k3,k4,kk1,kk3,j3,i1,kj,kk,nra,nrd:integer;
  nn,ngl,nnrc,nrc,ini,fin,netab,kch,kchh,k1k,kke,ng,ii,nbg,ngr,kkk,
  j1,j2,k5,ntabi,pii,pfi,nsi,kckki,kcki,ig,ip,ipp,
  baux2i,aux2i,caux2i,daux2i,eaux2i,faux2i,gaux2i,haux2i : integer;
  a1,a2,a3,fdx,fdx1,p,p1,r,r1,mp,mp1,mp2,f2dx,f3dx,f4dx,
  fi1dx,fi2dx,fi3dx,fi4dx,ngxb,msxb,a,ac,e,rx1,rx2,rx3,ry1,ry2,ry3,
  q1,q2,q3,x01,x02,x03,y01,y02,y03,it1,it2,it3,cw1,cw2,cw3,
  fy,sfdx,dela1,dela2,fdx1,co,xc,yc,bdx,adx,cdx,ddx:real;
  c,rr,tr : char;
  ni,nf,kck,kckk,ngb,ntab,nsa,nssa,ns,nsv,nnes,nsd,ngrb : arraytype1;
  pp,cp,fdx,ppa : arraytype4;
  gmx : arraytype2;
  l,cx,cy,aux1,aux2,aux3,caux1,caux2,caux3,daux1,daux2,daux3,
  baux1,baux2,baux3,eaux1,eaux2,eaux3,faux1,faux2,faux3,
  gaux1,gaux2,gaux3,haux1,haux2,haux3,alfa1,alfa2,dlim,lim:arraytype3;
  gxb,sxb,drxb,fldx : arraytype4;
  aux1,aux2,aux3,pi,pf,rl,crl,nd : arraytype2;
  s : arraytype5;
  aca,esf,aa : arraytype6;
  aa1,ar1,aca1,esf1 : arraytype3;
  vs : string[2];
  nome : string[30];
procedure dadtre(var l,cx,cy:arraytype3;
  var rl,crl:arraytype2;
  var e,fy: real; var nra,nm,nn,ngl: integer;
  var ni,nf:arraytype1);
implementation
{*****}
{*****procedimento para ler dados da trelica*****}
{*****}
procedure dadtre(var l,cx,cy:arraytype3;
var rl,crl:arraytype2;
var e,fy: real; var nra,nm,nn,ngl: integer;
var ni,nf:arraytype1);
var arqx : file of real;
  arqy : file of real;
  arqni : file of integer;
  arqnf : file of integer;
  titulo : string[80];
  r,tr,rr,c : char;
  comp,esp,nnr,k,j,i,j1,j2,j3,k3: integer;
  xcl,ycl: real;
  x,y: array [1..30] of real;
begin
  clrscr;
  assign(arqx,'c:\tp\mauro\arqx.dat');
  assign(arqy,'c:\tp\mauro\arqy.dat');
  assign(arqni,'c:\tp\mauro\arqni.dat');
  assign(arqnf,'c:\tp\mauro\arqnf.dat');
  writeln; writeln; writeln;
  writeln('analise de trelicas planas ');
  writeln; writeln; writeln;
  writeln('dados da estrutura ');
  writeln; writeln; writeln;
  write('[1] titulo : ');

```

```
readln(titulo);
writeln;
write('[2] numero de barras = ');
writeln(nm);
writeln;
write('[3] numero de nos = ');
readln(nn);
writeln;
write('[4] numero de nos restringidos = ');
readln(nnr);
writeln;
write('[5] numero de restricoes de apoio = ');
readln(nra);
writeln;
write('[6] modulo de elasticidade = ');
readln(e);
writeln;
write('[7] tensao de escoamento = ');
readln(fy);
writeln; writeln;
write('existem dados errados? S/N = ');
r:=readkey;
writeln(r);
if UpCase(r)='S' then
  begin
    write('numero de dados errados = ');
    readln(k3);
    writeln;
    for i:= 1 to k3 do
      begin
        write('numero do dado errado = ');
        readln(j3);
        writeln;
        case j3 of
          1 : begin
              write('titulo : ');
              readln(titulo);
              end;
          2 : begin
              write('interrompa a execucao do programa e verifique o numero de ba',
                'rras em cada grupo ');
              writeln('ou digite qualquer tecla para continuar');
              c:=readkey;
              end;
          3 : begin
              write('numero de nos = ');
              readln(nn);
              end;
          4 : begin
              write('numero de nos restringidos = ');
              readln(nnr);
              end;
          5 : begin
              write('numero de restricoes de apoio = ');
              readln(nra);
              end;
          6 : begin
```

```

        write('modulo de elasticidade = ');
        readln(e);
        end;
    7 : begin
        write('tensao de escoamento = ');
        readln(fy);
        end;
    end;
end;
end;
ngl:= 2*nn-nra;
writeln;
writeln('graus de liberdade = ',ngl);
writeln; writeln;
writeln(' ':29,'coordenadas dos nos');
writeln;
write('ler coordenadas no disco ? S/N = ');
tr:=readkey;
write(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
    begin
        reset(arqx);
        for i:=1 to nn do read(arqx,x[i]);
        close(arqx);
        reset(arqy);
        for i:=1 to nn do read(arqy,y[i]);
        close(arqy);
        j1:=1;
        j2:=21;
        while j1 < nn do
            begin
                clrscr;
                if j2 > nn then j2 := nn;
                writeln(' ':27,'no coord. x coord. y ');
                for i:=j1 to j2 do
                    writeln(' ':27,i:2,x[i]:12:3,y[i]:12:3);
                writeln;
                write('aperte qualquer tecla para continuar');
                c:=readkey;
                j1:=j2;
                j2:=j2 + 20;
            end;
        end
    else
        begin
            writeln;
            writeln(' ':29,'no, coord. x, coord. y ');
            for j:=1 to nn do
                begin
                    write(' ':29,j:2,' ');
                    readln(x[j],y[j]);
                end;
            end;
            writeln; writeln;
            write('existem nos com coordenadas erradas ? S/N = ');
            r:=readkey;
            write(r);

```

```

if UpCase(r) = 'S' then
  begin
    writeln;
    write('numero de nos com coordenadas erradas = ');
    readln(j3);
    writeln;
    writeln(' :29,no, coord. x, coord. y ');
    for i:= 1 to j3 do
      begin
        write(' :30);
        readln(j,x[j],y[j]);
        end;
      end;
    if ( UpCase(r) = 'S') or ( UpCase(tr) = 'N') then
      begin
        writeln;
        write('gravar as coordenadas em disco ? S/N = ');
        rr:=readkey;
        write(rr);
        if UpCase(rr) = 'S' then
          begin
            rewrite(arqx);
            for i:=1 to nn do write(arqx,x[i]);
            close(arqx);
            rewrite(arqy);
            for i:=1 to nn do write(arqy,y[i]);
            close(arqy);
            end;
          j1:=1;
          j2:=21;
          while j1 < nn do
            begin
              clrscr;
              if j2 > nn then j2 := nn;
              writeln(' :27,no coord. x coord. y ');
              for i:=j1 to j2 do
                writeln(' :27,i:2,x[i]:12:3,y[i]:12:3);
              writeln;
              write('aperte qualquer tecla para continuar');
              c:=readkey;
              j1:=j2;
              j2:=j2 + 20;
              end;
            end;
          writeln; writeln; writeln;
          writeln(' :30,incidencia de barras');
          writeln;
          write('ler incidencia de nos no disco ? S/N = ');
          tr:=readkey;
          write(tr);
          if UpCase(tr) = 'S' then
            begin
              reset(arqni);
              for i:=1 to nm do read(arqni,ni[i]);
              close(arqni);
              reset(arqnf);
              for i:=1 to nm do read(arqnf,nf[i]);

```

```

close(arqnf);
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nm do
  begin
    clrscr;
    if j2 > nm then j2 := nm;
    writeln(' :26,barra no inic. no fin. ');
    for i:=j1 to j2 do
      writeln(' :26,i:5,ni[i]:12,nf[i]:11);
    write('aperte qualquer tecla para continuar');
    c:=readkey;
    j1:=j2;
    j2:=j2 + 20;
  end;
end
else
begin
writeln;
writeln(' :27,barra, no inicial, no final');
for i:= 1 to nm do
  begin
    write(' :27,i:5,');
    readln(ni[i],nf[i]);
  end;
end;
writeln; writeln;
write('existem incidencias de nos erradas ? S/N = ');
r:=readkey;
writeln(r);
if UpCase(r)='S' then
  begin
    writeln;
    write('numero de barras com incidencias erradas = ');
    readln(j3);
    writeln;
    writeln(' :27,barra, no inicial, no final');
    for j:= 1 to j3 do
      begin
        write(' :30);
        readln(i,ni[i],nf[i]);
      end;
    end;
  if ( UpCase(r) = 'S') or ( UpCase(tr) = 'N') then
    begin
      writeln;
      write('gravar incidencias das barras no disco ? S/N = ');
      rr:=readkey;
      writeln(rr);
      if UpCase(rr) = 'S' then
        begin
          rewrite(arqni);
          for i:=1 to nm do write(arqni,ni[i]);
          close(arqni);
          rewrite(arqnf);
          for i:=1 to nm do write(arqnf,nf[i]);
          close(arqnf);

```

```

end;
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nm do
begin
clrscr;
if j2 > nm then j2:=nm;
writeln(' :26,barra no inic. no fin. ');
for i:=j1 to j2 do
writeln(' :26,i:5,ni[i]:12,nf[i]:11);
writeln;
write('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
j1:=j2;
j2:=j2 + 20;
end;
end;
for i:=1 to nm do
begin
xcl:= x[nf[i]]-x[ni[i]];
ycl:= y[nf[i]]-y[ni[i]];
l[i]:= sqrt(sqr(xcl)+sqr(ycl));
cx[i]:= xcl/l[i];
cy[i]:= ycl/l[i];
end;
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nm do
begin
clrscr;
if j2 > nm then j2 := nm;
writeln(' :6,barra no inicial no final comprimento cosseno',
' seno');
for i:=j1 to j2 do
writeln(' :6,i:5,ni[i]:12,nf[i]:10,l[i]:13:2,cx[i]:9:5,
cy[i]:9:5);
{writeln;
write('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;}
j1:=j2;
j2:=j2 + 20;
end;
writeln; writeln; writeln;
writeln(' :32,restricoes de no ');
writeln; writeln;
writeln(' :30,no, rest. x, rest. y ');
for j:= 1 to 2*nm do rl[j]:= 0;
for j:= 1 to nnr do
begin
write(' :31);
readln(k,rl[2*k-1],rl[2*k]);
end;
writeln;
write('existem nos com restricoes erradas ? S/N = ');
r:=readkey;
write(r);
if UpCase(r)= 'S' then

```

```

begin
writeln;
write(numero de nos com restricoes erradas = ');
readln(j3);
writeln;
writeln(' :30,'no, rest. x, rest. y');
for j:= 1 to j3 do
  begin
  write(' :30);
  readln(k,rl[2*k-1],rl[2*k]);
  end;
end;
writeln; writeln;
write('listar dados anteriores na impressora ? S/N = ');
r:=readkey;
write(r);
if UpCase(r)='S' then
  begin
  writeln(lst);writeln(lst);
  writeln(lst,' :28,'otimizacao de estruturas');
  comp:=length(titulo);
  esp:=trunc((80-comp)/2);
  writeln(lst,#10,#10,#10,#10,#10,#10,' :esp,titulo:comp,#10,#10,#10);
  writeln(lst,' :31,'dados da estrutura',#10,#10);
  writeln(lst,' :9,'barras nos nos rest. rest. de apoio ',
  'm. de elasticidade');
  writeln(lst,' :9,nm:6,nn:6,nnr:12,nra:17,e:21:4);
  writeln(lst,#10,' :31,'graus de liberdade= ',ngl:3,#10,#10);
  writeln(lst,' :31,'coordenadas dos nos',#10);
  writeln(lst,' :27,'no coord. x coord. y');
  for i:=1 to nn do
  writeln(lst,' :27,i:2,x[i]:12:2,y[i]:12:2);
  writeln(lst,#10,#10,' :8,'barra no inic. no fin.',
  ' comprim. cosseno seno');
  for i:=1 to nm do
  writeln(lst,' :8,i:5,ni[i]:11,nf[i]:10,
  l[i]:11:2,cx[i]:10:5,cy[i]:9:5);
  writeln(lst,#10,#10,#10,' :32,'restricoes de no');
  writeln(lst,#10,#10,' :29,'no rest. x rest. y');
  for i:=1 to mn do
  writeln(lst,' :29,i:2,rl[2*i-1]:10,rl[2*i]:10);
  end;
end;
begin
end.

program otimizacao_de_estruturas;
{*****usa direcao de descida dada pela funcao penalizada*****}
{*****usa o maior valor de abs(sxb) para det. direcao*****}
{*****usa limitacao de indice de esbeltez*****}
{*****usa pesquisa alterando a vizinhanca*****}
{****usa solucao inicial igual ao numero de elementos da tabela menos 1****}
{*****usa os esforcos da solucao corrente para as vizinhancas,
para restricoes longe de serem violadas*****}
{****usa para cada barra, a restricao maxima de todos os carregamentos****}
{*****nao verifica o limite superior de cada tabela*****}

```

```

{*****usa funcao barreira em escala logaritima*****}
{*****usa co-processor para a determinação de qa*****}
uses crt,dos,printer,quarta;
{$M 52768, 0, 635360}
{*****}
{*****procedimento para determinar a matriz de rigidez da trelica*****}
{*****}
procedure matriz(e: real; ax,l:arraytype3;
rl:arraytype2;
var crl:arraytype2;
ni,nf,ngb:arraytype1;
cx,cy: arraytype3;
var s: arraytype5;
nm,nn,ngl: integer);
var arqmat : file of real;
i,k,j1,j2,j3,k1,k2,jp,comp,i1,i2 : integer;
smd : array[1..4,1..4] of real;
scm : real;
c : char;
begin
assign(arqmat,'c:\tp\mauro\arqmat.dat');
writeln;writeln;
writeln(' ':20,'sistema computando, aguarde ... ');
crl[1]:=rl[1];
for k:= 2 to 2*nn do crl[k]:= crl[k-1] + rl[k];
j3:=trunc(ngl*(ngl-1)/2+ngl);
for k:= 1 to j3 do s[k] := 0;
for i:= 1 to nm do
begin
j1:=2*ni[i]-1;
j2:=2*ni[i];
k1:=2*nf[i]-1;
k2:=2*nf[i];
scm:= e*ax[ngb[i]]/l[i];
case rl[j1] of
0 : j1:= j1 - crl[j1];
1 : j1:= ngl + crl[j1];
end;
case rl[j2] of
0 : j2:= j2 - crl[j2];
1 : j2:= ngl + crl[j2];
end;
case rl[k1] of
0 : k1:= k1 - crl[k1];
1 : k1:= ngl + crl[k1];
end;
case rl[k2] of
0 : k2:= k2 - crl[k2];
1 : k2:= ngl + crl[k2];
end;
smd[1,1]:= scm*sqr(cx[i]);
smd[3,3]:= smd[1,1];
smd[1,3]:= -smd[1,1];
smd[3,1]:= smd[1,3];
smd[1,2]:= scm*cx[i]*cy[i];
smd[2,1]:= smd[1,2];
smd[3,4]:= smd[1,2];

```



```

smd[4,3]:= smd[1,2];
smd[1,4]:=-smd[1,2];
smd[4,1]:= smd[1,4];
smd[2,3]:= smd[1,4];
smd[3,2]:= smd[1,4];
smd[2,2]:= scm*sqr(cy[i]);
smd[4,4]:= smd[2,2];
smd[2,4]:=-smd[4,4];
smd[4,2]:= smd[2,4];
if rl[2*ni[i]-1] = 0 then
  begin
    jp:= trunc(j1*(j1-1)/2 + j1);
    s[jp]:= s[jp] + smd[1,1];
    if j1 > j2 then
      begin
        jp:=trunc(j1*(j1-1)/2+j2);
        s[jp]:= s[jp] + smd[2,1];
      end;
    if j1 > k1 then
      begin
        jp:=trunc(j1*(j1-1)/2 + k1);
        s[jp]:= smd[3,1];
      end;
    if j1 > k2 then
      begin
        jp:= trunc(j1*(j1-1)/2 + k2);
        s[jp]:= smd[4,1];
      end;
  end;
if rl[2*ni[i]] = 0 then
  begin
    jp:=trunc(j2*(j2-1)/2 + j2);
    s[jp]:= s[jp] + smd[2,2];
    if j2 > j1 then
      begin
        jp:= trunc(j2*(j2-1)/2+j1);
        s[jp]:= s[jp] + smd[1,2];
      end;
    if j2 > k1 then
      begin
        jp:=trunc(j2*(j2-1)/2 + k1);
        s[jp]:= smd[3,2];
      end;
    if j2 > k2 then
      begin
        jp:= trunc(j2*(j2-1)/2 + k2);
        s[jp]:= smd[4,2];
      end;
  end;
if rl[2*nf[i]-1] = 0 then
  begin
    jp:=trunc(k1*(k1-1)/2 + k1);
    s[jp]:= s[jp] + smd[3,3];
    if k1 > j1 then
      begin
        jp:=trunc(k1*(k1-1)/2 + j1);
        s[jp]:= smd[1,3];
      end;
  end;

```

```

    end;
  if k1 > j2 then
    begin
      jp:= trunc(k1*(k1-1)/2 + j2);
      s[jp]:= smd[2,3];
    end;
  if k1 > k2 then
    begin
      jp:= trunc(k1*(k1-1)/2 + k2);
      s[jp]:= s[jp] + smd[4,3];
    end;
  end;
  if rl[2*nf[i]] = 0 then
    begin
      jp:=trunc(k2*(k2-1)/2 + k2);
      s[jp]:= s[jp] + smd[4,4];
      if k2 > j1 then
        begin
          jp:=trunc(k2*(k2-1)/2 + j1);
          s[jp]:= smd[1,4];
        end;
      if k2 > j2 then
        begin
          jp:= trunc(k2*(k2-1)/2 + j2);
          s[jp]:= smd[2,4];
        end;
      if k2 > k1 then
        begin
          jp:= trunc(k2*(k2-1)/2 + k1);
          s[jp]:= s[jp] + smd[3,4];
        end;
      end;
    end;
  rewrite(arqmat);
  for i:= 1 to j3 do write(arqmat,s[i]);
  close(arqmat);
end;
{*****}
{*****procedimento para determinar a matriz de rigidez na vizinhanca*****}
{*****}
procedure matrivi(ii,ngl: integer;
ni,nf,ngb: arraytype1;
e,adelax: real;
l,cx,cy: arraytype3;
rl,crl: arraytype2;
var s: arraytype5);
var arqmat : file of real;
  i,j1,j2,j3,k1,k2,jp: integer;
  scm: real;
  smd: array[1..4,1..4] of real;
  sa:arraytype5;
  c: char;
begin
assign(arqmat,'c:\tp\mauro\arqmat.dat');
j3:=trunc(ngl*(ngl-1)/2+ngl);
for i:= 1 to j3 do
sa[i]:=0;

```

```

for i:= 1 to nvp do
begin
if ii = ngb[i] then
begin
j1:=2*ni[i]-1;
j2:=2*ni[i];
k1:=2*nf[i]-1;
k2:=2*nf[i];
scm:= e*adelax/l[i];
case rl[j1] of
0 : j1:= j1 - crl[j1];
1 : j1:= ngl + crl[j1];
end;
case rl[j2] of
0 : j2:= j2 - crl[j2];
1 : j2:= ngl + crl[j2];
end;
case rl[k1] of
0 : k1:= k1 - crl[k1];
1 : k1:= ngl + crl[k1];
end;
case rl[k2] of
0 : k2:= k2 - crl[k2];
1 : k2:= ngl + crl[k2];
end;
smd[1,1]:= scm*sqr(cx[i]);
smd[3,3]:= smd[1,1];
smd[1,3]:= -smd[1,1];
smd[3,1]:= smd[1,3];
smd[1,2]:= scm*cx[i]*cy[i];
smd[2,1]:= smd[1,2];
smd[3,4]:= smd[1,2];
smd[4,3]:= smd[1,2];
smd[1,4]:= -smd[1,2];
smd[4,1]:= smd[1,4];
smd[2,3]:= smd[1,4];
smd[3,2]:= smd[1,4];
smd[2,2]:= scm*sqr(cy[i]);
smd[4,4]:= smd[2,2];
smd[2,4]:= -smd[4,4];
smd[4,2]:= smd[2,4];
if rl[2*ni[i]-1] = 0 then
begin
jp:= trunc(j1*(j1-1)/2 + j1);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[1,1];
if j1 > j2 then
begin
jp:=trunc(j1*(j1-1)/2+j2);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[2,1];
end;
if j1 > k1 then
begin
jp:=trunc(j1*(j1-1)/2 + k1);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[3,1];
end;
if j1 > k2 then
begin

```

```

    jp:= trunc(j1*(j1-1)/2 + k2);
    sa[jp]:= sa[jp] + smd[4,1];
    end;
end;
if rl[2*ni[i]] = 0 then
begin
jp:=trunc(j2*(j2-1)/2 + j2);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[2,2];
if j2 > j1 then
begin
jp:= trunc(j2*(j2-1)/2+j1);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[1,2];
end;
if j2 > k1 then
begin
jp:=trunc(j2*(j2-1)/2 + k1);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[3,2];
end;
if j2 > k2 then
begin
jp:= trunc(j2*(j2-1)/2 + k2);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[4,2];
end;
end;
if rl[2*nf[i]-1] = 0 then
begin
jp:=trunc(k1*(k1-1)/2 + k1);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[3,3];
if k1 > j1 then
begin
jp:=trunc(k1*(k1-1)/2 + j1);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[1,3];
end;
if k1 > j2 then
begin
jp:= trunc(k1*(k1-1)/2 + j2);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[2,3];
end;
if k1 > k2 then
begin
jp:= trunc(k1*(k1-1)/2 + k2);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[4,3];
end;
end;
if rl[2*nf[i]] = 0 then
begin
jp:=trunc(k2*(k2-1)/2 + k2);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[4,4];
if k2 > j1 then
begin
jp:=trunc(k2*(k2-1)/2 + j1);
sa[jp]:= sa[jp] + smd[1,4];
end;
if k2 > j2 then
begin
jp:= trunc(k2*(k2-1)/2 + j2);
sa[jp]:= smd[2,4];

```

```

    end;
  if k2 > k1 then
    begin
      jp:= trunc(k2*(k2-1)/2 + k1);
      sa[jp]:= sa[jp] + smd[3,4];
    end;
  end;
end;
end;
reset(arqmat);
for i:= 1 to j3 do
read(arqmat,s[i]);
close(arqmat);
for i:= 1 to j3 do
s[i]:= s[i] + sa[i];
end;
{*****}
{*****procedimento para ler dados dos carregamentos*****}
{*****}
procedure leicar(var a: arraytype6;
var kk3,nn : integer);
var j,k,j1,j2,j3,j4,j5,nnc : integer;
    r,tr,rr,c : char;
    vs1 : string[2];
    nome1 : string[20];
var arqcar : file of real;
begin
assign(arqcar,'c:\tp\mauro\arqcar.dat');
writeln; writeln; writeln;
write('numero de carregamentos = ');
readln(kk3);
for j1:=1 to kk3 do
  begin
    for j:=1 to 2*nn do
      a[j1,j]:=0;
    end;
  for j1:= 1 to kk3 do
    begin
      writeln;
      write('ler dados do carregamento ',j1:2,' do disco ? S/N = ');
      tr := readkey;
      writeln(tr);
      if UpCase(tr) = 'S' then
        begin
          writeln;
          write('numero do carregamento do disco, que sera o carregamento ',
j1:2,' = ');
          readln(j5);
          str(j5,vs1);
          nome1:=c:\tp\mauro\car'+vs1+'.dat';
          assign(arqcar,nome1);
          reset(arqcar);
          for i := 1 to nn do
            read(arqcar,a[j1,2*i-1],a[j1,2*i]);
          close(arqcar);
          j3:=1;
          j4:=21;

```

```

writeln;
writeln(' :32,'carregamento ',j1:2);
writeln;
while j3 < nn do
  begin
    clrscr;
    if j4 > nn then j4:=nn;
    writeln(' :30,'no acao x acao y');
    for i:=j3 to j4 do
      writeln(' :30,i:2,a[j1,2*i-1]:9:3,a[j1,2*i]:9:3);
    writeln;
    write('aperte qualquer tecla para continuar');
    c:=readkey;
    writeln;
    j3:=j4;
    j4:=j4 + 20;
  end;
end
else
begin
writeln;
writeln(' :29,'dados do carregamento ',j1:2);
writeln;
write('numero de nos carregados = ');
readln(nnc);
writeln;
writeln(' :31,'no, acao x, acao y ');
for j:= 1 to nnc do
  begin
    write(' :32);
    readln(k,a[j1,2*k-1],a[j1,2*k]);
  end;
end;
writeln;
write('existem nos com carregamento errado ? S/N = ');
r:=readkey;
writeln(r);
if UpCase(r) = 'S' then
  begin
    writeln;
    write('numero de nos com carregamento errado = ');
    readln(j2);
    writeln;
    writeln(' :31,'no, acao x, acao y ');
    for j3:=1 to j2 do
      begin
        write(' :32);
        readln(k,a[j1,2*k-1],a[j1,2*k]);
      end;
    j3:=1;
    j4:=21;
    writeln;
    writeln(' :32,'carregamento ',j1:2);
    writeln;
    while j3 < nn do
      begin
        clrscr;

```

```

if j4 > nn then j4:=nn;
writeln(' :30,'no acao x acao y');
for i:=j3 to j4 do
writeln(' :30,i:2,a[j1,2*i-1]:9:3,a[j1,2*i]:9:3);
writeln;
write('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
writeln;
j3:=j4;
j4:=j4 + 20;
end;
end;
if (UpCase(r) = 'S') or (UpCase(tr) = 'N') then
begin
writeln;
write('gravar carregamento ',j1:2,' em disco ? S/N = ');
rr:=readkey;
writeln(rr);
if UpCase(rr) = 'S' then
begin
writeln;
write('numero de gravacao do carregamento ',j1:2,' no disco = ');
readln(j5);
str(j5,vs1);
nome1:='c:\tp\mauro\car'+vs1+'.dat';
assign(arqcar,nome1);
rewrite(arqcar);
for i:= 1 to nn do
write(arqcar,a[j1,2*i-1],a[j1,2*i]);
close(arqcar);
end;
end;
end;
end;
{*****}
{*****procedimento para decompor a matriz*****}
{*****}
procedure decompos(ngl: integer; var s:arraytype5);
var i,jp,j1,k1,k : integer;
    xcl : real;
    c : char;
begin
s[1]:= sqrt(s[1]);
for i:=2 to ngl do
begin
jp:=trunc(i*(i-1)/2+1);
s[jp]:=s[jp]/s[1];
end;
for j:=2 to ngl do
begin
xcl:=0;
for j1:=1 to (j-1) do
begin
jp:=trunc(j*(j-1)/2+j1);
xcl:=xcl+sqr(s[jp]);
end;
jp:=trunc(j*(j-1)/2+j);

```

```

xcl:=s[jp]-xcl;
s[jp]:=sqrt(xcl);
if j<ngl then
begin
for k1:=j+1 to ngl do
begin
xcl:=0;
for j1:=1 to (j-1) do
begin
jp:=trunc(j*(j-1)/2+j1);
k:=trunc(k1*(k1-1)/2+j1);
xcl:=xcl+s[jp]*s[k];
end;
jp:=trunc(k1*(k1-1)/2+j);
k:=trunc(j*(j-1)/2+j);
s[jp]:=(s[jp]-xcl)/s[k];
end;
end;
end;
end;
{*****}
{*****procedimento para calculo dos deslocamentos*****}
{*****}
procedure desloc(ngl,nra,nn: integer;
rl,crl:arraytype2;
var a,ac: arraytype3;
s: arraytype5);
var j,k,i,j1,j2,jp: integer;
scm : real ;
c: char;
begin
for j:= 1 to (ngl + nra) do
ac[j]:=0;
for j:= 1 to (ngl + nra) do
begin
case rl[j] of
0 : k:=j-crl[j];
1 : k:=ngl+crl[j];
end;
ac[k] := a[j];
end;
for i:=1 to ngl do
begin
scm:=ac[i];
if i>1 then
begin
j:=i-1;
for k:=1 to j do
begin
j1:=trunc(i*(i-1)/2+k);
scm:=scm-s[j1]*ac[k];
end;
end;
jp:=trunc(i*(i-1)/2+i);
ac[i]:=scm/s[jp];
end;
j:=ngl+1;

```



```

for i:=1 to ngl do
  begin
  j:=j-1;
  scm:=ac[j];
  if j<ngl then
    begin
    j1:=j+1;
    for k:=j1 to ngl do
      begin
      j2:=trunc(k*(k-1)/2+j);
      scm:=scm-s[j2]*ac[k];
      end;
    end;
  jp:=trunc(j*(j-1)/2+j);
  ac[j]:=scm/s[jp];
  end;
j:= ngl + 1;
for j1:=(ngl + nra) downto 1 do
if rl[j1] <> 0 then
ac[j1]:= 0
else
  begin
  j:= j - 1;
  ac[j1]:= ac[j];
  end;
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nn do
  begin
  clrscr;
  if j2 > nn then j2 := nn;
  writeln(' ':26,'no desloc. x desloc. y ');
  for i:=j1 to j2 do
    begin
    k1:=2*i;
    writeln(' ':26,i:2,ac[k1-1]:13:7,ac[k1]:13:7);
    end;
  writeln;
  {write('aperte qualquer tecla para continuar');
  c:=readkey;}
  j1:=j2;
  j2:=j2 + 20;
  end;
end;
{*****}
{*****procedimento para calcular esforcos internos*****}
{*****}
procedure esforcos(nm,j3:integer; e:real;
ni,nf,ngb: arraytype1;
var esf,ac,ar,a: arraytype3;
l,cx,cy,ax: arraytype3;
rl,crl: arraytype2);
var j,jp,i,j1,j2,k1,k2: integer;
scm: real;
c: char;
begin
for j:= 1 to 2*nn do

```

```

ar[j]:=0;
j:=1;
jp:=21;
while j < nm do
  begin
    clrscr;
    if jp > nm then jp := nm;
    writeln(' :31,barra   esforco ');
    for i:=j to jp do
      begin
        j1:=2*ni[i]-1;
        j2:=j1+1;
        k1:=2*nf[i]-1;
        k2:=k1+1;
        scm:=e*ax[ngb[i]]/l[i];
        esf[i]:= -scm*((ac[j1]-ac[k1])*cx[i]+(ac[j2]-ac[k2])*cy[i]);
        writeln(' :31,i:5,esf[i]:14:3);
      end;
    {writeln;
    write('aperte qualquer tecla para continuar');
    c:=readkey;}
    j:=jp;
    jp:=jp + 20;
  end;
for i:= 1 to nn do
  begin
    j:=2*i;
    if rl[j] = 1 then
      begin
        ar[j]:=-a[j];
        for j1:= 1 to nm do
          begin
            if ni[j1] = i then
              ar[j]:=ar[j] - esf[j1]*cy[j1];
            if nf[j1] = i then
              ar[j]:=ar[j] + esf[j1]*cy[j1];
          end;
        end;
      j:=2*i-1;
      if rl[j] = 1 then
        begin
          ar[j]:=-a[j];
          for j1:= 1 to nm do
            begin
              if ni[j1] = i then
                ar[j]:=ar[j] - esf[j1]*cx[j1];
              if nf[j1] = i then
                ar[j]:=ar[j] + esf[j1]*cx[j1];
            end;
          end;
        end;
    j1:=1;
    j2:=21;
    while j1 < nn do
      begin
        clrscr;
        writeln;

```

```

writeln(' :26,'carregamento : ',j3:3);
if j2 > nn then j2 := nn;
writeln(' :26,'no reac. x reac. y ');
for i:=j1 to j2 do
  begin
    k1:=2*i;
    writeln(' :26,i:2,ar[k1-1]:13:3,ar[k1]:13:3);
    end;
writeln;
{writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;}
j1:=j2;
j2:=j2 + 20;
end;
end;
{*****}
{*****procedimento para impressao de resultados de analise*****}
{*****}
procedure impres(nn,j3,nm:integer;
a,ac,ar,esf: arraytype3);
var i:integer;
begin
writeln(lst,#10,#10,#10,#10,#10,#10,' :32,'carregamento ',j3:2);
writeln(lst,#10,#10,' :30,'no acao x acao y');
for i:=1 to nn do
writeln(lst,' :30,i:2,a[2*i-1]:9:3,a[2*i]:9:3);
writeln(lst,#10,#10,#10,#10,#10,#10,' :20,
'deslocamentos de nos e reacoes de apoio');
writeln(lst,#10,#10,' :27,
'no desloc. x desloc. y ');
for i:=1 to nn do
writeln(lst,' :27,i:2,ac[2*i-1]:12:7,ac[2*i]:12:7);
writeln(lst,#10,#10,' :27,'no reac. x reac. y');
for i:=1 to nn do
writeln(lst,' :27,i:2,ar[2*i-1]:10:3,ar[2*i]:10:3);
writeln(lst,#10,#10,#10,#10,#10,#10,' :30,'esforços nas barras');
writeln(lst,#10,#10,' :30,'barra esforço');
for i:=1 to nm do
writeln(lst,' :30,i:5,esf[i]:14:3);
end;
{*****}
{*****procedimento para calculo do valor de cada restricao*****}
{*****}
procedure restri(ig,ip,ipp,nc,nm,nrd,ng : integer;
fy,e: real;
ngb,ns,ntab : arraytype1;
alfa1,alfa2,dlim,l: arraytype3;
esf,ac: arraytype6;
nd: arraytype2;
var fidx: arraytype4;
var kke: integer);
var i,j,j1,k,i1,ip1,ipp1,npcpq,grupo,jk,ndpcpq : integer;
lamb1,lamb2,lamb3,aux1,aux2,aux3,lambb1,lambb2,lambb3,beta1,
beta2,beta3,beta,ro,ro1,ro2,ro3,faidx,rbzq,aga,ax,rx,ry,q,
x0,y0,it,cw,qa,npcpqr,grupor,pcpqr,b,t,f1,f2,delta,aef,bef : real;
r : array[1..6,1..80] of real;
c : char;

```

```

vs : string[2];
nome : string[40];
nome2 : string[40];
begin
kke:=0;
for j:= 1 to nm do
begin
k:=ngb[j];
ip1:=1;
ipp1:=0;
if k = ig then
begin
ip1:=ip;
ipp1:=ipp;
end;
str(ntab[k],vs);
nome:='c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
i1:=8*(ns[k]-ip1+ipp1)+1+2;
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,ax,rx,ry,q,x0,y0,it,cw);
close(arqtab);
i:=0;
while i < nc do
begin
i:=i+1;
if esf[i,j] >= 0 then
begin
r[i,j]:= 0.9*ax*fy;
end
else
begin
lamb1:= l[j]/rx;
lamb2:= l[j]/ry;
aux1:= 9.8696044*e/sqr(lamb1);
aux2:= 9.8696044*e/sqr(lamb2);
qa:=1;
nome2:='c:\tp\mauro\tabqa'+vs+'.dat';
assign(arqtabqa,nome2);
reset(arqtabqa);
read(arqtabqa,npcpqr);
npcpq:=trunc(npcpqr);
if npcpq > 0 then
begin
seek(arqtabqa,1);
read(arqtabqa,grupor);
writeln('numero de perfis com possibilidade de qa < 1 = ',npcpq:3);
writeln('grupo a que pertence o perfil = ',grupor:4:0);
grupo:=trunc(grupor);
writeln;
writeln('perfis com qa possibilidade de qa < 1 ');
for jk:=1 to npcpq do
begin
i1:=jk+1;
seek(arqtabqa,i1);
read(arqtabqa,pcpqr);

```

```

ndpcpq:=trunc(pcpqr);
write(ndpcpq);
if ns[k] = ndpcpq then
begin
i1:=npcpq+2+2*(jk-1);
seek(arqtabqa,i1);
read(arqtabqa,b,t);
f2:=esf[i,j]/ax;
delta:=1;
writeln;
writeln('numero da tabela = ',ntab:3);
writeln('numero da solucao corrente= ',ns[k]:3);
writeln;
writeln('b = ',b:8:3);
writeln('t = ',t:8:3);
writeln;
writeln(' ':6,'f1',' ':6,'bef',' ':6,'aef',' ':6,'f2');
writeln;
while delta > 0.001 do
begin
f1:=f2;
case grupo of
4 : begin
bef:=1.76*t*sqrt(e/f1)*(1-(0.350/(b/t))*sqrt(e/f1));
if bef > b then
bef:=b;
end;
5 : begin
bef:=1.76*t*sqrt(e/f1)*(1-(0.310/(b/t))*sqrt(e/f1));
if bef > b then
bef:=b;
end;
end;
aef:=ax-(b-bef)*t;
f2:=esf[i,j]/aef;
delta:=f2-f1;
writeln(f1:8:3,bef:9:3,aef:9:3,f2:8:3);
end;
qa:=aef/ax;
end;
end;
end;
q:=q*qa;
writeln;writeln;
write('valor de qa = ',qa:7:3);
writeln;
writeln;
write('valor de q = ',q:7:3);
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
lambb1:= sqrt(q*fy/aux1);
lambb2:= sqrt(q*fy/aux2);
if lambb1 <= 0.2 then
begin
ro1:= 1.0;
end
else

```

```

begin
beta1:= (1/(2*sqr(lambb1)))*(1+alfa1[k]*(sqrt(sqr(lambb1)-0.04))
+sqr(lambb1));
ro1:= beta1 - sqrt(sqr(beta1) - 1/sqr(lambb1));
end;
if lambb2 <= 0.2 then
begin
ro2:= 1.0;
end
else
begin
beta2:= (1/(2*sqr(lambb2)))*(1+alfa2[k]*(sqrt(sqr(lambb2)-0.04))
+sqr(lambb2));
ro2:= beta2 - sqrt(sqr(beta2) - 1/sqr(lambb2));
end;
rbzq:=sqr(x0)+sqr(y0)+sqr(rx)+sqr(ry);
aux3:=(((9.8696044*e*cw)/sqr(l[j]))+(e/2.6)*it)/(ax*rbzq);
if x0 = 0 then
begin
if y0 <> 0 then
begin
aga:=1-(sqr(y0/rbzq));
faidx:=((aux2+aux3)/(2*aga))*(1-sqrt(1-(4*aux2*aux3*aga)/
sqr(aux2+aux3)));
aux3:=faidx;
end;
else
begin
if y0 = 0 then
begin
aga:=1-(sqr(x0/rbzq));
faidx:=((aux1+aux3)/(2*aga))*(1-sqrt(1-(4*aux1*aux3*aga)/
sqr(aux1+aux3)));
aux3:=faidx;
end;
end;
lambb3:=sqrt(q*fy/aux3);
if lambb3 <= 0.2 then
begin
ro3:= 1.0;
end
else
begin
beta3:= (1/(2*sqr(lambb3)))*(1+0.384*(sqrt(sqr(lambb3)-0.04))
+sqr(lambb3));
ro3:= beta3 - sqrt(sqr(beta3) - 1/sqr(lambb3));
end;
ro:=ro1;
if ro2 < ro then
ro:=ro2;
if ro3 < ro then
ro:=ro3;
r[i,j]:= 0.9*ro*q*ax*fy;
end;
if i = 1 then
begin

```

```

    fidx[j]:= (r[i,j] - abs(esf[i,j]))/r[i,j];
    faidx:= fidx[j];
  end
  else
  begin
    faidx:= (r[i,j] - abs(esf[i,j]))/r[i,j];
    if faidx < fidx[j] then
      fidx[j]:= faidx;
    end;
  if faidx < 0 then
  begin
    if esf[i,j] > -0.00001 then
      begin
        i:= 2*nc;
        kke:=0;
      end
      else
      begin
        kke:=1;
      end;
    end;
  end;
end;
end;
if nrd>0 then
  begin
    for j1:= 1 to nrd do
      begin
        i:=0;
        while i < nc do
          begin
            i:=i+1;
            if dlim[nd[j1]] < 0 then
              begin
                if i = 1 then
                  begin
                    fidx[nm+j1]:=100*(ac[i,nd[j1]]-dlim[nd[j1]])/abs(dlim[nd[j1]]);
                  end
                  else
                  begin
                    faidx:=100*(ac[i,nd[j1]]-dlim[nd[j1]])/abs(dlim[nd[j1]]);
                    if faidx < fidx[nm+j1] then
                      fidx[nm+j1]:= faidx;
                    end;
                  end
                end
                else
                begin
                  if i = 1 then
                    begin
                      fidx[nm+j1]:=100*(dlim[nd[j1]]-ac[i,nd[j1]])/abs(dlim[nd[j1]]);
                    end
                    else
                    begin
                      faidx:=100*(dlim[nd[j1]]-ac[i,nd[j1]])/abs(dlim[nd[j1]]);
                      if faidx < fidx[nm+j1] then
                        fidx[nm+j1]:=faidx;
                      end;
                    end;
                  end;
                end;
              end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

    end;
  end;
end;
writeln;writeln;
writeln('  valores das restricoes de comportamento');
j:=nm+nrd;
for i:=1 to j do
writeln(fidx[i]:20:4);
{writeln('digite qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;}
end;
{*****}
{*****procedimento para rearranjar grupos de variaveis*****}
{*****}
procedure rearranjo(nvp: integer; ns,ngb,ntab : arraytype1;
var ngrb : arraytype1; var ngr : integer);
var i,j,i1,ii,j1,j2,kj : integer;
    c : char;
begin
for i:= 1 to nvp do
ngrb[i]:= ngb[i];
for j:= 1 to nvp do
begin
kj:=0;
for i:= j+1 to nvp do
begin
if (ns[ngb[i]] = ns[ngb[j]]) and
(ntab[ngb[i]] = ntab[ngb[j]]) then
begin
if ngrb[i] <> ngrb[j] then
begin
i1:=ngrb[i];
if i < nvp then
begin
for ii:= i+1 to nvp do
begin
if ngrb[ii] = ngrb[i] then
ngrb[ii]:= ngrb[j];
end;
end;
ngrb[i]:= ngrb[j];
for ii:=1 to nvp do
begin
if ngrb[ii] > i1 then
ngrb[ii]:=ngrb[ii]-1;
end;
kj:=kj+1;
end;
end;
end;
ngr:= ngr - kj;
end;
writeln(1st,':28,' grupos rearranjados');
writeln(1st,':27,' barra grupo');
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nvp do

```



```

begin
  clrscr;
  if j2 > nvp then j2:=nvp;
  for i:=j1 to j2 do
    writeln(lst,' :34,i:2,' :12,ngrb[i]:2);
    writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
    c:=readkey;
    j1:=j2;
    j2:=j2+20;
  end;
end;
{*****}
{*****procedimento para impressao da solucao*****}
{*****}
procedure solucao1(nvp : integer; ntab,ngb,ns : arraytype1);
  var ii,i,i1,j1,j2 : integer;
      nome1 : string[20];
      vs : string[2];
      tip,nup : str40;
begin
  j1:=1;
  j2:=21;
  while j1 < nvp do
    begin
      clrscr;
      writeln(lst,' barra solucao tabela          composicao');
      if j2 > nvp then j2:=nvp;
      for i:=j1 to j2 do
        begin
          i1:=ngb[i];
          str(ntab[i1],vs);
          nome1:=c:\tp\mauro\ta'+vs+'.dat';
          assign(arqta,nome1);
          reset(arqta);
          seek(arqta,0);
          read(arqta,tip);
          seek(arqta,ns[i1]);
          read(arqta,nup);
          writeln(' :3,i:5,' :3,ns[i1]:7,' :3,ntab[i1]:6,' :5,tip,
            ' :2,nup);
          close(arqta);
        end;
      writeln;
      writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
      c:=readkey;
      j1:=j2;
      j2:=j2+20;
    end;
  end;
{*****}
{*****procedimento para determinar a função penalizada na vizinhança superior***}
{*****}
procedure fpvisu(i,ip,ng,nvp,kkk,kk3,nrd,nra,ngl,nn,nrc,ntabi,
  nsi : integer;
  fy,e,fdx,r,ac : real;
  nd,rl,crl : arraytype2;
  dlim,alfa1,alfa2,lim,cx,cy,l,aca1,ar1,baux2 : arraytype3;

```

```

ngb,ni,nf,ns,ntab : arraytype1;
aa,aca,esf : arraytype6;
s : arraytype5;
var k4,kckki,pfi : integer;
var pp,cp : arraytype4);
var i1,ii,kchh,kke,k1k,j1,j2,j3,nssai,ig,ipp : integer;
  co,a1,a3,q1,q3,rx1,rx3,ry1,ry3,x01,x03,y01,y03,delax1,delax2,it1,it3,
  cw1,cw3,adx,bdx,cdx,ddx,edx,ffdx,gdx,hdx,baux2i,aaux2i,caux2i,daux2i,
  eaux2i,faux2i,gaux2i,haux2i,baux3,aaux3,caux3,daux3,
  eaux3,faux3,gaux3,haux3 : real;
  esf1,aa1 : arraytype3;
  fldx,fidx : arraytype4;
  vs : string[2];
  nome : string[40];
begin
str(ntabi,vs);
nome:= 'c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
i1:=8*(nsi)+1+2;
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,baux3,aaux3,caux3,daux3,eaux3,faux3,gaux3,haux3);
close(arqtab);
kckki:=0;
kchh:= 0;
co:=0;
for ii:=1 to nvp do
begin
if i = ngb[ii] then
begin
if lim[ii] > co then
co:=lim[ii];
end;
end;
if aaux3 < co then
begin
while kchh < 5 do
begin
kckki:=kckki+1;
kchh:=kchh+1;
i1:=8*(nsi+kckki)+1+2;
if i1 < (8*pfi+1+2) then
begin
reset(arqtab);
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,a3,rx3,ry3,q3,x03,y03,it3,cw3);
close(arqtab);
if rx3 > co then
begin
kchh:=8;
baux3:=a3;
aaux3:=rx3;
caux3:=ry3;
daux3:=q3;
eaux3:=x03;
faux3:=y03;
gaux3:=it3;

```

```

    haux3:=cw3;
end;
end
else
begin
kchh:=5;
end;
end;
end;
if kchh = 5 then
begin
pfi:=nsi;
nssai:=nsi;
kckki:=0;
end;
if nsi < pfi then
begin
delax1:= baux3 - baux2[i];
for ii:= 1 to nvp do
begin
if i = ngb[ii] then
f1dx[2*i-1]:=fdx+l[ii]*delax1;
end;
if kkk = 1 then
begin
matrivi(i,ngl,ni,nf,ngb,e,delax1,l,cx,cy,rl,crl,s);
decompos(ngl,s);
end;
bdx:=baux2[i];
baux2[i]:=baux3;
baux2i:=baux3;
aaux2i:=aaux3;
caux2i:=caux3;
daux2i:=daux3;
eaux2i:=eaux3;
faux2i:=faux3;
gaux2i:=gaux3;
haux2i:=haux3;
if kkk = 1 then
begin
for j3:= 1 to kk3 do
begin
for i1:= 1 to 2*nn do
begin
aa1[i1]:=aa[j3,i1];
end;
desloc(ngl,nra,nn,rl,crl,aa1,aca1,s);
esforcos(nvp,j3,e,ni,nf,ngb,esf1,aca1,ar1,aa1,l,cx,cy,baux2,rl,crl);
for i1:=1 to 2*nn do
aca[j3,i1]:=aca1[i1];
for i1:=1 to nvp do
esf[j3,i1]:=esf1[i1];
end;
end;
end;
ig:=i;
ip:=0;
ipp:=kckki;

```

```

restri(ig,ip,ipp,kk3,nvp,nrd,ng,fy,e,ngb,ns,ntab,alfa1,alfa2,
dlim,l,esf,aca,nd,fdx,kke);
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nrc do
begin
clrscr;
writeln;writeln(' valores das restricoes de comportamento');
writeln(' na vizinhanca superior - grupo ',i:2);
if j2 > nrc then
j2:=nrc;
for ii:=j1 to j2 do
writeln(ii:13,fdx[ii]:17:4);
{if r < 0.01 then
begin
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
end;}
j1:=j2;
j2:=j2+20;
end;
baux2[i]:=bdx;
{***** analise da vizinhanca superior *****};
kchh:=0;
if kke = 1 then
begin
if (nsi-nssai) <> 0 then
begin
while kchh < 5 do
begin
kckki:=kckki+1;
kchh:=kchh+1;
i1:=8*(nsi+kckki)+1+2;
if i1 < (8*pf+1+2) then
begin
str(ntabi,vs);
nome:= 'c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,a3,rx3,ry3,q3,x03,y03,it3,cw3);
close(arqtab);
if rx3 > co then
begin
delax2:=a3-bdx;
baux2[i]:=a3;
baux2i:=a3;
aaux2i:=rx3;
caux2i:=ry3;
daux2i:=q3;
eaux2i:=x03;
faux2i:=y03;
gaux2i:=it3;
haux2i:=cw3;
end;
end;
matrivi(i,ngl,ni,nf,ngb,e,delax2,l,cx,cy,rl,crl,s);

```

```

decompos(ngl,s);
for j3:=1 to kk3 do
  begin
    for j:= 1 to 2*nn do
      begin
        aa1[j]:=aa[j3,j];
      end;
    desloc(ngl,nra,nn,rl,crl,aa1,aca1,s);
    esforcos(nvp,j3,e,ni,nf,ngb,esf1,aca1,ar1,aa1,l,cx,cy,
    baux2,rl,crl);
    for j:=1 to 2*nn do
      aca[j3,j]:= aca1[j];
    for j:=1 to nvp do
      esf[j3,j]:= esf1[j];
    end;
  end;
  ig:=i;
  ip:=0;
  ipp:=kckki;
  restri(ig,ip,ipp,kk3,nvp,nrd,ng,fy,e,ngb,ns,ntab,alfa1,
  alfa2,dlim,l,esf,aca,nd,fdx,kke);
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nrc do
  begin
    clrscr;
    writeln;writeln('  valores das restricoes de comportamento');
    writeln('      na vizinhanca superior alterada - grupo ',i:2);
    if j2 > nrc then
      j2:=nrc;
    for ii:=j1 to j2 do
      writeln(ii:13,fdx[ii]:17:4);
    {if r < 0.01 then
      begin
        writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
        c:=readkey;
      end;}
    j1:=j2;
    j2:=j2+20;
  end;
  baux2[i]:=bdx;
k1k:=0;
for i1:=1 to nvp do
  begin
    if fdx[i1] < 0 then
      k1k:=1;
    end;
  if k1k <> 1 then
    begin
      kchh:= 8;
      baux3:= a3;
      aaux3:= rx3;
      caux3:= ry3;
      daux3:= q3;
      eaux3:=x03;
      faux3:=y03;
      gaux3:=it3;
    end;
  end;

```

```

    haux3:=cw3;
    for ii:=1 to nvp do
      begin
        if i = ngb[ii] then
          fldx[2*i-1]:= fdx + l[ii]*(baux3 - baux2[i]);
        end;
      end;
    end;
  end
else
  begin
    kchh:=5;
  end;
end;
end;
if kchh = 5 then
  begin
    nssai:=nsi;
    kckki:=0;
  end;
end;
k:= 0;
for j:= 1 to nrc do
  begin
    if fidx[j] < 0 then
      k:= 1;
    end;
  end;
if k <> 1 then
  begin
    sfdx:= 0;
    for j:= 1 to nrc do
      sfdx:= sfdx + 1/(fidx[j] + ac);
    end;
    pp[2*i-1]:= fldx[2*i-1] + r*sfdx;
    cp[2*i-1]:= pp[2*i-1];
  end
else
  begin
    k4:=1;
  end;
end;
end;
end;
{*****}
{****procedimento para determinar a função penalizada na vizinhança inferior****}
{*****}
procedure fpviin(i,ip,ng,nvp,kkk,kk3,nrd,nra,ngl,nm,nrc,ntabi,
nsi : integer;
fy,e,fdx,r,ac : real;
nd,rl,crl : arraytype2;
dlim,alfa1,alfa2,lim,cx,cy,l,aca1,ar1,baux2 : arraytype3;
ngb,ni,nf,ns,ntab : arraytype1;
aa,aca,esf : arraytype6;
s : arraytype5;
var k4,kcki,pii : integer;
var pp,cp : arraytype4);
var il,ii,kchh,kke,k,k1k,j1,j2,j3,nsai,ig : integer;
co,a1,a3,q1,q3,rx1,rx3,ry1,ry3,x01,x03,y01,y03,delax1,delax2,it1,it3,
cw1,cw3,adx,bdx,cdx,ddx,edx,ffdx,gdx,hdx,baux2i,aaux2i,caux2i,daux2i,

```

```

eaux2i,faux2i,gaux2i,haux2i,aux1,baux1,caux1,daux1,
eaux1,faux1,gaux1,haux1 : real;
esf1,aa1 : arraytype3;
fldx,fix : arraytype4;
vs : string[2];
nome : string[40];
begin
str(ntabi,vs);
nome:= 'c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
i1:=8*(nsi-2)+1+2;
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,baux1,aux1,caux1,daux1,eaux1,faux1,gaux1,haux1);
close(arqtab);
kcki:=0;
if nsi > pii then
begin
kch:= 0;
co:=0;
for ii:=1 to nvp do
begin
if i = ngb[ii] then
begin
if lim[ii] > co then
co:=lim[ii];
end;
end;
if aaux1 < co then
begin
while kch < 5 do
begin
kcki:=kcki+1;
kch:=kch+1;
i1:=8*(nsi-2-kcki)+1+2;
if i1 > 2 then
begin
reset(arqtab);
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,a1,rx1,ry1,q1,x01,y01,it1,cw1);
close(arqtab);
if rx1 > co then
begin
kch:=8;
baux1:=a1;
aux1:=rx1;
caux1:=ry1;
daux1:=q1;
eaux1:=x01;
faux1:=y01;
gaux1:=it1;
haux1:=cw1;
end;
end
else
begin
kch:=5;

```

```

    end;
  end;
end;
if kch = 5 then
  begin
    pii:=nsi;
    nsai:=nsi;
    kcki:=0;
    end;
delax2:=baux1 - baux2[i];
for ii:=1 to nvp do
  begin
    if i = ngb[ii] then
      fldx[2*i]:=fldx+[ii]*delax2;
    end;
if kkk = 1 then
  begin
    matrivi(i,ngl,ni,nf,ngb,e,delax2,l,cx,cy,rl,crl,s);
    decompos(ngl,s);
    end;
    bdx:=baux2[i];
    baux2[i]:=baux1;
    baux2i:=baux1;
    aaux2i:=aaux1;
    caux2i:=caux1;
    daux2i:=daux1;
    eaux2i:=eaux1;
    faux2i:=faux1;
    gaux2i:=gaux1;
    haux2i:=haux1;
if kkk = 1 then
  begin
    for j3:= 1 to kk3 do
      begin
        for i1:= 1 to 2*nn do
          begin
            aa1[i1]:=aa[j3,i1];
            end;
          desloc(ngl,nra,nn,rl,crl,aa1,aca1,s);
          esforcos(nvp,j3,e,ni,nf,ngb,esf1,aca1,ar1,aa1,l,cx,cy,baux2,rl,crl);
          for i1:=1 to 2*nn do
            aca[j3,i1]:=aca1[i1];
          for i1:=1 to nvp do
            esf[j3,i1]:=esf1[i1];
          end;
        end;
        ig:=i;
        ip:=2;
        ipp:=-kcki;
        restri(ig,ip,ipp,kk3,nvp,nrd,ng,fy,e,ngb,ns,ntab,alfa1,alfa2,
          dlim,l,esf,aca,nd,fidx,kke);
        j1:=1;
        j2:=21;
        while j1 < nrc do
          begin
            clrscr;
            writeln;writeln('  valores das restricoes de comportamento');

```



```

writeln('          na vizinhanca inferior - grupo ',i:2);
if j2 > nrc then
j2:=nrc;
for ii:=j1 to j2 do
writeln(ii:13,fdx[ii]:17:4);
{if r < 0.01 then
begin
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
end;}
j1:=j2;
j2:=j2+20;
end;
baux2[i]:=bdx;
{***** analise da vizinhanca inferior *****};
kch:=0;
if kke = 1 then
begin
if (nsi-nsai) <> 0 then
begin
while kch < 5 do
begin
kcki:=kcki+1;
kch:=kch+1;
i1:=8*(nsi-2-kcki)+1+2;
if i1 > 2 then
begin
str(ntabi,vs);
nome:='c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,a1,rx1,ry1,q1,x01,y01,it1,cw1);
close(arqtab);
if rx1 > aaux1 then
begin
delax2:=a1-bdx;
baux2[i]:=a1;
baux2i:=a1;
aaux2i:=rx1;
caux2i:=ry1;
daux2i:=q1;
eaux2i:=x01;
faux2i:=y01;
gaux2i:=it1;
haux2i:=cw1;
end;
if kkk = 1 then
begin
matrivi(i,ngl,ni,nf,ngb,e,delax2,l,cx,cy,rl,crl,s);
decompos(ngl,s);
for j3:=1 to kk3 do
begin
for j:= 1 to 2*nn do
begin
aa1[j]:=aa[j3,j];
end;
desloc(ngl,nra,nn,rl,crl,aa1,aca1,s);
end;

```

```

    esforcos(nvp,j3,e,ni,nf,ngb,esf1,aca1,ar1,aa1,l,cx,cy,
    baux2,rl,crl);
    for j:=1 to 2*nn do
    aca[j3,j]:=aca1[j];
    for j:=1 to nvp do
    esf[j3,j]:=esf1[j];
    end;
end;
ig:=i;
ip:=2;
ipp:=-kcki;
restri(ig,ip,ipp,kk3,nvp,nrd,ng,fy,e,ngb,ns,ntab,alfa1,alfa2,
dlim,l,esf,aca,nd,fdx,kke);
{j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nrc do
begin
clrscr;
writeln;writeln(' valores das restricoes de comportamento');
writeln(' na vizinhanca inferior alterada - grupo ',i:2);
if j2 > nrc then
j2:=nrc;
for ii:=j1 to j2 do
writeln(ii:13,fdx[ii]:17:4);
if r < 0.01 then
begin
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
end;
j1:=j2;
j2:=j2+20;
end};
baux2[i]:=bdx;
{writeln;
writeln('valores das restricoes na analise de vizinhanca');
for i1:= 1 to nvp do
writeln('fdx['',i1:2,']= ',fdx[i1]:7:4)};
{writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;}
k1k:=0;
for i1:=1 to nvp do
begin
if fdx[i1] < 0 then
k1k:=1;
end;
if k1k <> 1 then
begin
kch:= 8;
baux1:= a1;
aaux1:= rx1;
caux1:= ry1;
daux1:= q1;
eaux1:= x01;
faux1:= y01;
gaux1:= it1;
haux1:= cw1;
for ii:=1 to nvp do

```

```

        begin
        if i = ngb[ii] then
        fldx[2*i]:= fdx + l[ii]*(baux1 - baux2[i]);
        end;
        end;
        end;
        end
        else
        begin
        kch:=5;
        end;
        end;
        end;
        if kch = 5 then
        begin
        {nsa[i]:=ns[i]};
        kcki:=0;
        end;
        end;
{*****};
k:= 0;
if nsai = pii then
k:=1;
for j:= 1 to nrc do
begin
if fidx[j] < 0 then
k:=1;
end;
if k = 0 then
begin
sfdx:= 0;
for j:= 1 to nrc do
sfdx:= sfdx + 1/(fidx[j] + ac);
pp[2*i]:= fldx[2*i] + r*sfdx;
cp[2*i]:= pp[2*i];
end
else
begin
k4:=1;
end;
end
else
begin
k4:=1;
kcki:=0;
end;
end;
{*****}
{*****programa principal*****}
{*****}
begin
k5:=0;
textbackground(1);textcolor(15);
clrscr;
writeln;writeln;
write(' vai haver agrupamento de variaveis de projeto ? S/N = ');
tr:=readkey;

```

```

write(tr);
if UpCase(tr)='S' then
  begin
    nvp:=0;
    writeln;writeln;
    write(' numero de grupos de variaveis de projeto = ');
    readln(ng);
    for j:= 1 to ng do
      begin
        writeln;write(' numero de barras do grupo ',j:2,' = ');
        readln(nbg);
        writeln;write(' barras componentes do grupo ',j:2,' = ');
        for i:=1 to nbg do
          begin
            read(k);
            nbg[k]:=j;
          end;
        nvp:=nvp+nbg;
      end;
    end
  else
    begin
      writeln;writeln;
      write(' numero de variaveis de projeto = ');
      readln(nvp);
      ng:=nvp;
      for i:=1 to ng do
        nbg[i]:=i;
      end;
    end;
  writeln;writeln;
  if UpCase(tr)='S' then
    begin
      writeln(' numero da tabela de dados para cada grupo de variaveis');
      writeln;
      writeln(' :29,'grupo tabela');
    end
  else
    begin
      writeln(' numero da tabela de dados para cada variavel de projeto');
      writeln(' :26,'variavel tabela');
    end;
  for j := 1 to ng do
    begin
      write(' :32,j:2,' = ');
      readln(ntab[j]);
      pi[j]:=1;
    end;
  {writeln;writeln;
  write(' parametro r da funcao de penalidade = ');
  readln(r);}
  r:=1000;
  r1:=r;
  {writeln;writeln;
  write(' redutor do parametro r da funcao de penalidade = ');
  readln(a);}
  {ac:=2*a/r;}
  a:=ln(r);

```

```

ac:=0;
dadtre(1,cx,cy,rl,crl,e,fy,nra,nvp,nn,ngl,ni,nf);
leicar(aa,kk3,nn);
writeln;writeln;
write(' numero de nos com restricoes de comportamento = ');
readln(nnrc);
nrd:=0;
if nnrc <> 0 then
begin
for j:= 1 to 2*nn do
dlim[j]:= 0;
writeln;writeln;
writeln(' digite o valor limite se o deslocamento for limitado');
writeln('          ou 0 caso contrario');
writeln;
writeln(' :30,no desloc. x desloc. y');
for j:= 1 to nnrc do
begin
write(' :30);
readln(k,dlim[2*k-1],dlim[2*k]);
end;
i:=0;
for j:= 1 to 2*nn do
begin
if dlim[j] <> 0 then
begin
i:= i+1;
nd[i]:= j;
end;
nrd:=i;
end;
end;
nrc:=nvp+nrd;
writeln;
writeln('verifique se o disco que contem as tabelas de perfis esta',
'disponivel, e');
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
assign(arqtab,'c:\tp\mauro\arqtab.dat');
for i:= 1 to ng do
begin
str(ntab[i],vs);
nome:= 'c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
seek(arqtab,0);
read(arqtab,a1,alfa1[i],alfa2[i]);
netab:=trunc(a1);
pf[i]:=netab;
ns[i]:=netab-1;
close(arqtab);
end;
writeln;writeln;
writeln(' :12,numero da solucao inicial para cada grupo de variaveis',
'de projeto');
writeln(' :29,' grupo n. da solucao inicial');
for j:= 1 to ng do

```

```

begin
writeln(' ':32,j:2,' ':12,ns[i]:3);
{write(' ':30,'x(j:2,)= ',' ':12);
readln(ns[j])};
nsa[j]:=netab-1;
nssa[j]:=netab-1;
end;
{writeln;writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;}
{*****determinacao da solucao inicial*****};
{*****};
lamb1:= 1;
kk:=0;
for i:= 1 to nvp do
esf[1,i]:= 0;
while lamb1 > 0 do
begin
kk1:=1;
for i:= 1 to ng do
begin
{kck[i]:=0};
str(ntab[i],vs);
nome:= 'c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
i1:= 8*(ns[i] - 1)+1+2;
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,a2,rx2,ry2,q2,x02,y02,it2,cw2);
baux2[i] := a2;
aux2[i]:= rx2;
caux2[i]:= ry2;
daux2[i]:= q2;
eaux2[i]:= x02;
faux2[i]:= y02;
gaux2[i]:= it2;
haux2[i]:= cw2;
close(arqtab);
end;
fdx:=0;
for i:=1 to nvp do
fdx:= fdx + l[i]*baux2[ngb[i]];
matriz(e,baux2,l,rl,crl,ni,nf,ngb,cx,cy,s,nvp,nn,ngl);
decompos(ngl,s);
for j3:= 1 to kk3 do
begin
for j:= 1 to 2*nn do
begin
aa1[j]:=aa[j3,j];
end;
desloc(ngl,nra,nn,rl,crl,aa1,aca1,s);
esforcos(nvp,j3,e,ni,nf,ngb,esf1,aca1,ar1,aa1,l,cx,cy,baux2,rl,crl);
for j:=1 to 2*nn do
aca[j3,j]:=aca1[j];
for j:=1 to nvp do
esf[j3,j]:=esf1[j];
if kk = 2 then
begin

```

```

{***** rearranjo de grupos *****};
if UpCase(tr) <> 'S' then
begin
netab:=ng;
ngr:= ng;
rearranjo(nvp,ns,ngb,ntab,ngrb,ngr);
if netab-ngr < 0 then
begin
for j:= 1 to ngr do
begin
i:=1;
while i <= nvp do
begin
if ngrb[i] = j then
begin
ntab[j]:= ntab[ngb[i]];
pi[j]:=pi[ngb[i]];
ns[j]:=ns[ngb[i]];
i:=nvp;
end;
i:=i+1;
end;
end;
for i:= 1 to nvp do
ngb[i]:= ngrb[i];
ng:= ngr;
for i:= 1 to ng do
begin
str(ntab[i],vs);
nome:= 'c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
seek(arqtab,0);
read(arqtab,a1,alfa1[i],alfa2[i]);
nsa[i]:=ns[i]+1;
close(arqtab);
end;
for i:= 1 to ng do
begin
str(ntab[i],vs);
nome:= 'c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
i1:= 8*(ns[i] - 1)+1+2;
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,a2,rx2,ry2,q2,x02,y02,it2,cw2);
baux2[i] := a2;
aaux2[i]:= rx2;
caux2[i]:= ry2;
daux2[i]:= q2;
eaux2[i]:= x02;
faux2[i]:= y02;
gaux2[i]:= it2;
haux2[i]:= cw2;
close(arqtab);
end;
end;
end;

```

```

    end;
  writeln; writeln;
  {write('listar na impressora ? S/N = ');
  rr:=readkey;
  write(rr);
  if UpCase(rr)='S' then}
  impres(nn,j3,nvp,aa1,aca1,ar1,esf1);
  writeln(1st); {writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
  c:=readkey};
  writeln(1st);
  end;
end;
ig:=0;
ip:=1;
ipp:=0;
restri(ig,ip,ipp,kk3,nvp,nrd,ng,fy,e,ngb,ns,ntab,alfa1,alfa2,
dlim,l,esf,aca,nd,fdx,kke);
{j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nrc do
  begin
  clrscr;
  writeln;writeln('  valores das restricoes de comportamento');
  writeln('          na solucao corrente');
  if j2 > nrc then
  j2:=nrc;
  for ii:=j1 to j2 do
  writeln(ii:13,fdx[ii]:17:4);
  if r < 0.01 then
  begin
  writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
  c:=readkey;
  end;
  j1:=j2;
  j2:=j2+20;
  end};
sfdx:=0;
for i:= 1 to nrc do
sfdx:= sfdx + 1/(fdx[i]+ac);
p:= fdx + r*sfdx;
mp:= p;
{*****};
  for j := 1 to 2*ng do
  cp[j]:= 2*p;
{*****};
  for ii:=1 to nvp do
  begin
  if esf[1,ii] >= -0.0001 then
  begin
  lim[ii]:= l[ii]/240;
  end
  else
  begin
  lim[ii]:=l[ii]/200;
  end;
  end;
end;
{***** aproximacao da solucao *****};

```



```

kkk:=0;
for ii:=1 to nvp do
  begin
  if fidx[ii] < 0.1 then
    kkk:=1;
  end;
if nrd > 0 then
  begin
  for ii:= 1 to nrd do
    begin
    if fidx[nvp+ii] < 20 then
      kkk:=1;
    end;
  end;
k4:=0;
for i:= 1 to ng do
  begin
  ntabi:=ntab[i];
  pfi:=pf[i];
  pii:=pi[i];
  nsi:=ns[i];
  ip:=0;
  fpvisu(i,ip,ng,nvp,kkk,kk3,nrd,nra,ngl,nn,nrc,ntabi,nsi,fy,e,
  fdx,r,ac,nd,rl,crl,dlim,alfa1,alfa2,lim,cx,cy,l,aca1,ar1,baux2,
  ngb,ni,nf,ns,ntab,aa,aca,esf,s,k4,kckki,pfi,pp,cp);
  ip:=2;
  fpviin(i,ip,ng,nvp,kkk,kk3,nrd,nra,ngl,nn,nrc,ntabi,nsi,fy,e,
  fdx,r,ac,nd,rl,crl,dlim,alfa1,alfa2,lim,cx,cy,l,aca1,ar1,baux2,
  ngb,ni,nf,ns,ntab,aa,aca,esf,s,k4,kcki,pii,pp,cp);
  kckk[i]:=kckki;
  kck[i]:=kcki;
  pf[i]:=pfi;
  pi[i]:=pii;
  end;
clrscr;
writeln;
writeln('      valores da funcao penalizada');
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < 2*ng do
  begin
  if j2 > 2*ng then
    j2:= 2*ng;
  writeln(' valor de p = ',p:10:3);
  for j:= j1 to j2 do
    writeln(' valor de pp[' ,j:3,'] = ',pp[j]:10:3);
    {if r < 0.01 then
      begin
      writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
      c:= readkey;
      end};
  j1:=j2;
  j2:=j2+20;
  end;
k:= 0;
for j:= 1 to 2*ng do
  begin

```

```

if pp[j] < mp then
  begin
  if cp[j] < mp then
    begin
      mp:= pp[j];
      k:= j;
    end;
  end;
end;
for i := 1 to ng do
nsv[i]:= ns[i];
if k = 0 then
  begin
  kk1:=0;
  end
else
  begin
  i:= trunc(k/2);
  if (k - 2*i) > 0 then
    begin
      i:= i + 1;
      j:= 1 + kckk[i];
    end
  else
    begin
      j:= -1 - kck[i];
    end;
  nsv[i]:= ns[i] + j;
  end;
k2:=0;
if k4 <> 1 then
  begin
  ngx b:= 0;
  for i:= 1 to ng do
    begin
      gxb[i]:= 0.5*(pp[2*i-1] - pp[2*i]);
      ngx b:= ngx b + gxb[i]*gxb[i];
    end;
  ngx b:= sqrt(ngx b);
  for i := 1 to ng do
    begin
      sxb[i]:= -gxb[i]/ngx b;
      if i = 1 then
        msxb := abs(sxb[i]);
        if msxb < abs(sxb[i]) then
          msxb:= abs(sxb[i]);
        end;
      for i:= 1 to ng do
        begin
          drxb[i]:= sxb[i]/msxb;
          gmx b[i]:= round(drxb[i]);
        end;
      lamb:=1;
      lamb2:=1;
      mp1:=mp;
      kj:=0;
      writeln;

```

```

writeln('          possiveis novas solucoes e ');
writeln(' valores da funcao penalizada das possiveis novas solucoes');
while lamb2 > 0 do
begin
for i:= 1 to ng do
begin
nsd[i]:= ns[i] + lamb*gmxb[i];
{nsd[i]:= round(ns[i] + lamb*drxb[i]);}
writeln(' nsd['i:3,'] = ',nsd[i]:3);
if nsd[i] < pi[i] then
kj:= 1;
if nsd[i] > pf[i] then
kj:= 1;
if kj = 0 then
begin
str(ntab[i],vs);
nome:= 'c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
i1:= 8*(nsd[i] - 1)+1+2;
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,a2,rx2,ry2,q2,x02,y02,it2,cw2);
baux2[i]:= a2;
aaux2[i]:= rx2;
caux2[i]:= ry2;
daux2[i]:= q2;
eaux2[i]:=x02;
faux2[i]:=y02;
gaux2[i]:=it2;
haux2[i]:=cw2;
close(arqtab);
end;
for j:=1 to nvp do
begin
if ngb[j] = i then
begin
if rx2 < lim[j] then
kj:=1;
end;
end;
end;
if kj = 0 then
begin
fdx1:= 0;
for i:= 1 to nvp do
fdx1:= fdx1 + l[i]*baux2[ngb[i]];
matriz(e,baux2,l,rl,crl,ni,nf,ngb,cx,cy,s,nvp,nn,ngl);
decompos(ngl,s);
for j3:= 1 to kk3 do
begin
for il:= 1 to 2*nn do
begin
aa1[i1]:=aa[j3,il];
end;
desloc(ngl,nra,nn,rl,crl,aa1,aca1,s);
esforcos(nvp,j3,e,ni,nf,ngb,esf1,aca1,ar1,aa1,l,cx,cy,baux2,rl,crl);
for il:=1 to 2*nn do

```

```

aca[j,1]:=aca1[i1];
for i1:=1 to nvp do
  esf[j,1]:=esf1[i1];
end;
ig:=0;
ip:=1;
ipp:=0;
restri(ig,ip,ipp,kk3,nvp,nrd,ng,fy,e,ngb,nsd,ntab,alfa1,alfa2,
dlim,l,esf,aca,nd,fdx,kke);
k:= 0;
for j:= 1 to nrc do
  begin
  if fidx[j] < 0 then
    k:= 1;
  end;
if k <> 1 then
  begin
  sfdx:= 0;
  for j:= 1 to nrc do
    sfdx:= sfdx + 1/(fidx[j] + ac);
  p1:= fdx1 + r*sfdx;
  {writeln(' valor de p1 = ',p1:10:3);}
  mp2:= p1;
  end
  else
  begin
  mp2:= mp1;
  end;
  {writeln;writeln;
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;}
if mp2 < mp1 then
  begin
  for j:= 1 to ng do
    nnes[j]:= nsd[j];
  k2:= k2 + 1;
  end
  else
  begin
  if lamb > 1 then
    begin
    lamb2:= -2;
    end;
  end;
  mp1:= mp2;
  end
  else
  begin
  lamb2:= -2
  end;
  lamb:= lamb + 1;
  end;
end;
if kk < 3 then
  begin
  if k2 <> 0 then
    begin

```

```

for i:= 1 to ng do
ns[i]:= nnes[i];
writeln;writeln;
write(' nova solucao = (');
for i:= 1 to nvp do
write(ns[ngb[i]:3,','));
writeln('');
{writeln;writeln;
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;}
kk:=0;
end
else
begin
if kk1 <> 0 then
begin
for i:= 1 to ng do
ns[i]:= nsv[i];
writeln;writeln;
write(' adotando o ponto (');
for i:= 1 to nvp do
write(ns[ngb[i]:3,','));
writeln(') para nova solucao');
kk := 0;
{writeln;writeln;
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;}
end
else
begin
writeln;writeln;
write (lst,' o ponto(');
for i:= 1 to nvp do
write(lst,ns[ngb[i]:3,','));
writeln(lst,) e um ponto de minimo para r = ',r:10:6);
writeln(lst);writeln(lst);
{if r < 0.01 then
begin
writeln;writeln;
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
end;}
kk := kk + 1;
{*****};
{if kk = 3 then
begin
if k5 <> 1 then
begin
r:= r1/10;
kk:=0;
k5:=1;
end;
end;
r:=r/a;}
r:=(r/a)-2.7182818;
{*****};
end;

```

```

    end;
end
else
begin
writeln,writeln;
write(lst,' o ponto()');
for i:= 1 to nvp do
write(lst,ns[ngb[i]:3,']);
writeln(lst,' e um ponto de minimo global');
writeln(lst);writeln(lst);
writeln(lst,' valor da funcao objetivo no ponto de minimo global');
writeln(lst,'          fo = ',fdx:10:3);
{for i:= 1 to ng do
begin
str(ntab[i],vs);
nome:= 'c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
i1:= 8*(ns[i] - 1)+1+2;
seek(arqtab,i1);
read(arqtab,a2);
baux2[i]:=a2;
close(arqtab);
end;
fdx:=0;
for i:=1 to nvp do
fdx:= fdx + l[i]*baux2[ngb[i]];
writeln(lst);writeln(lst);
writeln(lst,' valor da funcao objetivo no ponto de minimo global');
writeln(lst,'          fo = ',fdx:10:3)};
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
lamb1:= -2;
end;
lamb1:=lamb1 + 1;
end;
{solucao(nvp,ntab,ngb,ns);}
solucao1(nvp,ntab,ngb,ns);
end.

```

ANEXO B

PROGRAMAS PARA GERAÇÃO, LEITURA E CORREÇÃO DE TABELAS DE DADOS

B.1 GENERALIDADES.

Serão apresentadas a seguir as listagens em linguagem Turbo-Pascal dos programas confeccionados, para geração de tabelas com os dados referentes às seções, necessários no processo de otimização (GTABFL3), e para leitura com possibilidade de correção das tabelas geradas (COTAFL_W). Estes programas geram e corrigem também tabelas de seções compostas de dois perfis comuns. A correção se deve a necessidade de se excluir perfis que não estão disponíveis no momento, incluir novos perfis e mesmo alterar valores do coeficiente de flambagem local para elementos não enrijecidos, em função da alteração das tensões de escoamento.

Será apresentada também na sequência, o programa para geração ou leitura de arquivo em disco (GLTQA), dos dados necessários para o cálculo do coeficiente de flambagem local (Q_a), dos perfis com possibilidade deste ser menor que 1.0.

É importante lembrar que a relação b/t acima da qual o valor de Q_a pode ser menor que 1, é função da tensão de escoamento, portanto é necessário verificar se as tabelas

com os dados para o cálculo do valor de Q_a estão condizentes com a tensão de escoamento utilizada

B.2 LISTAGEM DO PROGRAMA PARA GERAÇÃO DE TABELAS DE DADOS, DE SEÇÕES FORMADAS POR PERFIS SIMPLES OU MÚLTIPLOS

```

program compos_de_perfis;
{*****geração no disco c:\tp\mauro*****}

uses crt,dos,printer;
type str40 = string[40];
var arqtab : file of real;
    arqta : file of str40;
    i,ne,ntab,ntab1,j1,j2,j,ntg : integer;
    iy,d,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8,nes,t,alfa1,alfa2 : real;
    area,rmin,rx,rxr,ry,q,a,imin,x,b,te,cw : array[1..200] of real;
    nup : array[1..100] of str40;
    vs : string[2];
    nome,nome1 : string[40];
    tip : str40;
    c,re : char;
begin
textbackground(1);textcolor(15);
clrscr;
writeln;writeln;
write('vai haver composicao de perfis ? (S/N) = ');
re:=readkey;
write(re);
writeln;writeln;
write(' numero de tabelas a serem geradas = ');
readln(ntg);
writeln;writeln;
write(' vai haver composicao de perfis ? S/N = ');
re:=readkey;
writeln;
write(' numero da primeira tabela a ser gerada = ');
readln(ntab);
ntab1:=ntab;
writeln;
write(' numero de elementos das tabelas a serem geradas = ');
readln(ne);
nes:=ne;
writeln(' alfa1 alfa2');
write('!6);
readln(alfa1,alfa2);
for i:=1 to ne do
begin
writeln;writeln;

```



```
writeln('elemento ',i:3);
writeln;
write('area do perfil = ');
readln(area[i]);
area[i]:=area[i];
if UpCase(re)='S' then
  begin
    writeln;
    write('inerca em relacao ao eixo paralelo ao de simetria',
    ' da composicao = ');
    readln(imin[i]);
    writeln;
    write('raio de giracao em relacao ao eixo do perfil',
    ' igual ao da composicao = ');
    readln(rxc[i]);
    writeln;
    write('raio de giracao minimo = ');
    readln(rx[i]);
    writeln;
    write('raio de giracao maximo = ');
    readln(ry[i]);
  end
else
  begin
    writeln;
    write('raio de giracao minimo = ');
    readln(rx[i]);
    writeln;
    write('raio de giracao maximo = ');
    readln(ry[i]);
  end;
writeln;
write('coef. para a flamb. local dos elem. nao enrijecidos',
' dos perfis = ');
readln(q[i]);
writeln;
write('distancia do eixo x ate a borda do perfil = ');
readln(x[i]);
writeln;
write('largura da aba do perfil = ');
readln(b[i]);
writeln;
write('espessura da aba do perfil = ');
readln(te[i]);
writeln;
write('constante de empenamento = ');
readln(cw[i]);
end;
for i:=1 to ne do
  begin
    writeln;
    write('composicao da secao numero ',i:2,' em termos de perfis = ');
    readln(nup[i]);
  end;
for j:=1 to ntg do
  begin
    str(ntab,vs);
```

```

nome1:='c:\tp\mauro:ta'+vs+'.dat';
nome:='c:\tp\mauro:tab'+vs+'.dat';
assign(arqta,nome1);
assign(arqtab,nome);
writeln;writeln;
write('tipo da secao da tabela',ntab:3,' = ');
readln(tip);
rewrite(arqta);
write(arqta,tip);
for i:=1 to ne do
  begin
    write(arqta,nup[i]);
  end;
close(arqta);
rewrite(arqtab);
write(arqtab,nes,alfa1,alfa2);
if j = 1 then
  begin
    for i:=1 to ne do
      begin
        a1:=area[i];
        a2:=rx[i];
        a3:=ry[i];
        a4:=q[i];
        a5:=0.0;
        a6:=sqrt(2*(sqr(x[i]-te[i]/2)));
        a7:=2*(te[i]*te[i]*te[i]*b[i])/3;
        a8:=cw[i];
        write(arqtab,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8);
      end;
    end
  else
    begin
      if UpCase(re) = 'S' then
        begin
          writeln;
          write('distancia livre entre perfis = ');
          readln(t);
          for i:=1 to ne do
            begin
              d:=x[i] + t/2;
              a1:=imin[i]+area[i]*sqr(d);
              a3:=sqrt(a1/area[i]);
              a1:=2*area[i];
              a2:=rxc[i];
              a4:=q[i];
              a5:=0.0;
              a6:=x[i]-te[i]/2;
              a7:=4*(te[i]*te[i]*te[i]*b[i])/3;
              a8:=cw[i];
              write(arqtab,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8);
            end;
          end
        else
          begin
            for i:=1 to ne do
              begin

```

```

a1:=area[i];
a2:=rx[i];
a3:=ry[i];
a4:=q[i];
a5:=0.0;
a6:=sqrt(2*(sqr(x[i]-te[i]/2)));
a7:=2*(te[i]*te[i]*te[i]*b[i])/3;
a8:=cw[i];
write(arqtab,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8);
end;
end;
end;
close(arqtab);
ntab:=ntab+1;
end;
ntab:=ntab1;
for j := 1 to ntg do
begin
writeln;writeln;
write(' :2,'numero de elementos da tabela ',ntab:2,' = ');
str(ntab,vs);
nome1:='c:\tp\mauro:ta'+vs+'.dat';
nome:='c:\tp\mauro:tab'+vs+'.dat';
assign(arqta,nome1);
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
seek(arqtab,0);
read(arqtab,nes);
ne:=trunc(nes);
writeln(ne:2);
writeln;
write('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
writeln;
writeln;
seek(arqtab,1);
read(arqtab,alfa1,alfa2);
writeln(' :11,'alfa1',' :11,'alfa2');
writeln(alfa1:16:5,alfa2:16:5);
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
writeln;
writeln;
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < ne do
begin
clrscr;
writeln(' :2,'ele.' :5,'area' :7,'rx',
' :7,'ry' :7,'QS' :7,'x0' :7,'y0' :7,'it' :7,'cw');
if j2 > ne then j2:=ne;
for i:=j1 to j2 do
begin
seek(arqtab,8*(i-1)+1+2);
read(arqtab,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8);
writeln(' :2,i:4,' :2,a1:7:3,' :2,a2:7:3,' :2,a3:7:3,' :2,
a4:7:3,' :2,a5:7:3,' :2,a6:7:3,' :2,a7:7:3,' :2,a8:7:3);

```

```
end;
writeln;
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
j1:=j2;
j2:=j2+20;
end;
close(arqtab);
reset(arqta);
seek(arqta,0);
read(arqta,tip);
seek(arqta,1);
for i:=1 to ne do
begin
read(arqta,nup[i]);
end;
close(arqta);
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < ne do
begin
clrscr;
writeln(' ':2,'le.'':10,'composicao da barra');
if j2 > ne then j2:=ne;
for i:=j1 to j2 do
begin
writeln(' ':2,i:4,' ':2,tip,' ':2,nup[i]);
end;
writeln;
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
j1:=j2;
j2:=j2+20;
end;
ntab:=ntab+1;
end;
end.
```

B.3 LISTAGEM DO PROGRAMA PARA LEITURA COM

POSSIBILIDADE DE CORREÇÃO, DE TABELAS DE DADOS DE
SEÇÕES, GERADAS E ARQUIVADAS EM DISCO.

```

program cor_tab_fl;
{*****leitura e correção no disco c:\tp\mauro*****}
uses crt,dos,printer;
const lst = "";
type str40 = string[40];
  arraytype1 = array[1..75] of integer;
  arraytype3 = array[1..75] of real;
  arraytype8 = array[1..75] of str40;
var arqtab : file of real;
  arqta : file of str40;
  nntab,i,ntab,j,l,m,j1,j2,nei,i1,nle,ndle,op,op1,nt,ii,ik : integer;
  alfa1,alfa2,ne,t,d,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8 : real;
  vs : string[2];
  nome,nome1 : str40;
  c,tr,re,re1 : char;
  ax,rx,ry,q,x0,y0,it,cw,imin,rx,c,x : arraytype3;
  nup : arraytype8;
  tip : str40;
begin
textbackground(1);textcolor(15);
clrscr;
writeln;writeln;
write('numero de tabelas a serem corrigidas ou apenas lidas = ');
readln(nt);
for ii:=1 to nt do
  begin
writeln;writeln;
write('numero da tabela a ser corrigida ou apenas lida = ');
readln(ntab);
writeln;
writeln('digite 0 se desejar apenas ler ');
write('ou outro numero se desejar corrigir a tabela = ');
readln(nntab);
if nntab > 0 then
  begin
writeln;writeln;
write('          opcoes');
writeln;
writeln('[1] - corrigir dados gerais da tabela (alfa1,alfa2,tipo de secao)');
writeln('[2] - excluir e/ou incluir linhas');
writeln('[3] - corrigir dados isolados da tabela');
writeln;
write('numero da opcao = ');
readln(op);
str(ntab,vs);
nome:='c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
read(arqtab,ne,alfa1,alfa2);

```

```

nei:=trunc(ne);
for j:=1 to nei do
  begin
  i1:=8*(j-1)+3;
  seek(arqtab,i1);
  {read(arqtab,ax[j],rx[j],ry[j],q[j],x0[j],y0[j],it[j],cw[j]);}
  read(arqtab,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8);
  ax[j]:=a1;
  rx[j]:=a2;
  ry[j]:=a3;
  q[j]:=a4;
  x0[j]:=a5;
  y0[j]:=a6;
  it[j]:=a7;
  cw[j]:=a8;
  end;
close(arqtab);
str(ntab,vs);
nome1:=c:\tp\mauro\ta'+vs+'.dat';
assign(arqta,nome1);
reset(arqta);
seek(arqta,0);
read(arqta,tip);
for j:=1 to nei do
  read(arqta,nup[j]);
  close(arqta);
  writeln;
  write(lst,' :18,'numero de elementos da tabela ',ntab:2,' = ',ne:2:0);
  writeln(lst);
  writeln(lst);
  writeln(lst,' :18,'   alfa1   alfa2');
  writeln(lst,' :18,alfa1:15:5,alfa2:15:5);
  writeln(lst);writeln(lst);
  write(' :18,'aperte qualquer tecla para continuar');
  c:=readkey;
  j1:=1;
  j2:=21;
  while j1 < nei do
    begin
    clrscr;
    writeln(' :2,'le.' :5,'area' :7,'rx',
    ' :7,'ry' :5,'QS' :7,'x0' :7,'y0' :7,'it' :9,'cw');
    if j2 > nei then j2:=nei;
    for j:=j1 to j2 do
      begin
      writeln(' :2,j:4,' :1,ax[j]:8:4,' :2,rx[j]:7:3,' :2,ry[j]:7:3,
      ' :2,q[j]:5:3,' :2,x0[j]:7:3,' :2,y0[j]:7:3,' :2,it[j]:7:3,
      ' :1,cw[j]:10:3);
      end;
    writeln;
    writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
    c:=readkey;
    j1:=j2;
    j2:=j2+20;
    end;
  {nome1:=a:ta'+vs+'.dat';}
  j1:=1;

```

```

j2:=21;
while j1 < nei do
  begin
  clrscr;
  writeln(' ':2,'le.'':10,'composicao da barra');
  if j2 > nei then j2:=nei;
  for j:=j1 to j2 do
    begin
    writeln(' ':2,j:4,' ':2,tip,' ':2,nup[j]);
    end;
  writeln;
  writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
  c:=readkey;
  j1:=j2;
  j2:=j2+20;
  end;
case op of
2 : begin
write('excluir linha da tabela? (S/N) = ');
tr:=readkey;
writeln(tr);
if UpCase(tr)='S' then
  begin
  write('numero de linhas a excluir = ');
  readln(nle);
  write('numero das linhas a excluir = ');
  ik:=0;
  for j:=1 to nle do
    begin
    read(ndle);
    ndle:=ndle-ik;
    if ndle < nei then
      begin
      for m:=(ndle+1) to nei do
        begin
        ax[m-1]:=ax[m];
        rx[m-1]:=rx[m];
        ry[m-1]:=ry[m];
        q[m-1]:=q[m];
        x0[m-1]:=x0[m];
        y0[m-1]:=y0[m];
        it[m-1]:=it[m];
        cw[m-1]:=cw[m];
        nup[m-1]:=nup[m];
        end;
      end;
      ne:=ne-1;
      nei:=nei-1;
      ik:=ik+1;
      end;
    end;
write('incluir linha na tabela? (S/N) = ');
tr:=readkey;
write(tr);
if UpCase(tr)='S' then
  begin
  writeln;writeln;

```

```

write('a secao e uma combinacao de perfis ? (S/N) = ');
re:=readkey;
write(re);
writeln;
writeln;
write('numero de linhas a incluir = ');
readln(nle);
for j:=1 to nle do
begin
ne:=ne+1;
nei:=nei+1;
writeln;writeln;
write('numero da linha a incluir = ');
readln(ndle);
writeln;
writeln('incluindo a linha de numero ',ndle:3);
if ndle < nei then
begin
l:=nei;
for m:=(ndle+1) to nei do
begin
ax[l]:=ax[l-1];
rx[l]:=rx[l-1];
ry[l]:=ry[l-1];
q[l]:=q[l-1];
x0[l]:=x0[l-1];
y0[l]:=y0[l-1];
it[l]:=it[l-1];
cw[l]:=cw[l-1];
nup[l]:=nup[l-1];
l:=l-1;
end;
end;
writeln;writeln;
writeln('elemento ',ndle:3);
writeln;
write('area de um perfil = ');
readln(ax[ndle]);
if UpCase(re)='S' then
begin
writeln;
write('ineracia em relacao ao eixo paralelo ao de simetria',
'da composicao = ');
readln(imin[ndle]);
writeln;
write('raio de giracao em relacao ao eixo do perfil',
' igual ao da composicao = ');
readln(rxc[ndle]);
writeln;
write('raio de giracao minimo = ');
readln(ry[ndle]);
{readln(rx[ndle]);}
{writeln;}
write('raio de giracao maximo = ');
readln(ry[ndle]);}
end
else

```



```

begin
writeln;
write('raio de giracao minimo = ');
{readln(rx[ndle]);}
readln(ry[ndle]);
writeln;
write('raio de giracao maximo = ');
{readln(ry[ndle]);}
readln(rx[ndle]);
rxc[ndle]:=rx[ndle];
end;
writeln;
write('coef. para a flamb. local dos elem. nao enrijecidos',
'dos perfis = ');
readln(q[ndle]);
writeln;
write('distancia do eixo y ate a borda do perfil = ');
readln(x[ndle]);
writeln;
{write('largura da aba do perfil = ');
readln(b[ndle]);
writeln;
write('espessura da aba do perfil = ');
readln(te[ndle]);
writeln;}
write('distancia da borda do perfil ao centro de torcao = ');
readln(x0[ndle]);
writeln;
write('momento de inercia a torcao = ');
readln(it[ndle]);
writeln;
write('constante de empenamento = ');
readln(cw[ndle]);
writeln;
write('composicao da secao numero ',ndle:2,' em termos de perfis = ');
readln(nup[ndle]);
if UpCase(re) = 'S' then
begin
writeln;
write('distancia livre entre perfis = ');
readln(t);
d:=x[ndle] + t/2;
a1:=imin[ndle]+ax[ndle]*sqr(d);
ry[ndle]:=sqrt(a1/ax[ndle]);
ax[ndle]:=2*ax[ndle];
rx[ndle]:=rxc[ndle];
x0[ndle]:=0.0;
{y0[ndle]:=x[ndle]-te[ndle]/2;}
y0[ndle]:=0.0;
{it[ndle]:=4*(te[ndle]*te[ndle]*te[ndle]*b[ndle])/3;}
it[ndle]:=2*it[ndle];
cw[ndle]:=2*cw[ndle];
end
else
begin
rx[ndle]:=rxc[ndle];
{x0[ndle]:=0.0;}

```

```

    x0[ndle]:=x0[ndle]+x[ndle];
    {y0[ndle]:=sqrt(2*(sqr(x[ndle]-te[ndle]/2))};
    y0[ndle]:=0;
    {it[ndle]:=2*(te[ndle]*te[ndle]*te[ndle]*b[ndle])/3;}
    end;
  end;
end;
1 : begin
  writeln;
  writeln;
  write('corrigir valor de alfa1 ? (S/N) = ');
  tr:=readkey;
  write(tr);
  if UpCase(tr) = 'S' then
    begin
      writeln;
      write('novo valor de alfa1 = ');
      readln(alfa1);
      end;
  writeln;writeln;
  write('corrigir valor de alfa2 ? (S/N) = ');
  tr:=readkey;
  write(tr);
  if UpCase(tr) = 'S' then
    begin
      writeln;
      write('novo valor de alfa2 = ');
      readln(alfa2);
      end;
  writeln;writeln;
  write('corrigir composicao da barra ? (S/N) = ');
  tr:=readkey;
  write(tr);
  if UpCase(tr) = 'S' then
    begin
      writeln;
      write('nova composicao da barra = ');
      readln(tip);
      end;
  end;
3 : begin
  writeln;writeln;
  write('numero de linhas da tabela que sofrerao correcao = ');
  readln(nle);
  for j:=1 to nle do
    begin
      writeln;writeln;
      write('numero da linha da tabela que sofrera correcao = ');
      readln(ndle);
      writeln;writeln;
      writeln('valor atual da area na linha ',ndle:3,' = ',ax[ndle]:7:4);
      write('corrigir este valor ? (S/N) = ');
      tr:=readkey;
      write(tr);
      if UpCase(tr) = 'S' then
        begin

```

```
writeln;
writeln;
write('novo valor da area = ');
readln(ax[ndle]);
end;
writeln;writeln;
writeln('valor atual de rx na linha ',ndle:3,' = ',rx[ndle]:7:4);
write('corrigir este valor ? (S/N) = ');
tr:=readkey;
write(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
begin
writeln;
write('novo valor de rx = ');
readln(rx[ndle]);
end;
writeln;writeln;
writeln('valor atual de ry na linha ',ndle:3,' = ',ry[ndle]:7:4);
write('corrigir este valor ? (S/N) = ');
tr:=readkey;
write(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
begin
writeln;
write('novo valor de ry = ');
readln(ry[ndle]);
end;
writeln;writeln;
writeln('valor atual de qs na linha ',ndle:3,' = ',q[ndle]:7:4);
write('corrigir este valor ? (S/N) = ');
tr:=readkey;
write(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
begin
writeln;
write('novo valor de qs = ');
readln(q[ndle]);
end;
writeln;writeln;
writeln('valor atual de x0 na linha ',ndle:3,' = ',x0[ndle]:7:4);
write('corrigir este valor ? (S/N) = ');
tr:=readkey;
write(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
begin
writeln;
write('novo valor de x0 = ');
readln(x0[ndle]);
end;
writeln;writeln;
writeln('valor atual de y0 na linha ',ndle:3,' = ',y0[ndle]:7:4);
write('corrigir este valor ? (S/N) = ');
tr:=readkey;
write(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
begin
writeln;
```

```

write('novo valor de y0 = ');
readln(y0[ndle]);
end;
writeln;writeln;
writeln('valor atual de it na linha ',ndle:3,' = ',it[ndle]:7:4);
write('corrigir este valor ? (S/N) = ');
tr:=readkey;
write(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
begin
writeln;
write('novo valor de it = ');
readln(it[ndle]);
end;
writeln;writeln;
writeln('valor atual de cw na linha ',ndle:3,' = ',cw[ndle]:7:4);
write('corrigir este valor ? (S/N) = ');
tr:=readkey;
write(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
begin
writeln;
write('novo valor de cw = ');
readln(cw[ndle]);
end;
writeln;writeln;
writeln('composicao atual em termos de perfis na linha ',ndle:3,' = ',
nup[ndle]);
write('corrigir esta composicao ? (S/N) = ');
tr:=readkey;
write(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
begin
writeln;
write('nova composicao = ');
readln(nup[ndle]);
end;
end;
end;
writeln;writeln;
writeln(' sistema gravando em disco, aguarde...');
rewrite(arqtab);
seek(arqtab,0);
write(arqtab,ne,alfa1,alfa2);
for j:=1 to nei do
begin
i1:=8*(j-1)+3;
seek(arqtab,i1);
{write(arqtab,ax[j],rx[j],ry[j],q[j],x0[j],y0[j],it[j],cw[j]);}
a1:=ax[j];
a2:=rx[j];
a3:=ry[j];
a4:=q[j];
a5:=x0[j];
a6:=y0[j];
a7:=it[j];

```

```

a8:=cw[j];
write(arqtab,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8);
end;
close(arqtab);
rewrite(arqta);
write(arqta,tip);
for j:=1 to nei do
begin
write(arqta,nup[j]);
end;
close(arqta);
end;
if nntab = 0 then
begin
writeln(lst);writeln(lst);
write(' :18,'numero da tabela a ser apenas lida = ',ntab:3);
end
else
begin
writeln(lst);writeln(lst);
writeln(lst,' :18,'numero da tabela = ',ntab:3);
end;
str(ntab, vs);
{nome:= 'a:tab'+vs+'.dat';}
nome:= 'c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
{write(lst,' :18,'numero de elementos da tabela = ');
readln(ne)};
seek(arqtab,0);
read(arqtab,ne,a1,a2);
writeln(lst);writeln(lst);
write(lst,' :18,'numero de elementos da tabela ',ntab:2,' = ',ne:2:0);
writeln(lst);
writeln(lst);
writeln(lst,' :18,' alfa1 alfa2');
writeln(lst,' :18,a1:15:5,a2:15:5);
writeln(lst);writeln(lst);
write(' :18,'aperte qualquer tecla para continuar');
c:= readkey;
nei:=trunc(ne);
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nei do
begin
clrscr;
writeln(lst,' :2,'le.';':5,'area';':7,'rx';
':7,'ry';':5,'QS';':7,'x0';':7,'y0';':7,'it';':9,'cw');
if j2 > nei then j2:=nei;
for i:=j1 to j2 do
begin
seek(arqtab,8*(i-1)+1+2);
read(arqtab,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8);
writeln(lst,' :2,i;':1,a1:8:4,' :2,a2:7:3,' :2,a3:7:3,' :2,
a4:5:3,' :2,a5:7:3,' :2,a6:7:3,' :2,a7:7:3,' :1,a8:10:3);
end;
writeln;

```

```
writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
j1:=j2;
j2:=j2+20;
end;
close(arqtab);
str(ntab,vs);
{nome1:='a:ta'+vs+'.dat';}
nome1:='c:\tp\mauro\ta'+vs+'.dat';
assign(arqta,nome1);
reset(arqta);
seek(arqta,0);
read(arqta,tip);
seek(arqta,1);
for i:=1 to nei do
  begin
    read(arqta,nup[i]);
  end;
close(arqta);
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nei do
  begin
    clrscr;
    writeln(lst,' ':2,'le.' ':10,'composicao da barra');
    if j2 > nei then j2:=nei;
    for i:=j1 to j2 do
      begin
        writeln(lst,' ':2,i:4,' ':2,tip,' ':2,nup[i]);
      end;
    writeln;
    writeln('aperte qualquer tecla para continuar');
    c:=readkey;
    j1:=j2;
    j2:=j2+20;
  end;
end;
end.
```

B.4 LISTAGEM DO PROGRAMA PARA GERAÇÃO OU LEITURA DE
ARQUIVOS EM DISCO, COM DADOS NECESSÁRIOS AO
CÁLCULO DO COEFICIENTE DE FLAMBAGEM LOCAL DE
ELEMENTOS ENRIJECIDOS.

```

program gltqa;
{*****gera ou lê tabelas que fornecem meios de se calcular o valor de qa*****}
{*****leitura e geração no disco c:\tp\mauro*****}
uses crt,dos,printer;
var arqtabqa : file of real;
    i,i1,npcpq,jk,grupo,ndpcpq,ntab,nt,ii,nntab : integer;
    npcqr,grupor : real;
    pcpqr,b,t : array[1..40] of real;
    nome2 : string[40];
    vs : string[2];
    c : char;
begin
textbackground(1);textcolor(15);
clrscr;
writeln;writeln;
write('numero de tabelas a serem geradas ou apenas lidas = ');
readln(nt);
for ii:=1 to nt do
begin
writeln;writeln;writeln;writeln;
write('numero da tabela a ser gerada ou apenas lida = ');
readln(ntab);
str(ntab,vs);
nome2:='c:\tp\mauro\tabqa'+vs+'.dat';
assign(arqtabqa,nome2);
writeln;
writeln('digite 0 se desejar apenas ler ');
write('ou outro numero se desejar gerar a tabela = ');
readln(nntab);
if nntab > 0 then
begin
writeln;
write('numero de perfis com possibilidade de qa < 1 = ');
readln(npqr);
writeln;
write('numero do grupo a que pertence o perfil (tabela 05) = ');
readln(grupor);
writeln;
npcq:=trunc(npqr);
str(ntab,vs);
nome2:='c:\tp\mauro\tabqa'+vs+'.dat';
assign(arqtabqa,nome2);
rewrite(arqtabqa);
write(arqtabqa,npqr,grupor);
npcq:=trunc(npqr);

```

```

if npcq > 0 then
begin
for jk:=1 to npcq do
begin
write('perfil com possibilidade de qa < 1 = ');
readln(pcpqr[jk]);
end;
seek(arqtabqa,2);
for jk:=1 to npcq do
write(arqtabqa,pcpqr[jk]);
writeln;
writeln;
writeln;
for jk:=1 to npcq do
begin
ndpcq:=trunc(pcpqr[jk]);
write('perfil ',ndpcq:3);
writeln;writeln;
write('dimensao do elemento enrijecido = ');
readln(b[jk]);
write('espessura do elemento enrijecido = ');
readln(t[jk]);
writeln;writeln;
end;
seek(arqtabqa,2);
for jk:=1 to npcq do
write(arqtabqa,pcpqr[jk]);
for jk:=1 to npcq do
begin
i1:=npcq+2+2*(jk-1);
seek(arqtabqa,i1);
write(arqtabqa,b[jk],t[jk]);
end;
close(arqtabqa);
end;
end;
reset(arqtabqa);
read(arqtabqa,npcq,grupor);
npcq := trunc(npcq);
writeln;
writeln;
writeln('valores lidos do disco');
writeln;
write('numero de perfis com possibilidade de qa < 1 = ',npcq:3);
writeln;writeln;
grupo:=trunc(grupor);
write('numero do grupo a que pertence o perfil (tabela 05) = ',grupor:3:0);
writeln;writeln;
if npcq > 0 then
begin
writeln('perfis com possibilidade de qa < 1 ');
writeln;
seek(arqtabqa,2);
for jk:=1 to npcq do
read(arqtabqa,pcpqr[jk]);
write('(');
for jk := 1 to npcq do

```



```
begin
ndpcpq:=trunc(pcpqr[jk]);
write(ndpcpq:4);
end;
write('');
writeln;writeln;
for jk:=1 to npcq do
begin
i1:=npcq+2+2*(jk-1);
seek(arqtabqa,i1);
read(arqtabqa,b[jk],t[jk]);
end;
writeln('perfil   dim. do elem.   espes. do elem. ');
for jk:=1 to npcq do
begin
ndpcpq:=trunc(pcpqr[jk]);
writeln(ndpcpq:6,' ':6,b[jk]:12:4,' ':6,t[jk]:15:4);
end;
end;
write('aperte qualquer tecla para continuar ');
c:=readkey;
end;
end.
```

ANEXO C

PROGRAMAS PARA ANÁLISE DE RESULTADOS

C.1 GENERALIDADES

A verificação de resultados no presente trabalho foi feita através de dois programas confeccionados para este fim. O primeiro, chamado TRELIÇA, determina os deslocamentos e esforços atuantes nas barras de uma estrutura treliçada, o segundo chamado FLTORCD, determina as resistências, levando em conta a flambagem com flexão e a flambagem com torção ou flexo-torção nas barras comprimidas.

O programa TRELIÇA é auto explicativo e nele podem ser usados dados arquivados em disco, o que facilitou o cálculo de deslocamentos e esforços atuantes nas barras da estrutura treliçada, para as diversas variações de seções, que foram necessárias à verificação de resultados do programa de otimização. Para a sua execução, o mesmo deve ser alocado em um diretório chamado C:\ TRELIÇA, onde também serão gravados os arquivos de dados

O programa FLEXTORCD utiliza as mesmas tabelas de dados do programa de otimização. Basicamente, entrando com o número da tabela de dados, o número da seção na referida tabela e os comprimentos de flambagem, serão obtidas as

resistências de cálculo para flambagem com flexão e para flambagem com torção ou flexo-torção.

C.2 LISTAGEM DO PROGRAMA PARA CÁLCULO DE ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS EM TRELIÇAS PLANAS

```

program analise_de_trelicas_planas;
uses crt,dos,printer;
const nvn= 80; nvc= 150; nt=9260;
var arqx : file of real;
    arqy : file of real;
    arqni : file of integer;
    arqnf : file of integer;
    arqarea : file of real;
    titulo : string[80];
    r,tr,rr,c : char;
    comp,esp,nm,nn,nnr,nra,ngl,k,j,i,j1,j2,j3,k1,k2,k3,jp,nnc,m: integer;
    ni,nf: array [1..nvn] of integer;
    rl,crl: array [1..nvc] of integer;
    e,xcl,ycl,scm: real;
    ax,x,y,l,cx,cy,ar: array [1..nvn] of real;
    esf,a,ac: array [1..nvc] of real;
    s: array [1..nt] of real;
    smd: array [1..4,1..4] of real;
begin
textbackground(1);textcolor(15);
clrscr;
assign(arqx,'c:\trelica\arqx.dat');
assign(arqy,'c:\trelica\arqy.dat');
assign(arqni,'c:\trelica\arqni.dat');
assign(arqnf,'c:\trelica\arqnf.dat');
assign(arqarea,'c:\trelica\arqarea.dat');
writeln; writeln;
writeln('analise de trelicas planas ');
writeln; writeln; writeln;
write('[1] titulo : ');
readln(titulo);
writeln; writeln;writeln;
writeln('dados da estrutura ');
writeln; writeln;
write('[2] numero de barras = ');
readln(nm);
writeln;
write('[3] numero de nos = ');
readln(nn);
writeln;
write('[4] numero de nos restringidos = ');
readln(nnr);

```

```

writeln;
write('[5] numero de restricoes de apoio = ');
readln(nra);
writeln;
write('[6] modulo de elasticidade = ');
readln(e);
writeln; writeln;
write('existem dados errados? S/N = ');
r:=readkey;
writeln(r);
if UpCase(r)='S' then
  begin
    write('numero de dados errados = ');
    readln(k3);
    writeln;
    for i:= 1 to k3 do
      begin
        write('numero do dado errado = ');
        readln(j3);
        writeln;
        case j3 of
          1 : begin
              write('titulo : ');
              readln(titulo);
              end;
          2 : begin
              write('numero de barras = ');
              readln(nm);
              end;
          3 : begin
              write('numero de nos = ');
              readln(nn);
              end;
          4 : begin
              write('numero de nos restringidos = ');
              readln(nnr);
              end;
          5 : begin
              write('numero de restricoes de apoio = ');
              readln(nra);
              end;
          6 : begin
              write('modulo de elasticidade = ');
              readln(e);
              end;
          end;
        end;
      end;
    ngl:= 2*nn-nra;
    writeln;
    writeln('graus de liberdade = ',ngl);
    writeln; writeln;
    writeln(' ':29,'coordenadas dos nos');
    writeln;
    write('ler coordenadas no disco ? S/N = ');
    tr:=readkey;
    writeln(tr);

```

```

if UpCase(tr) = 'S' then
  begin
    reset(arqx);
    for i:=1 to nn do read(arqx,x[i]);
    close(arqx);
    reset(arqy);
    for i:=1 to nn do read(arqy,y[i]);
    close(arqy);
    j1:=1;
    j2:=21;
    while j1 < nn do
      begin
        clrscr;
        if j2 > nn then j2 := nn;
        writeln(' :27,'no coord. x coord. y ');
        writeln;
        for i:=j1 to j2 do
          writeln(' :27,i:2,x[i]:12:3,y[i]:12:3);
          writeln;
          write('aperte qualquer tecla para continuar');
          c:=readkey;
          j1:=j2;
          j2:=j2 + 20;
        end;
      end
    else
      begin
        writeln;
        writeln(' :29,'no, coord. x, coord. y ');
        for j:=1 to nn do
          begin
            write(' :29,j:2, ');
            readln(x[j],y[j]);
          end;
        end;
        writeln; writeln;
        write('existem nos com coordenadas erradas ? S/N = ');
        r:=readkey;
        writeln(r);
        if UpCase(r) = 'S' then
          begin
            writeln;
            write('numero de nos com coordenadas erradas = ');
            readln(j3);
            writeln;
            writeln(' :29,'no, coord. x, coord. y ');
            for i:= 1 to j3 do
              begin
                write(' :30);
                readln(j,x[j],y[j]);
              end;
            end;
          end
        if ( UpCase(r) = 'S') or ( UpCase(tr) = 'N') then
          begin
            writeln;
            write('gravar as coordenadas em disco ? S/N = ');
            rr:=readkey;

```

```

writeln(rr);
if UpCase(rr) = 'S' then
  begin
    rewrite(arqx);
    for i:=1 to nn do write(arqx,x[i]);
    close(arqx);
    rewrite(arqy);
    for i:=1 to nn do write(arqy,y[i]);
    close(arqy);
  end;
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nn do
  begin
    clrscr;
    if j2 > nn then j2 := nn;
    writeln(' :27,no coord. x coord. y ');
    writeln;
    for i:=j1 to j2 do
      writeln(' :27,i:2,x[i]:12:3,y[i]:12:3);
    writeln;
    write('aperte qualquer tecla para continuar');
    c:=readkey;
    j1:=j2;
    j2:=j2 + 20;
  end;
end;
writeln; writeln; writeln;
writeln(' :30,incidencia de barras');
writeln;
write('ler incidencia de nos no disco ? S/N = ');
tr:=readkey;
writeln(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
  begin
    reset(arqni);
    for i:=1 to nm do read(arqni,ni[i]);
    close(arqni);
    reset(arqnf);
    for i:=1 to nm do read(arqnf,nf[i]);
    close(arqnf);
    j1:=1;
    j2:=21;
    while j1 < nm do
      begin
        clrscr;
        if j2 > nm then j2 := nm;
        writeln(' :26,barra no inic. no fin. ');
        writeln;
        for i:=j1 to j2 do
          writeln(' :26,i:5,ni[i]:12,nf[i]:11);
        writeln;
        write('aperte qualquer tecla para continuar');
        c:=readkey;
        j1:=j2;
        j2:=j2 + 20;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

end
else
begin
writeln;
writeln(' :27,'barra, no inicial, no final');
for i:= 1 to nm do
begin
write(' :27,i:5, ');
readln(ni[i],nf[i]);
end;
end;
writeln; writeln;
write('existem incidencias de nos erradas ? S/N = ');
r:=readkey;
writeln(r);
if UpCase(r)='S' then
begin
writeln;
write('numero de barras com incidencias erradas = ');
readln(j3);
writeln;
writeln(' :27,'barra, no inicial, no final');
for j:= 1 to j3 do
begin
write(' :30);
readln(i,ni[i],nf[i]);
end;
end;
if ( UpCase(r) = 'S') or ( UpCase(tr) = 'N') then
begin
writeln;
write('gravar incidencias das barras no disco ? S/N = ');
rr:=readkey;
writeln(rr);
if UpCase(rr) = 'S' then
begin
rewrite(arqni);
for i:=1 to nm do write(arqni,ni[i]);
close(arqni);
rewrite(arqnf);
for i:=1 to nm do write(arqnf,nf[i]);
close(arqnf);
end;
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nm do
begin
clrscr;
if j2 > nm then j2:=nm;
writeln(' :26,'barra no inic. no fin. ');
writeln;
for i:=j1 to j2 do
writeln(' :26,i:5,ni[i]:12,nf[i]:11);
writeln;
write('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
j1:=j2;

```

```

    j2:=j2 + 20;
  end;
end;
writeln; writeln;writeln;
writeln(' ':33,'area das barras ');
writeln;
write('ler area das barras no disco ? S/N = ');
tr:=readkey;
writeln(tr);
if UpCase(tr) = 'S' then
  begin
    reset(arqarea);
    for i:=1 to nm do read(arqarea,ax[i]);
    close(arqarea);
    j1:=1;
    j2:=21;
    while j1 < nm do
      begin
        clrscr;
        if j2 > nm then j2:=nm;
        writeln(' ':32,'barra   area ');
        writeln;
        for i:=j1 to j2 do
          writeln(' ':32,i:5,ax[i]:12:3);
        writeln;
        write('aperte qualquer tecla para continuar');
        c:=readkey;
        j1:=j2;
        j2:=j2 + 20;
        end;
      end
    else
      begin
        writeln(' ':35,'barra, area ');
        for i:=1 to nm do
          begin
            write(' ':35,i:5,');
            readln(ax[i]);
            end;
          end;
        writeln; writeln;
        write('existem barras com areas erradas ? S/N = ');
        r:=readkey;
        writeln(r);
        if UpCase(r) = 'S' then
          begin
            writeln;
            write('quantas barras estao com areas erradas ? = ');
            readln(j3);
            writeln;
            writeln(' ':35,'barra, area');
            for i:=1 to j3 do
              begin
                write(' ':38);
                readln(k,ax[k]);
                end;
              end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;

```



```

if ( UpCase(r) = 'S') or ( UpCase(tr) = 'N') then
begin
writeln;
write('gravar areas das barras no disco ? S/N = ');
rr:=readkey;
writeln(rr);
if UpCase(rr) = 'S' then
begin
rewrite(arqarea);
for i:=1 to nm do write(arqarea,ax[i]);
close(arqarea);
end;
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nm do
begin
clrscr;
if j2 > nm then j2 := nm;
writeln(' ':32,'barra   area ');
writeln;
for i:=j1 to j2 do
writeln(' ':32,i:5,ax[i]:12:3);
writeln;
write('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
j1:=j2;
j2:=j2 + 20;
end;
end;
for i:=1 to nm do
begin
xcl:= x[nf[i]]-x[ni[i]];
ycl:= y[nf[i]]-y[ni[i]];
l[i]:= sqrt(sqr(xcl)+sqr(ycl));
cx[i]:= xcl/l[i];
cy[i]:= ycl/l[i];
end;
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nm do
begin
clrscr;
if j2 > nm then j2 := nm;
writeln(' ':6,'barra no inicial no final   area comprimento  cosseno',
'   seno');
writeln;
for i:=j1 to j2 do
writeln(' ':6,i:5,ni[i]:12,nf[i]:10,ax[i]:10:2,l[i]:13:2,cx[i]:9:5,
cy[i]:9:5);
writeln;
write('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
j1:=j2;
j2:=j2 + 20;
end;
writeln; writeln; writeln;
writeln(' ':32,'restricoes de no ');

```

```

writeln; writeln;
writeln(' ':30,'no, rest. x, rest. y ');
for j:= 1 to 2*nn do rl[j]:= 0;
for j:= 1 to nnr do
  begin
    write(' ':30);
    readln(k,rl[2*k-1],rl[2*k]);
  end;
writeln;
write('existem nos com restricoes erradas ? S/N = ');
r:=readkey;
writeln(r);
if UpCase(r)='S' then
  begin
    writeln;
    write('numero de nos com restricoes erradas = ');
    readln(j3);
    writeln;
    writeln(' ':30,'no, rest. x, rest. y');
    for j:= 1 to j3 do
      begin
        write(' ':30);
        readln(k,rl[2*k-1],rl[2*k]);
      end;
    end;
    writeln; writeln;
    writeln(' ':20,'sistema computando, aguarde ... ');
    crl[1]:=rl[1];
    for k:= 2 to 2*nn do crl[k]:= crl[k-1] + rl[k];
    for k:= 1 to nt do s[k] := 0;
    for i:= 1 to nm do
      begin
        j1:=2*ni[i]-1;
        j2:=2*ni[i];
        k1:=2*nf[i]-1;
        k2:=2*nf[i];
        scm:= e*ax[i]/l[i];
        case rl[j1] of
          0 : j1:= j1 - crl[j1];
          1 : j1:= ngl + crl[j1];
        end;
        case rl[j2] of
          0 : j2:= j2 - crl[j2];
          1 : j2:= ngl + crl[j2];
        end;
        case rl[k1] of
          0 : k1:= k1 - crl[k1];
          1 : k1:= ngl + crl[k1];
        end;
        case rl[k2] of
          0 : k2:= k2 - crl[k2];
          1 : k2:= ngl + crl[k2];
        end;
        smd[1,1]:= scm*sqr(cx[i]);
        smd[3,3]:= smd[1,1];
        smd[1,3]:= -smd[1,1];
        smd[3,1]:= smd[1,3];

```

```

smd[1,2]:= scm*cx[i]*cy[i];
smd[2,1]:= smd[1,2];
smd[3,4]:= smd[1,2];
smd[4,3]:= smd[1,2];
smd[1,4]:=-smd[1,2];
smd[4,1]:= smd[1,4];
smd[2,3]:= smd[1,4];
smd[3,2]:= smd[1,4];
smd[2,2]:= scm*sqr(cy[i]);
smd[4,4]:= smd[2,2];
smd[2,4]:=-smd[4,4];
smd[4,2]:= smd[2,4];
if rl[2*ni[i]-1] = 0 then
  begin
    jp:= trunc(j1*(j1-1)/2 + j1);
    s[jp]:= s[jp] + smd[1,1];
    if j1 > j2 then
      begin
        jp:=trunc(j1*(j1-1)/2+j2);
        s[jp]:= s[jp] + smd[2,1];
      end;
    if j1 > k1 then
      begin
        jp:=trunc(j1*(j1-1)/2 + k1);
        s[jp]:= smd[3,1];
      end;
    if j1 > k2 then
      begin
        jp:= trunc(j1*(j1-1)/2 + k2);
        s[jp]:= smd[4,1];
      end;
    end;
if rl[2*ni[i]] = 0 then
  begin
    jp:=trunc(j2*(j2-1)/2 + j2);
    s[jp]:= s[jp] + smd[2,2];
    if j2 > j1 then
      begin
        jp:= trunc(j2*(j2-1)/2+j1);
        s[jp]:= s[jp] + smd[1,2];
      end;
    if j2 > k1 then
      begin
        jp:=trunc(j2*(j2-1)/2 + k1);
        s[jp]:= smd[3,2];
      end;
    if j2 > k2 then
      begin
        jp:= trunc(j2*(j2-1)/2 + k2);
        s[jp]:= smd[4,2];
      end;
    end;
if rl[2*nf[i]-1] = 0 then
  begin
    jp:=trunc(k1*(k1-1)/2 + k1);
    s[jp]:= s[jp] + smd[3,3];
    if k1 > j1 then

```

```

begin
jp:=trunc(k1*(k1-1)/2 + j1);
s[jp]:= smd[1,3];
end;
if k1 > j2 then
begin
jp:= trunc(k1*(k1-1)/2 + j2);
s[jp]:= smd[2,3];
end;
if k1 > k2 then
begin
jp:= trunc(k1*(k1-1)/2 + k2);
s[jp]:= s[jp] + smd[4,3];
end;
end;
if rl[2*nf[i]] = 0 then
begin
jp:=trunc(k2*(k2-1)/2 + k2);
s[jp]:= s[jp] + smd[4,4];
if k2 > j1 then
begin
jp:=trunc(k2*(k2-1)/2 + j1);
s[jp]:= smd[1,4];
end;
if k2 > j2 then
begin
jp:= trunc(k2*(k2-1)/2 + j2);
s[jp]:= smd[2,4];
end;
if k2 > k1 then
begin
jp:= trunc(k2*(k2-1)/2 + k1);
s[jp]:= s[jp] + smd[3,4];
end;
end;
end;
writeln; writeln;
write('listar dados anteriores na impressora ? S/N = ');
r:=readkey;
writeln(r);
if UpCase(r)='S' then
begin
comp:=length(titulo);
esp:=trunc((80-comp)/2);
writeln(lst,#10,#10,#10,#10,#10,#10,' :esp,titulo:comp,#10,#10,#10);
writeln(lst,' :31,'dados da estrutura',#10,#10);
writeln(lst,' :9,'barras nos nos rest. rest. de apoio ',
'm. de elasticidade');
writeln(lst,' :9,nm:6,nn:6,nnr:12,nra:17,e:21:4);
writeln(lst,' :31,'graus de liberdade= ',ngl:3,#10,#10);
writeln(lst,' :31,'coordenadas dos nos',#10);
writeln(lst,' :27,'no coord. x coord. y');
for i:=1 to nn do
writeln(lst,' :27,i:2,x[i]:12:2,y[i]:12:2);
writeln(lst,#10,#10,' :8,'barra no inic. no fin. area',
' comprim. cosseno seno');
for i:=1 to nm do

```

```

writeln(lst,' :8,i:5,ni[i]:11,nf[i]:10,ax[i]:8:2,
l[i]:11:2,cx[i]:10:5,cy[i]:9:5);
writeln(lst,#10,#10,#10,' :32,'restricoes de no');
writeln(lst,#10,#10,' :29,'no rest. x rest. y');
for i:=1 to mn do
writeln(lst,' :29,i:2,rl[2*i-1]:10,rl[2*i]:10);
end;
writeln; writeln;
write(' :20,'sistema computando, aguarde ... ');
s[1]:=sqrt(s[1]);
for i:=2 to ngl do
begin
jp:=trunc(i*(i-1)/2+1);
s[jp]:=s[jp]/s[1];
end;
for j:=2 to ngl do
begin
xcl:=0;
for j1:=1 to (j-1) do
begin
jp:=trunc(j*(j-1)/2+j1);
xcl:=xcl+sqr(s[jp]);
end;
jp:=trunc(j*(j-1)/2+j);
xcl:=s[jp]-xcl;
s[jp]:=sqrt(xcl);
if j<ngl then
begin
for k1:=j+1 to ngl do
begin
xcl:=0;
for j1:=1 to (j-1) do
begin
jp:=trunc(j*(j-1)/2+j1);
k:=trunc(k1*(k1-1)/2+j1);
xcl:=xcl+s[jp]*s[k];
end;
jp:=trunc(k1*(k1-1)/2+j);
k:=trunc(j*(j-1)/2+j);
s[jp]:=(s[jp]-xcl)/s[k];
end;
end;
end;
writeln; writeln; writeln;
write('numero de carregamentos = ');
readln(k3);
for j3:=1 to k3 do
begin
for j:=1 to 2*nn do
begin
a[j]:=0;
ac[j]:=0;
ar[j]:=0;
end;
writeln;
writeln(' :29,'dados do carregamento ',j3:2);
writeln;

```

```

write('numero de nos carregados = ');
readln(nnc);
writeln;
writeln(' :31,'no, acao x, acao y ');
for j:= 1 to nnc do
  begin
    write(' :32);
    readln(k,a[2*k-1],a[2*k]);
  end;
writeln;
write('existem nos com carregamento errado ? S/N = ');
r:=readkey;
writeln(r);
if UpCase(r) = 'S' then
  begin
    writeln;
    write('numero de nos com carregamento errado = ');
    readln(j1);
    writeln;
    writeln(' :31,'no, acao x, acao y ');
    for j:=1 to j1 do
      begin
        write(' :32);
        readln(k,a[2*k-1],a[2*k]);
      end;
    end;
    writeln; writeln;
    write(' :20,'sistema computando, aguarde ... ');
    for j:= 1 to (ngl + nra) do
      begin
        case rl[j] of
          0 : k:=j-crl[j];
          1 : k:=ngl+crl[j];
        end;
        ac[k] := a[j];
      end;
    for i:=1 to ngl do
      begin
        scm:=ac[i];
        if i>1 then
          begin
            j:=i-1;
            for k:=1 to j do
              begin
                j1:=trunc(i*(i-1)/2+k);
                scm:=scm-s[j1]*ac[k];
              end;
            end;
            jp:=trunc(i*(i-1)/2+i);
            ac[i]:=scm/s[jp];
          end;
        j:=ngl+1;
        for i:=1 to ngl do
          begin
            j:=j-1;
            scm:=ac[j];
            if j<ngl then

```

```

begin
j1:=j+1;
for k:=j1 to ngl do
begin
j2:=trunc(k*(k-1)/2+j);
scm:=scm-s[j2]*ac[k];
end;
end;
jp:=trunc(j*(j-1)/2+j);
ac[j]:=scm/s[jp];
end;
j:= ngl + 1;
for j1:=(ngl + nra) downto 1 do
if rl[j1] <> 0 then
ac[j1]:= 0
else
begin
j:= j - 1;
ac[j1]:= ac[j];
end;
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nn do
begin
clrscr;
if j2 > nn then j2 := nn;
writeln(' :26,no desloc. x desloc. y ');
writeln;
for i:=j1 to j2 do
begin
k1:=2*i;
writeln(' :26,i:2,ac[k1-1]:13:7,ac[k1]:13:7);
end;
writeln;
write('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
j1:=j2;
j2:=j2 + 20;
end;
j:=1;
jp:=21;
while j < nm do
begin
clrscr;
if jp > nm then jp := nm;
writeln(' :31,barra esforco ');
writeln;
for i:=j to jp do
begin
j1:=2*ni[i]-1;
j2:=j1+1;
k1:=2*nf[i]-1;
k2:=k1+1;
scm:= e*ax[i]/l[i];
esf[i]:= -scm*((ac[j1]-ac[k1])*cx[i] + (ac[j2]-ac[k2])*cy[i]);
writeln(' :31,i:5,esf[i]:14:3);
end;

```

```

writeln;
write('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
j:=jp;
jp:=jp + 20;
end;
for i:= 1 to nn do
begin
j:=2*i;
if rl[j] = 1 then
begin
ar[j]:=-a[j];
for j1:= 1 to nm do
begin
if ni[j1] = i then
ar[j]:=ar[j] - esf[j1]*cy[j1];
if nf[j1] = i then
ar[j]:=ar[j] + esf[j1]*cy[j1];
end;
end;
j:=2*i-1;
if rl[j] = 1 then
begin
ar[j]:=-a[j];
for j1:= 1 to nm do
begin
if ni[j1] = i then
ar[j]:=ar[j] - esf[j1]*cx[j1];
if nf[j1] = i then
ar[j]:=ar[j] + esf[j1]*cx[j1];
end;
end;
end;
j1:=1;
j2:=21;
while j1 < nn do
begin
clrscr;
if j2 > nn then j2 := nn;
writeln(' :26,no   reac. x   reac. y ');
writeln;
for i:=j1 to j2 do
begin
k1:=2*i;
writeln(' :26,i:2,ar[k1-1]:13:3,ar[k1]:13:3);
end;
writeln;
write('aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
j1:=j2;
j2:=j2 + 20;
end;
writeln; writeln;
write('listar na impressora ? S/N = ');
r:=readkey;
writeln(r);
if UpCase(r)='S' then

```



```
begin
writeln(lst,#10,#10,#10,#10,#10,#10,' :32,'carregamento ',j3:2);
writeln(lst,#10,#10,' :30,'no acao x acao y');
for i:=1 to nn do
writeln(lst,' :30,i:2,a[2*i-1]:9:3,a[2*i]:9:3);
writeln(lst,#10,#10,#10,#10,#10,#10,' :20,
'deslocamentos de nos e reacoes de apoio');
writeln(lst,#10,#10,' :27,
'no desloc. x desloc. y');
for i:=1 to nn do
writeln(lst,' :27,i:2,ac[2*i-1]:12:7,ac[2*i]:12:7);
writeln(lst,#10,#10,' :27,'no reac. x reac. y');
for i:=1 to nn do
writeln(lst,' :27,i:2,ar[2*i-1]:10:3,ar[2*i]:10:3);
writeln(lst,#10,#10,#10,#10,#10,#10,' :30,'esforços nas barras');
writeln(lst,#10,#10,' :30,'barra esforço');
for i:=1 to nn do
writeln(lst,' :30,i:5,esf[i]:14:3);
end;
end;
end.
```

C.3 LISTAGEM DO PROGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIAS DE BARRAS COMPRIMIDAS

```

program flexo_torca;
{*****programa para cálculo de resistencia de barras comprimidas*****}
uses crt,dos,printer;
type str40 = string[40];
var k, j, i, ik, ntab, j1, nei, i1 : integer;
    e, fy, lamb1, lamb2, lamb3, aux1, aux2, aux3, lambb1, lambb2, lambb3, ro1, ro2, ro3,
    ro, beta1, beta2, beta3, rbzq, aga, faidx, rex, rey, reyz, rec,
    ne, a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7, a8 : real;
    rx, ry, q, x0, y0, lx, ly, lz, cw, it, ax, alfa1, alfa2 : array[1..2] of real;
    c, tr : char;
    vs : string[2];
    nome, nome1, tip, nup : str40;
var arqtab : file of real;
    arqta : file of str40;
begin
textbackground(1);textcolor(15);
clrscr;

k:=1;
j:=1;
e:=20500;
fy:=25;
writeln;writeln;
writeln(' ':15,'resistencias de calculo em barras comprimidas');
writeln;writeln;
writeln(' ':29,'dados da barra');
writeln;
write('ler dados da barra no disco ? (S/N) = ');
tr:=readkey;
writeln(tr);
if UpCase(tr) ='S' then
begin
writeln;write('numero do elemento na tabela de dados = ');
readln(j1);
writeln;write('numero da tabela de dados do elemento = ');
readln(ntab);
str(ntab,vs);
nome:='c:\tp\mauro\tab'+vs+'.dat';
assign(arqtab,nome);
reset(arqtab);
read(arqtab,ne,alfa1[k],alfa2[k]);
nei:=trunc(ne);
i1:=8*(j1-1)+3;
seek(arqtab,i1);
{read(arqtab,ax[j1],rx[j1],ry[j1],q[j1],x0[j1],y0[j1],it[j1],cw[j1]);}
read(arqtab,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8);
ax[k]:=a1;
rx[k]:=a2;
ry[k]:=a3;
q[k]:=a4;
x0[k]:=a5;

```

```

y0[k]:=a6;
it[k]:=a7;
cw[k]:=a8;
close(arqtab);
nome1:='c:\tp\mauro\ta'+vs+'.dat';
assign(arqta,nome1);
reset(arqta);
seek(arqta,0);
read(arqta,tip);
i1:=j1;
seek(arqta,i1);
read(arqta,nup);
close(arqta);
end
else
begin
writeln;
write('area = ');
readln(ax[k]);
write('raio de giracao x = ');
readln(rx[k]);
write('raio de giracao y = ');
readln(ry[k]);
write('coeficiente de flambagem local (qs) = ');
readln(q[k]);
write('posicao x do centro de torcao = ');
readln(x0[k]);
write('posicao y do centro de torcao = ');
readln(y0[k]);
write('momento de inercia a torcao = ');
readln(it[k]);
write('constante de empenamento = ');
readln(cw[k]);
write('valor de alfa1 = ');
readln(alfa1[k]);
write('valor de alfa2 = ');
readln(alfa2[k]);
end;
writeln;
writeln(' :18, ' alfa1 alfa2');
writeln(' :18, alfa1[k]:15:5, alfa2[k]:15:5);
writeln;
write(' :18, aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
writeln;writeln;
writeln(' :2, 'ele.' :5, 'area' :7, 'rx'
:7, 'ry' :5, 'QS' :7, 'x0' :7, 'y0' :7, 'it' :9, 'cw');
writeln(' :2, j1:4, :1, ax[j]:8:4, :2, rx[j]:7:3, :2, ry[j]:7:3,
:2, q[j]:5:3, :2, x0[j]:7:3, :2, y0[j]:7:3, :2, it[j]:7:3,
:1, cw[j]:10:3);
writeln;
write(' :18, aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
writeln;writeln;
writeln(' :2, 'ele.' :20, 'composicao da barra');
writeln(' :2, j1:4, :12, tip, :2, nup);
writeln;

```

```

write(' :18,'aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
writeln;writeln;
write('numero de casos a analisar = ');
readln(ik);
{writeln('área,rx,ry,q,x0,y0,it,cw,alfa1,alfa2');
readln(ax[k],rx[k],ry[k],q[k],x0[k],y0[k],it[k],cw[k],alfa1[k],alfa2[k]);}
for i := 1 to ik do
  begin
    writeln;writeln;
    write('comprimento de flambagem em torno de x = ');
    readln(lx[j]);
    writeln;writeln;
    write('comprimento de flambagem em torno de y = ');
    readln(ly[j]);
    writeln;writeln;
    write('comprimento de flambagem a torcao = ');
    readln(lz[j]);
    lamb1:= lx[j]/rx[k];
    lamb2:= ly[j]/ry[k];
    aux1:= 9.8696044*e/sqr(lamb1);
    aux2:= 9.8696044*e/sqr(lamb2);
    lambb1:= sqrt(q[k]*fy/aux1);
    lambb2:= sqrt(q[k]*fy/aux2);
    if lambb1 <= 0.2 then
      begin
        ro1:= 1.0;
      end
    else
      begin
        beta1:= (1/(2*sqr(lambb1)))*(1+alfa1[k]*(sqrt(sqr(lambb1)-0.04))
        +sqr(lambb1));
        ro1:= beta1 - sqrt(sqr(beta1) - 1/sqr(lambb1));
      end;
    if lambb2 <= 0.2 then
      begin
        ro2:= 1.0;
      end
    else
      begin
        beta2:= (1/(2*sqr(lambb2)))*(1+alfa2[k]*(sqrt(sqr(lambb2)-0.04))
        +sqr(lambb2));
        ro2:= beta2 - sqrt(sqr(beta2) - 1/sqr(lambb2));
      end;
    rbzq:=sqr(x0[k])+sqr(y0[k])+sqr(rx[k])+sqr(ry[k]);
    aux3:=(((9.8696044*e*cw[k])/sqr(lz[j])) + (e/2.6)*it[k])/(ax[k]*rbzq);
    {writeln;
    writeln(' valor de fez = ',aux3:13:2);}
    if x0[k] = 0 then
      begin
        if y0[k] <> 0 then
          begin
            aga:=1-(sqr(y0[k])/rbzq);
            faidx:=((aux2+aux3)/(2*aga))*(1-sqrt(1-(4*aux2*aux3*aga)/sqr(aux2+aux3)));
            aux3:=faidx;
          end;
        end;
      end
  end

```

```

else
begin
if y0[k] = 0 then
begin
aga:=1-(sqr(x0[k])/rbzq);
faidx:=((aux1+aux3)/(2*aga))*(1-sqrt(1-(4*aux1*aux3*aga)/sqr(aux1+aux3)));
aux3:=faidx;
end;
end;
{writeln;
writeln(' valor de aux1 = ',aux1:13:2);
writeln(' valor de aux2 = ',aux2:13:2);
writeln(' valor de aux3 = ',aux3:13:2);}
lambb3:=sqr(q[k]*fy/aux3);
if lambb3 <= 0.2 then
begin
ro3:= 1.0;
end
else
begin
beta3:= (1/(2*sqr(lambb3)))*(1+0.384*(sqr(sqr(lambb3)-0.04))
+sqr(lambb3));
ro3:= beta3 - sqrt(sqr(beta3) - 1/sqr(lambb3));
end;
ro:=ro1;
if ro2 < ro then
ro:=ro2;
if ro3 < ro then
ro:=ro3;
rex:=0.9*ro1*q[k]*ax[k]*fy;
rey:=0.9*ro2*q[k]*ax[k]*fy;
reyz:=0.9*ro3*q[k]*ax[k]*fy;
rec:=0.9*ro*q[k]*ax[k]*fy;
writeln;
writeln(' :30,'resistencias de calculo');
writeln;
writeln(' klx(cm)    rex');
writeln(lx[j]:10:2,rex:13:2);
writeln;
writeln;
writeln(' kly(cm)    rey');
writeln(ly[j]:10:2,rey:13:2);
writeln;
writeln;
writeln(' klz(cm)    reyz');
writeln(lz[j]:10:2,reyz:13:2);
writeln;
writeln;
writeln(' :30,'resistencia de calculo',rec:13:2);
writeln;
write(' :18,'aperte qualquer tecla para continuar');
c:=readkey;
end;
end.

```

ANEXO D

TABELAS DE DADOS

D.1 GENERALIDADES.

Pela melhor eficiência em termos de tempo computacional, as tabelas de dados a serem utilizadas, devem ser arquivadas preferencialmente no disco rígido. As aqui listadas foram montadas a partir das apresentadas em PFEIL (1986), PFEIL & PFEIL (1995) e SANTOS (1977), colocando-se os perfis, ou composição de perfis, em ordem crescente de área da seção transversal (ou peso por metro linear) e acrescentando-se alguns dados necessários, como por exemplo o momento de inércia a torção, a posição do centro de torção, a constante de empenamento, etc..

Cada tabela é composta de três partes. A primeira refere-se aos dados comuns a todas as seções da mesma, a segunda refere-se às características geométricas destas seções e a terceira é relativa à composição em termos de perfis.

Para seções formadas por um perfil “L” (tabela 70), a constante de empenamento vale zero. Para composições de dois destes perfis de acordo com as tabelas 71 a 80, cujas combinações formam aproximadamente uma seção tipo “T”, foram usados os valores de C_w (a favor da segurança), correspondentes a este tipo de seção, que também valem zero. Já as tabelas para composições de dois perfis laminados tipo “U”, formando uma seção tipo “I”, foram montadas adotando-se

inicialmente o valor da constante de empenamento para cada composição, como sendo o dobro da constante para um perfil componente desta. Pode-se notar no entanto, a partir da formulação e programa apresentados no item D.2, que estes valores, na maioria das vezes está muito aquém da realidade. Desta forma as tabelas 51 a 60 foram corrigidas, usando-se estes novos valores de C_w .

No item D.3, serão apresentadas as tabelas geradas e usadas nos exemplos de otimização do presente trabalho. Vale lembrar que é possível, com os programas apresentados no ANEXO B, ler as tabelas já disponíveis, alterá-las se necessário e gerar novas tabelas.

D.2 CÁLCULO APROXIMADO DA CONSTANTE DE EMPENAMENTO (C_w), PARA COMPOSIÇÃO DE DOIS PERFIS TIPO "U" LAMINADOS.

D.2.1 Formulação básica

Considerando-se a FIGURA 21 onde D é o polo e O a origem, o empenamento unitário, ou a área setorial em P, é definida de acordo com RACHID (1978), MORI (1988) e QUEIROZ (1994), como:

$$B_p = \int_0^p n \cdot ds \quad (81)$$

onde :

n = distância do polo D à tangente a linha de centro (esqueleto), conforme indicado na FIGURA 21.

ds = dimensão infinitesimal ao longo da linha de centro (esqueleto).

Como $n \cdot ds$ é o dobro da área do triângulo achurado na FIGURA 21, então:

$$B_p = 2 \cdot \text{área DOP} \quad (82)$$

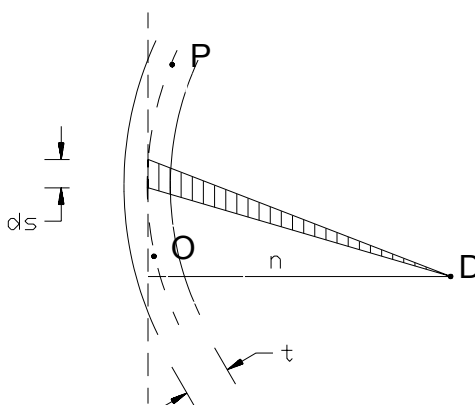


FIGURA 21 - Área setorial genérica

Se o polo for o centro de torção:

$$C_w = \int_s B^2 \cdot t \cdot ds \quad (83)$$

Para seções formadas por retângulos FIGURA 22, para um retângulo de espessura t constante e comprimento l , o valor da integral vale:

$$\frac{l \cdot t}{3} (B_j^2 + B_j \cdot B_k + B_k^2)$$

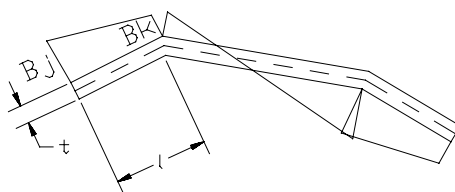


FIGURA 22 - Diagrama de área setorial para uma seção genérica formada por retângulos

Para uma seção transversal composta por dois perfis “U” laminados, FIGURA 23, considerados como formados por elementos retangulares, e admitindo-se o diagrama de área setorial da FIGURA 24, tem-se:

$$B_{j_1} \cong tch \cdot \frac{h_0}{2} \cong \left(\frac{t_0 + tch}{2} \right) \cdot \frac{h_0}{2} \cong \frac{t_0 \cdot h_0 + tch \cdot h_0}{4} \quad (84)$$

$$B_{k_1} = B_{j_1} - \frac{h_0}{2} \cdot b_0 \quad (85)$$

onde:

$$h_0 = h - t_f$$

com :

$$b_0 = b - \frac{t_0}{2} \quad \text{tem-se:}$$

$$B_{k_1} \cong B_{j_1} - \frac{h_0}{2} \cdot \left(b - \frac{t_0}{2} \right) \cong \frac{t_0 \cdot h_0 + tch \cdot h_0}{4} - \frac{h_0}{2} \cdot b + \frac{t_0 \cdot h_0}{4} \quad (86)$$

$$B_{k_1} \cong \frac{t_0 \cdot h_0}{2} + \frac{tch \cdot h_0}{4} - \frac{h_0}{2} \cdot b \quad (87)$$

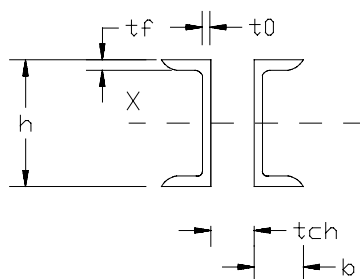


FIGURA 23 - Composição de dois perfis tipo “U”.

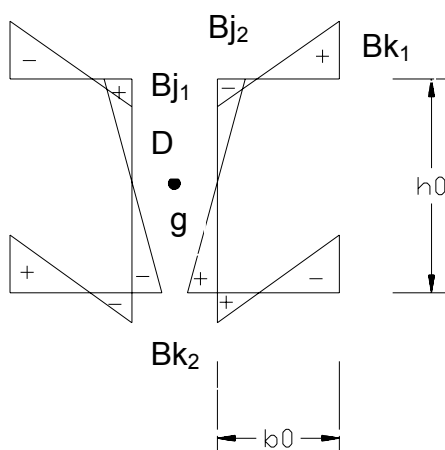


FIGURA 24 - Diagrama de área setorial para uma composição de dois perfis tipo “U”

Assim, a constante de empenamento para as quatro mesas será :

$$Cw_1 \cong 4 \cdot \frac{l \cdot t}{3} \cdot (Bj_1^2 + Bj_1 \cdot Bk_1 + Bk_1^2) \quad (88)$$

$$Cw_1 \cong \frac{4}{3} \cdot \left(b - \frac{t0}{2}\right) \cdot tf \cdot (Bj_1^2 + Bj_1 \cdot Bk_1 + Bk_1^2) \quad (89)$$

Para as duas almas :

$$Cw_2 = \frac{2}{3} \cdot (h - tf) \cdot t0 \cdot (Bj_2^2 + Bj_2 \cdot Bk_2 + Bk_2^2) \quad (90)$$

Considerando que :

$$Bj_2 = Bj_1 \quad \text{e} \quad Bk_2 = -Bj_2 \quad \text{tem-se:}$$

$$Cw_2 \cong \frac{2}{3} \cdot (h - tf) \cdot t0 \cdot (Bj_1^2 - Bj_1 \cdot Bj_1 + Bj_1^2) \cong \frac{2}{3} \cdot (h - tf) \cdot t0 \cdot Bj_1^2 \quad (91)$$

A constante de empenamento total nada mais é que a soma de CW_1 e CW_2 .

D.2.2 Listagem do programa para cálculo de C_w , para a referida composição

```

program cal_cw;
uses crt,dos,printer;
var
  c : char;
  t0,h,h0,b,tf,cw,cw1,cw2,tch,bj1,bk1,bj2,bk2 : real;
begin
textbackground(1);textcolor(15);
clrscr;
writeln;writeln;
writeln('dados necessários ao cálculo de cw para composição de ',
'dois perfis U');
writeln;writeln;
write('altura do perfil = ');
readln(h);
write('espessura das almas = ');
readln(t0);
write('distância livre entre perfis = ');
readln(tch);
write('largura das mesas = ');
readln(b);
write('espessura média das mesas = ');
readln(tf);
h0:=h-tf;
bj1 := (t0*h0 + h0*tch)/4;
writeln;
writeln('valor de bj1 = ',bj1:10:2);
bk1 := (t0*h0/2) + (tch*h0/4) - (h0*b/2);
bj2 := bj1;
bk2 := -bj2;
writeln;
writeln('valor de bk1 = ',bk1:10:2);
writeln;
writeln('valor de bj2 = ',bj2:10:2);
writeln;
writeln('valor de bk2 = ',bk2:10:2);
writeln;
write(' :18, aperte qualquer tecla para continuar');
c:= readkey;
cw1 := (4/3)*(b-t0/2)*tf*(bj1*bj1 + bj1*bk1 + bk1*bk1);
writeln;writeln;
writeln('valor de cw para as mesas = ',cw1:10:2);
cw2 := (2/3)*(h0)*t0*bj2*bj2;
writeln;writeln;
writeln('valor de cw para as almas = ',cw2:10:2);
cw := cw1 + cw2;
writeln;writeln;
writeln('valor de cw total = ',cw:10:2);
writeln;
write(' :18, aperte qualquer tecla para continuar');
c:= readkey;
end.

```

D 3 TABELAS DE DADOS PARA O PROGRAMA DE OTIMIZAÇÃO

D.3.1 Seções formadas por um perfil “U” laminado

número da tabela = 50

distância livre entre perfis = -

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
------	------	----	----	----	----	----	----	----

1	7.78	2.980	1.030	1.000	2.220	0.000	1.100	65.40
2	9.48	2.850	1.040	1.000	2.000	0.000	1.500	78.40
3	10.10	3.970	1.140	1.000	2.320	0.000	1.400	193.00
4	11.40	2.750	1.060	1.000	2.050	0.000	3.100	104.00
5	11.90	3.840	1.140	1.000	2.370	0.000	2.600	251.00
6	13.70	3.730	1.150	1.000	2.200	0.000	3.500	283.00
7	15.50	5.940	1.360	1.000	2.730	0.000	2.900	1040.00
8	19.90	5.630	1.340	1.000	2.610	0.000	5.900	1420.00
9	21.80	7.890	1.590	1.000	3.250	0.000	5.900	3880.00
10	24.70	5.420	1.330	1.000	2.240	0.000	9.600	1610.00
11	26.10	7.600	1.560	1.000	2.930	0.000	7.600	4420.00
12	29.00	9.840	1.810	1.000	3.710	0.000	9.900	10900.00
13	29.40	5.270	1.330	1.000	2.230	0.000	18.400	2040.00
14	30.80	7.350	1.540	1.000	2.730	0.000	11.900	5160.00
15	35.60	7.170	1.520	1.000	2.510	0.000	17.700	5720.00
16	37.90	9.310	1.760	1.000	3.140	0.000	15.100	13100.00
17	39.10	11.700	2.030	1.000	4.090	0.000	17.800	27100.00
18	40.30	7.030	1.520	1.000	2.330	0.000	26.400	6250.00
19	47.40	8.950	1.720	1.000	2.900	0.000	29.500	16300.00
20	47.40	11.300	1.980	1.000	3.650	0.000	23.300	30900.00
21	56.90	8.700	1.700	1.000	2.590	0.000	51.500	18400.00
22	56.90	10.900	1.940	1.000	3.260	0.000	35.300	35000.00
23	64.20	14.300	2.300	1.000	4.260	0.000	43.300	84500.00
24	66.40	8.520	1.700	1.000	2.560	0.000	89.000	22400.00
25	66.40	10.600	1.910	1.000	3.120	0.000	58.100	40900.00
26	66.40	14.200	2.290	1.000	4.170	0.000	45.500	86500.00
27	75.80	13.800	2.250	1.000	3.850	0.000	58.500	95100.00
28	75.90	10.400	1.900	1.000	2.870	0.000	87.700	44800.00
29	85.30	13.500	2.220	1.000	3.730	0.000	83.300	108000.00
30	94.80	13.300	2.200	1.000	3.500	0.000	110.000	116000.00
31	104.30	13.100	2.180	1.000	3.630	0.000	155.000	132000.00

ele. composição da barra

- 1 seção tipo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção tipo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção tipo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção tipo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção tipo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção tipo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção tipo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção tipo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção tipo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção tipo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção tipo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção tipo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção tipo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção tipo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção tipo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção tipo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção tipo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção tipo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção tipo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção tipo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção tipo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção tipo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção tipo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção tipo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção tipo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção tipo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção tipo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção tipo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 seção tipo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 seção tipo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 seção tipo "U" 15" x 81.9 kg/m

número da tabela = 51

distância livre entre perfis = 0

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
1	15.56	2.980	1.512	1.000	0.000	0.000	2.200	345.82
2	18.96	2.850	1.523	1.000	0.000	0.000	3.000	347.89
3	20.20	3.970	1.626	1.000	0.000	0.000	2.800	996.48
4	22.80	2.750	1.568	1.000	0.000	0.000	6.200	355.19
5	23.80	3.840	1.620	1.000	0.000	0.000	5.200	1002.14
6	27.40	3.730	1.638	1.000	0.000	0.000	7.000	1016.40
7	31.00	5.940	1.884	1.000	0.000	0.000	5.800	5021.59
8	39.80	5.630	1.850	1.000	0.000	0.000	11.800	5071.03
9	43.60	7.890	2.150	1.000	0.000	0.000	11.800	17203.46
10	49.40	5.420	1.869	1.000	0.000	0.000	19.200	5176.87
11	52.20	7.600	2.104	1.000	0.000	0.000	15.200	17282.69
12	58.00	9.840	2.423	1.000	0.000	0.000	19.800	47059.49
13	58.80	5.270	1.920	1.000	0.000	0.000	36.800	5372.99
14	61.60	7.350	2.080	1.000	0.000	0.000	23.800	17454.62
15	71.20	7.170	2.095	1.000	0.000	0.000	35.400	17741.44
16	75.80	9.310	2.336	1.000	0.000	0.000	30.200	47640.08
17	78.20	11.700	2.693	1.000	0.000	0.000	35.600	111919.78
18	80.60	7.030	2.126	1.000	0.000	0.000	52.800	18143.18
19	94.80	8.950	2.326	1.000	0.000	0.000	59.000	48420.18
20	94.80	11.300	2.617	1.000	0.000	0.000	46.600	112460.60
21	113.80	8.700	2.368	1.000	0.000	0.000	103.000	50039.99
22	113.80	10.900	2.586	1.000	0.000	0.000	70.600	113466.04
23	128.40	14.300	3.044	1.000	0.000	0.000	86.600	325550.88
24	132.80	8.520	2.446	1.000	0.000	0.000	178.000	52772.24
25	132.80	10.600	2.597	1.000	0.000	0.000	116.200	115607.52
26	132.80	14.200	1.990	1.000	0.000	0.000	91.000	325896.44
27	151.60	13.800	3.004	1.000	0.000	0.000	117.000	328163.62
28	151.80	10.400	2.635	1.000	0.000	0.000	175.400	118754.94
29	170.60	13.500	2.983	1.000	0.000	0.000	166.600	331474.84
30	189.60	13.300	2.996	1.000	0.000	0.000	220.000	336027.82
31	208.60	13.100	3.108	1.000	0.000	0.000	310.000	342020.30

ele. composicao da barra

- 1 seção duplo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção duplo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção duplo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção duplo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção duplo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção duplo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção duplo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção duplo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção duplo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção duplo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção duplo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção duplo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção duplo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção duplo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção duplo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção duplo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção duplo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção duplo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção duplo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção duplo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção duplo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção duplo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção duplo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção duplo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção duplo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção duplo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção duplo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção duplo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 seção duplo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 seção duplo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 seção duplo "U" 15" x 81.9 kg/m

número da tabela = 52

distância livre entre perfis = 1/8"

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
1	15.56	2.980	1.632	1.000	0.000	0.000	2.200	298.99
2	18.96	2.850	1.642	1.000	0.000	0.000	3.000	304.01
3	20.20	3.970	1.742	1.000	0.000	0.000	2.800	876.47
4	22.80	2.750	1.689	1.000	0.000	0.000	6.200	315.67
5	23.80	3.840	1.736	1.000	0.000	0.000	5.200	887.42
6	27.40	3.730	1.755	1.000	0.000	0.000	7.000	908.80
7	31.00	5.940	1.997	1.000	0.000	0.000	5.800	4525.83
8	39.80	5.630	1.962	1.000	0.000	0.000	11.800	4611.98
9	43.60	7.890	2.260	1.000	0.000	0.000	11.800	15759.32
10	49.40	5.420	1.984	1.000	0.000	0.000	19.200	4773.88
11	52.20	7.600	2.213	1.000	0.000	0.000	15.200	15904.25
12	58.00	9.840	2.531	1.000	0.000	0.000	19.800	43620.55
13	58.80	5.270	2.037	1.000	0.000	0.000	36.800	5041.73
14	61.60	7.350	2.190	1.000	0.000	0.000	23.800	16168.00
15	71.20	7.170	2.208	1.000	0.000	0.000	35.400	16573.84
16	75.80	9.310	2.444	1.000	0.000	0.000	30.200	44441.67
17	78.20	11.700	2.800	1.000	0.000	0.000	35.600	104684.98
18	80.60	7.030	2.240	1.000	0.000	0.000	52.800	17111.89
19	94.80	8.950	2.436	1.000	0.000	0.000	59.000	45607.97
20	94.80	11.300	2.724	1.000	0.000	0.000	46.600	105586.23
21	113.80	8.700	2.481	1.000	0.000	0.000	103.000	47710.35
22	113.80	10.900	2.693	1.000	0.000	0.000	70.600	107153.60
23	128.40	14.300	3.150	1.000	0.000	0.000	86.600	307424.07
24	132.80	8.520	2.563	1.000	0.000	0.000	178.000	51023.79
25	132.80	10.600	2.707	1.000	0.000	0.000	116.200	109965.42
26	132.80	14.200	2.149	1.000	0.000	0.000	91.000	307924.16
27	151.60	13.800	3.111	1.000	0.000	0.000	117.000	311066.68
28	151.80	10.400	2.748	1.000	0.000	0.000	175.400	113918.18
29	170.60	13.500	3.091	1.000	0.000	0.000	166.600	315424.26
30	189.60	13.300	3.105	1.000	0.000	0.000	220.000	321194.65
31	208.60	13.100	3.223	1.000	0.000	0.000	310.000	328575.58

ele. composicao da barra

- 1 seção duplo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção duplo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção duplo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção duplo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção duplo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção duplo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção duplo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção duplo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção duplo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção duplo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção duplo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção duplo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção duplo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção duplo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção duplo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção duplo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção duplo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção duplo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção duplo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção duplo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção duplo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção duplo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção duplo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção duplo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção duplo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção duplo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção duplo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção duplo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 seção duplo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 seção duplo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 seção duplo "U" 15" x 81.9 kg/m

número da tabela = 53

distância livre entre perfis = 5/32”

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
1	15.56	2.980	1.663	1.000	0.000	0.000	2.200	288.34
2	18.96	2.850	1.673	1.000	0.000	0.000	3.000	294.23
3	20.20	3.970	1.773	1.000	0.000	0.000	2.800	848.94
4	22.80	2.750	1.720	1.000	0.000	0.000	6.200	307.12
5	23.80	3.840	1.767	1.000	0.000	0.000	5.200	861.44
6	27.40	3.730	1.785	1.000	0.000	0.000	7.000	884.86
7	31.00	5.940	2.026	1.000	0.000	0.000	5.800	4410.38
8	39.80	5.630	1.991	1.000	0.000	0.000	11.800	4507.04
9	43.60	7.890	2.288	1.000	0.000	0.000	11.800	15419.38
10	49.40	5.420	2.013	1.000	0.000	0.000	19.200	4684.39
11	52.20	7.600	2.241	1.000	0.000	0.000	15.200	15583.05
12	58.00	9.840	2.559	1.000	0.000	0.000	19.800	42804.51
13	58.80	5.270	2.067	1.000	0.000	0.000	36.800	4971.61
14	61.60	7.350	2.219	1.000	0.000	0.000	23.800	15872.28
15	71.20	7.170	2.236	1.000	0.000	0.000	35.400	16310.51
16	75.80	9.310	2.472	1.000	0.000	0.000	30.200	43693.37
17	78.20	11.700	2.828	1.000	0.000	0.000	35.600	102959.71
18	80.60	7.030	2.269	1.000	0.000	0.000	52.800	16885.17
19	94.80	8.950	2.465	1.000	0.000	0.000	59.000	44964.28
20	94.80	11.300	2.751	1.000	0.000	0.000	46.600	103961.15
21	113.80	8.700	2.510	1.000	0.000	0.000	103.000	47195.25
22	113.80	10.900	2.721	1.000	0.000	0.000	70.600	105680.71
23	128.40	14.300	3.178	1.000	0.000	0.000	86.600	303096.22
24	132.80	8.520	2.593	1.000	0.000	0.000	178.000	50662.00
25	132.80	10.600	2.735	1.000	0.000	0.000	116.200	108671.64
26	132.80	14.200	2.189	1.000	0.000	0.000	91.000	303638.57
27	151.60	13.800	3.139	1.000	0.000	0.000	117.000	307018.04
28	151.80	10.400	2.777	1.000	0.000	0.000	175.400	112837.26
29	170.60	13.500	3.118	1.000	0.000	0.000	166.600	311655.35
30	189.60	13.300	3.133	1.000	0.000	0.000	220.000	317748.24
31	208.60	13.100	3.252	1.000	0.000	0.000	310.000	325494.45

ele. composicao da barra

- 1 seção duplo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção duplo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção duplo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção duplo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção duplo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção duplo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção duplo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção duplo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção duplo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção duplo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção duplo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção duplo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção duplo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção duplo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção duplo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção duplo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção duplo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção duplo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção duplo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção duplo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção duplo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção duplo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção duplo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção duplo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção duplo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção duplo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção duplo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção duplo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 seção duplo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 seção duplo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 seção duplo "U" 15" x 81.9 kg/m

número da tabela = 54

distância livre entre perfis = 3/16”

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
1	15.56	2.980	1.695	1.000	0.000	0.000	2.200	278.14
2	18.96	2.850	1.704	1.000	0.000	0.000	3.000	284.94
3	20.20	3.970	1.803	1.000	0.000	0.000	2.800	822.43
4	22.80	2.750	1.752	1.000	0.000	0.000	6.200	299.11
5	23.80	3.840	1.797	1.000	0.000	0.000	5.200	836.57
6	27.40	3.730	1.816	1.000	0.000	0.000	7.000	862.13
7	31.00	5.940	2.055	1.000	0.000	0.000	5.800	4298.47
8	39.80	5.630	2.021	1.000	0.000	0.000	11.800	4406.17
9	43.60	7.890	2.317	1.000	0.000	0.000	11.800	15088.35
10	49.40	5.420	2.043	1.000	0.000	0.000	19.200	4599.54
11	52.20	7.600	2.270	1.000	0.000	0.000	15.200	15271.64
12	58.00	9.840	2.587	1.000	0.000	0.000	19.800	42007.04
13	58.80	5.270	2.098	1.000	0.000	0.000	36.800	4906.67
14	61.60	7.350	2.247	1.000	0.000	0.000	23.800	15587.33
15	71.20	7.170	2.266	1.000	0.000	0.000	35.400	16058.96
16	75.80	9.310	2.500	1.000	0.000	0.000	30.200	42966.60
17	78.20	11.700	2.855	1.000	0.000	0.000	35.600	101270.17
18	80.60	7.030	2.299	1.000	0.000	0.000	52.800	16671.18
19	94.80	8.950	2.493	1.000	0.000	0.000	59.000	44345.19
20	94.80	11.300	2.779	1.000	0.000	0.000	46.600	102375.67
21	113.80	8.700	2.540	1.000	0.000	0.000	103.000	46707.75
22	113.80	10.900	2.749	1.000	0.000	0.000	70.600	104251.89
23	128.40	14.300	3.205	1.000	0.000	0.000	86.600	298855.79
24	132.80	8.520	2.623	1.000	0.000	0.000	178.000	50330.81
25	132.80	10.600	2.764	1.000	0.000	0.000	116.200	107426.28
26	132.80	14.200	2.228	1.000	0.000	0.000	91.000	299441.79
27	151.60	13.800	3.166	1.000	0.000	0.000	117.000	303065.12
28	151.80	10.400	2.806	1.000	0.000	0.000	175.400	111809.08
29	170.60	13.500	3.146	1.000	0.000	0.000	166.600	307989.03
30	189.60	13.300	3.162	1.000	0.000	0.000	220.000	314411.23
31	208.60	13.100	3.281	1.000	0.000	0.000	310.000	322529.46

ele. composicao da barra

- 1 seção duplo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção duplo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção duplo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção duplo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção duplo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção duplo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção duplo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção duplo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção duplo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção duplo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção duplo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção duplo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção duplo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção duplo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção duplo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção duplo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção duplo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção duplo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção duplo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção duplo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção duplo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção duplo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção duplo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção duplo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção duplo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção duplo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção duplo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção duplo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 seção duplo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 seção duplo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 seção duplo "U" 15" x 81.9 kg/m

número da tabela = 55

distância livre entre perfis = 1/4”

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
1	15.56	2.980	1.758	1.000	0.000	0.000	2.200	258.98
2	18.96	2.850	1.768	1.000	0.000	0.000	3.000	267.77
3	20.20	3.970	1.865	1.000	0.000	0.000	2.800	772.32
4	22.80	2.750	1.816	1.000	0.000	0.000	6.200	284.68
5	23.80	3.840	1.859	1.000	0.000	0.000	5.200	790.03
6	27.40	3.730	1.878	1.000	0.000	0.000	7.000	820.16
7	31.00	5.940	2.115	1.000	0.000	0.000	5.800	4084.62
8	39.80	5.630	2.081	1.000	0.000	0.000	11.800	4216.02
9	43.60	7.890	2.375	1.000	0.000	0.000	11.800	14450.91
10	49.40	5.420	2.104	1.000	0.000	0.000	19.200	4443.16
11	52.20	7.600	2.328	1.000	0.000	0.000	15.200	14676.27
12	58.00	9.840	2.645	1.000	0.000	0.000	19.800	40462.85
13	58.80	5.270	2.160	1.000	0.000	0.000	36.800	4791.87
14	61.60	7.350	2.306	1.000	0.000	0.000	23.800	15047.95
15	71.20	7.170	2.325	1.000	0.000	0.000	35.400	15589.61
16	75.80	9.310	2.557	1.000	0.000	0.000	30.200	41573.06
17	78.20	11.700	2.912	1.000	0.000	0.000	35.600	97987.60
18	80.60	7.030	2.359	1.000	0.000	0.000	52.800	16280.08
19	94.80	8.950	2.551	1.000	0.000	0.000	59.000	43176.93
20	94.80	11.300	2.835	1.000	0.000	0.000	46.600	99313.55
21	113.80	8.700	2.599	1.000	0.000	0.000	103.000	45812.51
22	113.80	10.900	2.806	1.000	0.000	0.000	70.600	101517.50
23	128.40	14.300	3.261	1.000	0.000	0.000	86.600	290610.52
24	132.80	8.520	2.684	1.000	0.000	0.000	178.000	49758.13
25	132.80	10.600	2.821	1.000	0.000	0.000	116.200	105073.02
26	132.80	14.200	2.308	1.000	0.000	0.000	91.000	291288.26
27	151.60	13.800	3.222	1.000	0.000	0.000	117.000	295421.62
28	151.80	10.400	2.865	1.000	0.000	0.000	175.400	109904.49
29	170.60	13.500	3.203	1.000	0.000	0.000	166.600	300941.08
30	189.60	13.300	3.219	1.000	0.000	0.000	220.000	308044.39
31	208.60	13.100	3.341	1.000	0.000	0.000	310.000	316929.28

ele. composicao da barra

- 1 seção duplo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção duplo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção duplo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção duplo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção duplo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção duplo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção duplo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção duplo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção duplo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção duplo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção duplo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção duplo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção duplo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção duplo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção duplo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção duplo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção duplo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção duplo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção duplo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção duplo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção duplo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção duplo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção duplo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção duplo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção duplo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção duplo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção duplo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção duplo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 seção duplo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 seção duplo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 seção duplo "U" 15" x 81.9 kg/m

número da tabela = 56

distância livre entre perfis = 5/16”

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
1	15.56	2.980	1.823	1.000	0.000	0.000	2.200	241.55
2	18.96	2.850	1.832	1.000	0.000	0.000	3.000	252.51
3	20.20	3.970	1.929	1.000	0.000	0.000	2.800	726.21
4	22.80	2.750	1.881	1.000	0.000	0.000	6.200	272.39
5	23.80	3.840	1.922	1.000	0.000	0.000	5.200	747.84
6	27.40	3.730	1.941	1.000	0.000	0.000	7.000	782.96
7	31.00	5.940	2.177	1.000	0.000	0.000	5.800	3884.53
8	39.80	5.630	2.142	1.000	0.000	0.000	11.800	4041.75
9	43.60	7.890	2.435	1.000	0.000	0.000	11.800	13847.78
10	49.40	5.420	2.166	1.000	0.000	0.000	19.200	4304.93
11	52.20	7.600	2.388	1.000	0.000	0.000	15.200	14118.88
12	58.00	9.840	2.703	1.000	0.000	0.000	19.800	38989.91
13	58.80	5.270	2.223	1.000	0.000	0.000	36.800	4697.49
14	61.60	7.350	2.366	1.000	0.000	0.000	23.800	14550.54
15	71.20	7.170	2.386	1.000	0.000	0.000	35.400	15166.39
16	75.80	9.310	2.615	1.000	0.000	0.000	30.200	40262.82
17	78.20	11.700	2.969	1.000	0.000	0.000	35.600	94841.42
18	80.60	7.030	2.420	1.000	0.000	0.000	52.800	15939.07
19	94.80	8.950	2.611	1.000	0.000	0.000	59.000	42104.66
20	94.80	11.300	2.892	1.000	0.000	0.000	46.600	96403.74
21	113.80	8.700	2.660	1.000	0.000	0.000	103.000	45025.76
22	113.80	10.900	2.864	1.000	0.000	0.000	70.600	98953.85
23	128.40	14.300	3.318	1.000	0.000	0.000	86.600	282698.67
24	132.80	8.520	2.746	1.000	0.000	0.000	178.000	49306.48
25	132.80	10.600	2.880	1.000	0.000	0.000	116.200	102908.61
26	132.80	14.200	2.387	1.000	0.000	0.000	91.000	283473.86
27	151.60	13.800	3.279	1.000	0.000	0.000	117.000	288145.78
28	151.80	10.400	2.925	1.000	0.000	0.000	175.400	108206.79
29	170.60	13.500	3.261	1.000	0.000	0.000	166.600	294289.30
30	189.60	13.300	3.278	1.000	0.000	0.000	220.000	302102.16
31	208.60	13.100	3.402	1.000	0.000	0.000	310.000	311782.09

ele. composicao da barra

- 1 seção duplo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção duplo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção duplo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção duplo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção duplo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção duplo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção duplo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção duplo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção duplo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção duplo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção duplo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção duplo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção duplo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção duplo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção duplo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção duplo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção duplo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção duplo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção duplo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção duplo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção duplo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção duplo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção duplo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção duplo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção duplo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção duplo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção duplo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção duplo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 seção duplo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 seção duplo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 seção duplo "U" 15" x 81.9 kg/m

número da tabela = 57

distância livre entre perfis = 3/8"

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
1	15.56	2.980	1.889	1.000	0.000	0.000	2.200	225.81
2	18.96	2.850	1.898	1.000	0.000	0.000	3.000	239.16
3	20.20	3.970	1.994	1.000	0.000	0.000	2.800	684.03
4	22.80	2.750	1.947	1.000	0.000	0.000	6.200	262.23
5	23.80	3.840	1.987	1.000	0.000	0.000	5.200	709.97
6	27.40	3.730	2.006	1.000	0.000	0.000	7.000	750.48
7	31.00	5.940	2.239	1.000	0.000	0.000	5.800	3697.96
8	39.80	5.630	2.204	1.000	0.000	0.000	11.800	3883.15
9	43.60	7.890	2.496	1.000	0.000	0.000	11.800	13278.22
10	49.40	5.420	2.229	1.000	0.000	0.000	19.200	4184.70
11	52.20	7.600	2.448	1.000	0.000	0.000	15.200	13598.78
12	58.00	9.840	2.763	1.000	0.000	0.000	19.800	37586.38
13	58.80	5.270	2.286	1.000	0.000	0.000	36.800	4623.41
14	61.60	7.350	2.426	1.000	0.000	0.000	23.800	14094.47
15	71.20	7.170	2.447	1.000	0.000	0.000	35.400	14788.76
16	75.80	9.310	2.674	1.000	0.000	0.000	30.200	39034.23
17	78.20	11.700	3.028	1.000	0.000	0.000	35.600	91827.65
18	80.60	7.030	2.483	1.000	0.000	0.000	52.800	15647.74
19	94.80	8.950	2.671	1.000	0.000	0.000	59.000	41127.05
20	94.80	11.300	2.951	1.000	0.000	0.000	46.600	93642.57
21	113.80	8.700	2.722	1.000	0.000	0.000	103.000	44346.50
22	113.80	10.900	2.922	1.000	0.000	0.000	70.600	96557.73
23	128.40	14.300	3.376	1.000	0.000	0.000	86.600	275110.24
24	132.80	8.520	2.809	1.000	0.000	0.000	178.000	48975.28
25	132.80	10.600	2.940	1.000	0.000	0.000	116.200	100930.33
26	132.80	14.200	2.466	1.000	0.000	0.000	91.000	275988.73
27	151.60	13.800	3.337	1.000	0.000	0.000	117.000	281228.44
28	151.80	10.400	2.986	1.000	0.000	0.000	175.400	106713.87
29	170.60	13.500	3.319	1.000	0.000	0.000	166.600	288025.30
30	189.60	13.300	3.337	1.000	0.000	0.000	220.000	296577.05
31	208.60	13.100	3.463	1.000	0.000	0.000	310.000	307081.41

ele. composicao da barra

- 1 seção duplo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção duplo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção duplo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção duplo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção duplo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção duplo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção duplo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção duplo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção duplo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção duplo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção duplo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção duplo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção duplo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção duplo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção duplo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção duplo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção duplo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção duplo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção duplo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção duplo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção duplo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção duplo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção duplo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção duplo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção duplo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção duplo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção duplo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção duplo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 seção duplo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 seção duplo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 seção duplo "U" 15" x 81.9 kg/m

número da tabela = 58

distância livre entre perfis = 1/2”

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
1	15.56	2.980	2.025	1.000	0.000	0.000	2.200	199.46
2	18.96	2.850	2.033	1.000	0.000	0.000	3.000	218.18
3	20.20	3.970	2.126	1.000	0.000	0.000	2.800	611.59
4	22.80	2.750	2.082	1.000	0.000	0.000	6.200	248.31
5	23.80	3.840	2.119	1.000	0.000	0.000	5.200	647.24
6	27.40	3.730	2.138	1.000	0.000	0.000	7.000	699.76
7	31.00	5.940	2.367	1.000	0.000	0.000	5.800	3365.85
8	39.80	5.630	2.332	1.000	0.000	0.000	11.800	3613.38
9	43.60	7.890	2.620	1.000	0.000	0.000	11.800	12241.26
10	49.40	5.420	2.358	1.000	0.000	0.000	19.200	3998.51
11	52.20	7.600	2.573	1.000	0.000	0.000	15.200	12671.76
12	58.00	9.840	2.884	1.000	0.000	0.000	19.800	34991.13
13	58.80	5.270	2.417	1.000	0.000	0.000	36.800	4536.35
14	61.60	7.350	2.551	1.000	0.000	0.000	23.800	13307.57
15	71.20	7.170	2.574	1.000	0.000	0.000	35.400	14171.29
16	75.80	9.310	2.796	1.000	0.000	0.000	30.200	36825.18
17	78.20	11.700	3.147	1.000	0.000	0.000	35.600	86205.13
18	80.60	7.030	2.610	1.000	0.000	0.000	52.800	15214.87
19	94.80	8.950	2.795	1.000	0.000	0.000	59.000	39458.33
20	94.80	11.300	3.070	1.000	0.000	0.000	46.600	88573.27
21	113.80	8.700	2.847	1.000	0.000	0.000	103.000	43312.29
22	113.80	10.900	3.043	1.000	0.000	0.000	70.600	92274.30
23	128.40	14.300	3.494	1.000	0.000	0.000	86.600	260923.22
24	132.80	8.520	2.937	1.000	0.000	0.000	178.000	48675.21
25	132.80	10.600	3.063	1.000	0.000	0.000	116.200	97537.33
26	132.80	14.200	2.625	1.000	0.000	0.000	91.000	262025.56
27	151.60	13.800	3.456	1.000	0.000	0.000	117.000	268487.14
28	151.80	10.400	3.110	1.000	0.000	0.000	175.400	104346.32
29	170.60	13.500	3.439	1.000	0.000	0.000	166.600	276676.92
30	189.60	13.300	3.458	1.000	0.000	0.000	220.000	286792.62
31	208.60	13.100	3.587	1.000	0.000	0.000	310.000	299031.97

ele. composicao da barra

- 1 seção duplo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção duplo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção duplo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção duplo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção duplo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção duplo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção duplo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção duplo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção duplo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção duplo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção duplo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção duplo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção duplo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção duplo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção duplo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção duplo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção duplo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção duplo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção duplo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção duplo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção duplo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção duplo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção duplo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção duplo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção duplo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção duplo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção duplo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção duplo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 seção duplo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 seção duplo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 seção duplo "U" 15" x 81.9 kg/m

número da tabela = 59

distância livre entre perfis = 5/8”

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
1	15.56	2.980	2.163	1.000	0.000	0.000	2.200	179.93
2	18.96	2.850	2.170	1.000	0.000	0.000	3.000	204.83
3	20.20	3.970	2.261	1.000	0.000	0.000	2.800	555.01
4	22.80	2.750	2.221	1.000	0.000	0.000	6.200	242.93
5	23.80	3.840	2.254	1.000	0.000	0.000	5.200	601.85
6	27.40	3.730	2.274	1.000	0.000	0.000	7.000	667.99
7	31.00	5.940	2.498	1.000	0.000	0.000	5.800	3088.30
8	39.80	5.630	2.463	1.000	0.000	0.000	11.800	3406.70
9	43.60	7.890	2.748	1.000	0.000	0.000	11.800	11340.03
10	49.40	5.420	2.491	1.000	0.000	0.000	19.200	3884.58
11	52.20	7.600	2.701	1.000	0.000	0.000	15.200	11895.21
12	58.00	9.840	3.010	1.000	0.000	0.000	19.800	32677.12
13	58.80	5.270	2.551	1.000	0.000	0.000	36.800	4530.68
14	61.60	7.350	2.679	1.000	0.000	0.000	23.800	12687.25
15	71.20	7.170	2.703	1.000	0.000	0.000	35.400	13737.19
16	75.80	9.310	2.921	1.000	0.000	0.000	30.200	34945.92
17	78.20	11.700	3.270	1.000	0.000	0.000	35.600	81120.03
18	80.60	7.030	2.741	1.000	0.000	0.000	52.800	14981.48
19	94.80	8.950	2.921	1.000	0.000	0.000	59.000	38170.78
20	94.80	11.300	3.193	1.000	0.000	0.000	46.600	84105.67
21	113.80	8.700	2.976	1.000	0.000	0.000	103.000	42709.91
22	113.80	10.900	3.167	1.000	0.000	0.000	70.600	88667.20
23	128.40	14.300	3.615	1.000	0.000	0.000	86.600	248049.47
24	132.80	8.520	3.067	1.000	0.000	0.000	178.000	48857.94
25	132.80	10.600	3.188	1.000	0.000	0.000	116.200	94894.04
26	132.80	14.200	2.784	1.000	0.000	0.000	91.000	249398.76
27	151.60	13.800	3.578	1.000	0.000	0.000	117.000	257197.73
28	151.80	10.400	3.237	1.000	0.000	0.000	175.400	102801.84
29	170.60	13.500	3.562	1.000	0.000	0.000	166.600	266895.94
30	189.60	13.300	3.581	1.000	0.000	0.000	220.000	278691.11
31	208.60	13.100	3.714	1.000	0.000	0.000	310.000	292780.97

ele. composicao da barra

- 1 seção duplo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção duplo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção duplo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção duplo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção duplo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção duplo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção duplo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção duplo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção duplo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção duplo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção duplo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção duplo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção duplo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção duplo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção duplo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção duplo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção duplo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção duplo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção duplo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção duplo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção duplo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção duplo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção duplo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção duplo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção duplo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção duplo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção duplo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção duplo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 seção duplo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 seção duplo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 seção duplo "U" 15" x 81.9 kg/m

número da tabela = 60

distância livre entre perfis = 3/4”

número de elementos da tabela = 31

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	QS	x0	y0	it	cw
1	15.56	2.980	2.304	1.000	0.000	0.000	2.200	167.24
2	18.96	2.850	2.311	1.000	0.000	0.000	3.000	199.11
3	20.20	3.970	2.400	1.000	0.000	0.000	2.800	514.29
4	22.80	2.750	2.362	1.000	0.000	0.000	6.200	246.09
5	23.80	3.840	2.392	1.000	0.000	0.000	5.200	573.78
6	27.40	3.730	2.412	1.000	0.000	0.000	7.000	655.19
7	31.00	5.940	2.633	1.000	0.000	0.000	5.800	2865.30
8	39.80	5.630	2.598	1.000	0.000	0.000	11.800	3263.11
9	43.60	7.890	2.879	1.000	0.000	0.000	11.800	10574.52
10	49.40	5.420	2.626	1.000	0.000	0.000	19.200	3842.92
11	52.20	7.600	2.832	1.000	0.000	0.000	15.200	11269.15
12	58.00	9.840	3.138	1.000	0.000	0.000	19.800	30644.34
13	58.80	5.270	2.688	1.000	0.000	0.000	36.800	4606.41
14	61.60	7.350	2.811	1.000	0.000	0.000	23.800	12233.50
15	71.20	7.170	2.836	1.000	0.000	0.000	35.400	13486.46
16	75.80	9.310	3.050	1.000	0.000	0.000	30.200	33396.45
17	78.20	11.700	3.396	1.000	0.000	0.000	35.600	76572.36
18	80.60	7.030	2.875	1.000	0.000	0.000	52.800	14947.56
19	94.80	8.950	3.051	1.000	0.000	0.000	59.000	37264.39
20	94.80	11.300	3.319	1.000	0.000	0.000	46.600	80239.76
21	113.80	8.700	3.108	1.000	0.000	0.000	103.000	42539.33
22	113.80	10.900	3.294	1.000	0.000	0.000	70.600	85736.44
23	128.40	14.300	3.739	1.000	0.000	0.000	86.600	236488.98
24	132.80	8.520	3.201	1.000	0.000	0.000	178.000	49523.47
25	132.80	10.600	3.317	1.000	0.000	0.000	116.200	93000.46
26	132.80	14.200	2.943	1.000	0.000	0.000	91.000	238108.33
27	151.60	13.800	3.702	1.000	0.000	0.000	117.000	247360.21
28	151.80	10.400	3.367	1.000	0.000	0.000	175.400	102080.44
29	170.60	13.500	3.687	1.000	0.000	0.000	166.600	258682.36
30	189.60	13.300	3.708	1.000	0.000	0.000	220.000	272272.51
31	208.60	13.100	3.844	1.000	0.000	0.000	310.000	288328.40

ele. composicao da barra

- 1 seção duplo "U" 3" x 6.1 kg/m
- 2 seção duplo "U" 3" x 7.4 kg/m
- 3 seção duplo "U" 4" x 8.0 kg/m
- 4 seção duplo "U" 3" x 8.9 kg/m
- 5 seção duplo "U" 4" x 9.3 kg/m
- 6 seção duplo "U" 4" x 10.8 kg/m
- 7 seção duplo "U" 6" x 12.2 kg/m
- 8 seção duplo "U" 6" x 15.6 kg/m
- 9 seção duplo "U" 8" x 17.1 kg/m
- 10 seção duplo "U" 6" x 19.4 kg/m
- 11 seção duplo "U" 8" x 20.5 kg/m
- 12 seção duplo "U" 10" x 22.7 kg/m
- 13 seção duplo "U" 6" x 23.1 kg/m
- 14 seção duplo "U" 8" x 24.2 kg/m
- 15 seção duplo "U" 8" x 27.9 kg/m
- 16 seção duplo "U" 10" x 29.8 kg/m
- 17 seção duplo "U" 12" x 30.7 kg/m
- 18 seção duplo "U" 8" x 31.6 kg/m
- 19 seção duplo "U" 10" x 37.2 kg/m
- 20 seção duplo "U" 12" x 37.2 kg/m
- 21 seção duplo "U" 10" x 44.7 kg/m
- 22 seção duplo "U" 12" x 44.7 kg/m
- 23 seção duplo "U" 15" x 50.4 kg/m
- 24 seção duplo "U" 10" x 52.1 kg/m
- 25 seção duplo "U" 12" x 52.1 kg/m
- 26 seção duplo "U" 15" x 52.1 kg/m
- 27 seção duplo "U" 15" x 59.5 kg/m
- 28 seção duplo "U" 12" x 59.6 kg/m
- 29 perfil duplo "U" 15" x 67.0 kg/m
- 30 perfil duplo "U" 15" x 74.4 kg/m
- 31 perfil duplo "U" 15" x 81.9 kg/m

D.2.3 Seções formadas por um perfil “L” laminado

número da tabela = 70

distância livre entre perfis = -

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	0.96	0.300	0.560	1.000	0.000	0.497	0.034	0.00
2	1.16	0.380	0.730	1.000	0.000	0.596	0.041	0.00
3	1.35	0.480	0.800	1.000	0.000	0.709	0.047	0.00
4	1.48	0.510	0.960	1.000	0.000	0.850	0.053	0.00
5	1.93	0.630	1.210	1.000	0.000	1.062	0.068	0.00
6	2.19	0.480	0.950	1.000	0.000	0.809	0.180	0.00
7	2.32	0.760	1.500	1.000	0.000	1.275	0.081	0.00
8	2.70	0.880	1.760	0.970	0.000	1.487	0.094	0.00
9	2.77	0.610	1.200	1.000	0.000	1.021	0.230	0.00
10	2.83	0.480	0.910	1.000	0.000	0.767	0.427	0.00
11	3.09	1.010	2.030	0.910	0.000	1.741	0.109	0.00
12	3.42	0.730	1.470	1.000	0.000	1.233	0.274	0.00
13	3.61	0.610	1.160	1.000	0.000	0.979	0.546	0.00
14	3.99	0.880	1.730	1.000	0.000	1.488	0.317	0.00
15	4.45	0.730	1.440	1.000	0.000	1.234	0.649	0.00
16	4.58	0.990	1.990	1.000	0.000	1.700	0.367	0.00
17	5.22	0.860	1.690	1.000	0.000	1.446	0.751	0.00
18	5.42	0.730	1.390	1.000	0.000	1.192	1.267	0.00
19	6.06	0.990	1.940	1.000	0.000	1.658	0.871	0.00
20	6.45	0.860	1.660	1.000	0.000	1.404	1.467	0.00
21	7.41	0.990	1.910	1.000	0.000	1.617	1.700	0.00
22	7.61	0.860	1.610	1.000	0.000	1.377	2.535	0.00
23	7.68	1.240	2.450	1.000	0.000	2.139	1.092	0.00
24	8.77	0.990	1.860	1.000	0.000	1.618	2.938	0.00
25	9.48	1.240	2.430	1.000	0.000	2.097	2.134	0.00
26	11.16	1.220	2.410	1.000	0.000	2.056	3.687	0.00
27	11.48	1.500	2.940	1.000	0.000	2.564	2.534	0.00
28	13.61	1.470	2.920	1.000	0.000	2.523	4.378	0.00
29	15.68	1.470	2.910	1.000	0.000	2.481	6.953	0.00
30	17.74	1.470	2.860	1.000	0.000	2.440	10.378	0.00
31	18.45	2.000	3.960	1.000	0.000	3.428	5.876	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	21.35	1.980	3.940	1.000	0.000	3.386	9.331	0.00
33	24.19	1.980	3.910	1.000	0.000	3.345	13.929	0.00
34	26.97	1.980	3.860	1.000	0.000	3.331	19.833	0.00
35	28.13	3.020	6.050	0.910	0.000	5.224	8.757	0.00
36	29.74	1.960	3.860	1.000	0.000	3.290	27.205	0.00
37	30.65	2.490	4.950	1.000	0.000	4.236	17.343	0.00
38	32.65	3.020	6.020	0.970	0.000	5.182	13.906	0.00
39	34.26	2.490	4.890	1.000	0.000	4.236	24.693	0.00
40	37.10	3.000	5.970	1.000	0.000	5.141	20.757	0.00
41	37.81	2.460	4.890	1.000	0.000	4.195	33.873	0.00
42	41.29	2.460	4.860	1.000	0.000	4.153	45.085	0.00
43	41.48	3.000	5.950	1.000	0.000	5.127	29.554	0.00
44	44.77	2.460	4.820	1.000	0.000	4.112	58.533	0.00
45	45.87	2.970	5.940	1.000	0.000	5.086	40.541	0.00
46	50.00	4.010	8.050	0.910	0.000	6.965	27.721	0.00
47	50.19	2.970	5.900	1.000	0.000	5.058	53.960	0.00
48	54.45	2.970	5.840	1.000	0.000	5.045	70.055	0.00
49	56.00	4.010	8.020	0.960	0.000	6.923	39.471	0.00
50	58.65	2.970	5.810	1.000	0.000	5.004	89.068	0.00
51	62.00	4.010	7.970	1.000	0.000	6.882	54.143	0.00
52	62.77	2.970	5.800	1.000	0.000	4.962	111.244	0.00
53	67.94	4.010	7.950	1.000	0.000	6.855	72.065	0.00
54	73.81	3.990	7.920	1.000	0.000	6.841	93.560	0.00
55	79.61	3.990	7.890	1.000	0.000	6.800	118.953	0.00
56	85.35	3.960	7.860	1.000	0.000	6.758	148.570	0.00
57	91.10	3.960	7.840	1.000	0.000	6.717	182.734	0.00
58	96.77	3.960	7.810	1.000	0.000	6.718	221.772	0.00

ele.	composição da barra
1	seção tipo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção tipo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção tipo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção tipo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção tipo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção tipo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção tipo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção tipo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção tipo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção tipo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção tipo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção tipo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção tipo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção tipo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção tipo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção tipo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção tipo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção tipo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção tipo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção tipo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção tipo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção tipo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção tipo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção tipo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção tipo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção tipo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção tipo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção tipo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção tipo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção tipo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção tipo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra	
32	seção tipo "L"	4" x 4" x 7/16"
33	seção tipo "L"	4" x 4" x 1/2"
34	seção tipo "L"	4" x 4" x 9/16"
35	seção tipo "L"	6" x 6" x 3/8"
36	seção tipo "L"	4" x 4" x 5/8"
37	seção tipo "L"	5" x 5" x 1/2"
38	seção tipo "L"	6" x 6" x 7/16"
39	seção tipo "L"	5" x 5" x 9/16"
40	seção tipo "L"	6" x 6" x 1/2"
41	seção tipo "L"	5" x 5" x 5/8"
42	seção tipo "L"	5" x 5" x 11/16"
43	seção tipo "L"	6" x 6" x 9/16"
44	seção tipo "L"	5" x 5" x 3/4"
45	seção tipo "L"	6" x 6" x 5/8"
46	seção tipo "L"	8" x 8" x 1/2"
47	seção tipo "L"	6" x 6" x 11/16"
48	seção tipo "L"	6" x 6" x 3/4"
49	seção tipo "L"	8" x 8" x 9/16"
50	seção tipo "L"	6" x 6" x 13/16"
51	seção tipo "L"	8" x 8" x 5/8"
52	seção tipo "L"	6" x 6" x 7/8"
53	seção tipo "L"	8" x 8" x 11/16"
54	seção tipo "L"	8" x 8" x 3/4"
55	seção tipo "L"	8" x 8" x 3/16"
56	seção tipo "L"	8" x 8" x 7/8"
57	seção tipo "L"	8" x 8" x 15/16"
58	seção tipo "L"	8" x 8" x 1"

D.2.4 Seções formadas por dois perfis “L” laminados

número da tabela = 71

distância livre entre perfis = 0

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	1.92	0.450	0.684	1.000	0.000	0.351	0.068	0.00
2	2.32	0.580	0.810	1.000	0.000	0.421	0.081	0.00
3	2.70	0.660	0.930	1.000	0.000	0.501	0.094	0.00
4	2.96	0.760	1.067	1.000	0.000	0.601	0.107	0.00
5	3.86	0.960	1.299	1.000	0.000	0.751	0.137	0.00
6	4.38	0.760	1.106	1.000	0.000	0.572	0.360	0.00
7	4.64	1.190	1.598	1.000	0.000	0.901	0.162	0.00
8	5.40	1.390	1.862	0.970	0.000	1.051	0.188	0.00
9	5.54	0.960	1.349	1.000	0.000	0.722	0.461	0.00
10	5.66	0.730	1.152	1.000	0.000	0.542	0.853	0.00
11	6.18	1.600	2.119	0.910	0.000	1.231	0.218	0.00
12	6.84	1.160	1.603	1.000	0.000	0.872	0.547	0.00
13	7.22	0.930	1.393	1.000	0.000	0.693	1.092	0.00
14	7.98	1.370	1.882	1.000	0.000	1.052	0.634	0.00
15	8.90	1.140	1.650	1.000	0.000	0.873	1.297	0.00
16	9.16	1.570	2.127	1.000	0.000	1.202	0.735	0.00
17	10.44	1.340	1.905	1.000	0.000	1.023	1.502	0.00
18	10.84	1.110	1.663	1.000	0.000	0.843	2.534	0.00
19	12.12	1.540	2.150	1.000	0.000	1.173	1.741	0.00
20	12.90	1.320	1.917	1.000	0.000	0.993	2.934	0.00
21	14.82	1.520	2.175	1.000	0.000	1.143	3.401	0.00
22	15.22	1.290	1.949	1.000	0.000	0.974	5.070	0.00
23	15.36	1.950	2.672	1.000	0.000	1.513	2.185	0.00
24	17.54	1.490	2.214	1.000	0.000	1.144	5.876	0.00
25	18.96	1.930	2.696	1.000	0.000	1.483	4.267	0.00
26	22.32	1.910	2.717	1.000	0.000	1.454	7.374	0.00
27	22.96	2.330	3.212	1.000	0.000	1.813	5.068	0.00
28	27.22	2.350	3.257	1.000	0.000	1.784	8.757	0.00
29	31.36	2.300	3.263	1.000	0.000	1.754	13.906	0.00
30	35.48	2.270	3.276	1.000	0.000	1.725	20.757	0.00
31	36.90	3.150	4.282	1.000	0.000	2.424	11.753	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	42.70	3.120	4.295	1.000	0.000	2.394	18.663	0.00
33	48.38	3.100	4.317	1.000	0.000	2.365	27.858	0.00
34	53.94	3.070	4.340	1.000	0.000	2.356	39.665	0.00
35	56.26	4.770	6.338	0.910	0.000	3.694	17.514	0.00
36	59.48	3.060	4.372	1.000	0.000	2.326	54.410	0.00
37	61.30	3.920	5.341	1.000	0.000	2.995	34.686	0.00
38	65.30	4.750	6.354	0.970	0.000	3.664	27.811	0.00
39	68.52	3.880	5.369	1.000	0.000	2.996	49.387	0.00
40	74.20	4.730	6.369	1.000	0.000	3.635	41.514	0.00
41	75.62	3.870	5.395	1.000	0.000	2.966	67.746	0.00
42	82.58	3.850	5.416	1.000	0.000	2.937	90.170	0.00
43	82.96	4.710	6.404	1.000	0.000	3.626	59.109	0.00
44	89.54	3.820	5.431	1.000	0.000	2.908	117.065	0.00
45	91.74	4.690	6.421	1.000	0.000	3.596	81.082	0.00
46	100.00	6.360	8.448	0.910	0.000	4.925	55.443	0.00
47	100.38	4.660	6.454	1.000	0.000	3.577	107.920	0.00
48	108.90	4.640	6.480	1.000	0.000	3.567	140.109	0.00
49	112.00	6.340	8.467	0.960	0.000	4.896	78.941	0.00
50	117.30	4.620	6.500	1.000	0.000	3.538	178.137	0.00
51	124.00	6.310	8.480	1.000	0.000	4.866	108.287	0.00
52	125.54	4.600	6.519	1.000	0.000	3.509	222.489	0.00
53	135.88	6.290	8.503	1.000	0.000	4.847	144.130	0.00
54	147.62	6.270	8.534	1.000	0.000	4.838	187.120	0.00
55	159.22	6.250	8.553	1.000	0.000	4.808	237.906	0.00
56	170.70	6.230	8.574	1.000	0.000	4.779	297.139	0.00
57	182.20	6.210	8.591	1.000	0.000	4.749	365.468	0.00
58	193.54	6.190	8.633	1.000	0.000	4.750	443.543	0.00

ele.	composição da barra
1	seção duplo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção duplo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção duplo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção duplo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção duplo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção duplo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção duplo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção duplo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção duplo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção duplo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra
32	seção duplo "L" 4" x 4" x 7/16"
33	seção duplo "L" 4" x 4" x 1/2"
34	seção duplo "L" 4" x 4" x 9/16"
35	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/8"
36	seção duplo "L" 4" x 4" x 5/8"
37	seção duplo "L" 5" x 5" x 1/2"
38	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/16"
39	seção duplo "L" 5" x 5" x 9/16"
40	seção duplo "L" 6" x 6" x 1/2"
41	seção duplo "L" 5" x 5" x 5/8"
42	seção duplo "L" 5" x 5" x 11/16"
43	seção duplo "L" 6" x 6" x 9/16"
44	seção duplo "L" 5" x 5" x 3/4"
45	seção duplo "L" 6" x 6" x 5/8"
46	seção duplo "L" 8" x 8" x 1/2"
47	seção duplo "L" 6" x 6" x 11/16"
48	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/4"
49	seção duplo "L" 8" x 8" x 9/16"
50	seção duplo "L" 6" x 6" x 13/16"
51	seção duplo "L" 8" x 8" x 5/8"
52	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/8"
53	seção duplo "L" 8" x 8" x 11/16"
54	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/4"
55	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/16"
56	seção duplo "L" 8" x 8" x 7/8"
57	seção duplo "L" 8" x 8" x 15/16"
58	seção duplo "L" 8" x 8" x 1"

número da tabela = 72

distância livre entre perfis = 1/8"

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	1.92	0.450	0.810	1.000	0.000	0.351	0.068	0.00
2	2.32	0.580	0.930	1.000	0.000	0.421	0.081	0.00
3	2.70	0.660	1.049	1.000	0.000	0.501	0.094	0.00
4	2.96	0.760	1.185	1.000	0.000	0.601	0.107	0.00
5	3.86	0.960	1.415	1.000	0.000	0.751	0.137	0.00
6	4.38	0.760	1.227	1.000	0.000	0.572	0.360	0.00
7	4.64	1.190	1.708	1.000	0.000	0.901	0.162	0.00
8	5.40	1.390	1.969	0.970	0.000	1.051	0.188	0.00
9	5.54	0.960	1.466	1.000	0.000	0.722	0.461	0.00
10	5.66	0.730	1.275	1.000	0.000	0.542	0.853	0.00
11	6.18	1.600	2.226	0.910	0.000	1.231	0.218	0.00
12	6.84	1.160	1.716	1.000	0.000	0.872	0.547	0.00
13	7.22	0.930	1.512	1.000	0.000	0.693	1.092	0.00
14	7.98	1.370	1.994	1.000	0.000	1.052	0.634	0.00
15	8.90	1.140	1.768	1.000	0.000	0.873	1.297	0.00
16	9.16	1.570	2.238	1.000	0.000	1.202	0.735	0.00
17	10.44	1.340	2.020	1.000	0.000	1.023	1.502	0.00
18	10.84	1.110	1.784	1.000	0.000	0.843	2.534	0.00
19	12.12	1.540	2.263	1.000	0.000	1.173	1.741	0.00
20	12.90	1.320	2.035	1.000	0.000	0.993	2.934	0.00
21	14.82	1.520	2.290	1.000	0.000	1.143	3.401	0.00
22	15.22	1.290	2.070	1.000	0.000	0.974	5.070	0.00
23	15.36	1.950	2.783	1.000	0.000	1.513	2.185	0.00
24	17.54	1.490	2.333	1.000	0.000	1.144	5.876	0.00
25	18.96	1.930	2.809	1.000	0.000	1.483	4.267	0.00
26	22.32	1.910	2.832	1.000	0.000	1.454	7.374	0.00
27	22.96	2.330	3.324	1.000	0.000	1.813	5.068	0.00
28	27.22	2.350	3.370	1.000	0.000	1.784	8.757	0.00
29	31.36	2.300	3.377	1.000	0.000	1.754	13.906	0.00
30	35.48	2.270	3.392	1.000	0.000	1.725	20.757	0.00
31	36.90	3.150	4.391	1.000	0.000	2.424	11.753	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	42.70	3.120	4.406	1.000	0.000	2.394	18.663	0.00
33	48.38	3.100	4.429	1.000	0.000	2.365	27.858	0.00
34	53.94	3.070	4.454	1.000	0.000	2.356	39.665	0.00
35	56.26	4.770	6.444	0.910	0.000	3.694	17.514	0.00
36	59.48	3.060	4.486	1.000	0.000	2.326	54.410	0.00
37	61.30	3.920	5.450	1.000	0.000	2.995	34.686	0.00
38	65.30	4.750	6.460	0.970	0.000	3.664	27.811	0.00
39	68.52	3.880	5.480	1.000	0.000	2.996	49.387	0.00
40	74.20	4.730	6.476	1.000	0.000	3.635	41.514	0.00
41	75.62	3.870	5.507	1.000	0.000	2.966	67.746	0.00
42	82.58	3.850	5.529	1.000	0.000	2.937	90.170	0.00
43	82.96	4.710	6.513	1.000	0.000	3.626	59.109	0.00
44	89.54	3.820	5.545	1.000	0.000	2.908	117.065	0.00
45	91.74	4.690	6.531	1.000	0.000	3.596	81.082	0.00
46	100.00	6.360	8.553	0.910	0.000	4.925	55.443	0.00
47	100.38	4.660	6.564	1.000	0.000	3.577	107.920	0.00
48	108.90	4.640	6.592	1.000	0.000	3.567	140.109	0.00
49	112.00	6.340	8.573	0.960	0.000	4.896	78.941	0.00
50	117.30	4.620	6.612	1.000	0.000	3.538	178.137	0.00
51	124.00	6.310	8.587	1.000	0.000	4.866	108.287	0.00
52	125.54	4.600	6.632	1.000	0.000	3.509	222.489	0.00
53	135.88	6.290	8.610	1.000	0.000	4.847	144.130	0.00
54	147.62	6.270	8.642	1.000	0.000	4.838	187.120	0.00
55	159.22	6.250	8.663	1.000	0.000	4.808	237.906	0.00
56	170.70	6.230	8.684	1.000	0.000	4.779	297.139	0.00
57	182.20	6.210	8.701	1.000	0.000	4.749	365.468	0.00
58	193.54	6.190	8.744	1.000	0.000	4.750	443.543	0.00

ele.	composição da barra
1	seção duplo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção duplo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção duplo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção duplo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção duplo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção duplo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção duplo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção duplo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção duplo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção duplo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra	
32	seção duplo "L"	4" x 4" x 7/16"
33	seção duplo "L"	4" x 4" x 1/2"
34	seção duplo "L"	4" x 4" x 9/16"
35	seção duplo "L"	6" x 6" x 3/8"
36	seção duplo "L"	4" x 4" x 5/8"
37	seção duplo "L"	5" x 5" x 1/2"
38	seção duplo "L"	6" x 6" x 7/16"
39	seção duplo "L"	5" x 5" x 9/16"
40	seção duplo "L"	6" x 6" x 1/2"
41	seção duplo "L"	5" x 5" x 5/8"
42	seção duplo "L"	5" x 5" x 11/16"
43	seção duplo "L"	6" x 6" x 9/16"
44	seção duplo "L"	5" x 5" x 3/4"
45	seção duplo "L"	6" x 6" x 5/8"
46	seção duplo "L"	8" x 8" x 1/2"
47	seção duplo "L"	6" x 6" x 11/16"
48	seção duplo "L"	6" x 6" x 3/4"
49	seção duplo "L"	8" x 8" x 9/16"
50	seção duplo "L"	6" x 6" x 13/16"
51	seção duplo "L"	8" x 8" x 5/8"
52	seção duplo "L"	6" x 6" x 7/8"
53	seção duplo "L"	8" x 8" x 11/16"
54	seção duplo "L"	8" x 8" x 3/4"
55	seção duplo "L"	8" x 8" x 3/16"
56	seção duplo "L"	8" x 8" x 7/8"
57	seção duplo "L"	8" x 8" x 15/16"
58	seção duplo "L"	8" x 8" x 1"

número da tabela = 73

distância livre entre perfis = 5/32''

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	1.92	0.450	0.843	1.000	0.000	0.351	0.068	0.00
2	2.32	0.580	0.962	1.000	0.000	0.421	0.081	0.00
3	2.70	0.660	1.080	1.000	0.000	0.501	0.094	0.00
4	2.96	0.760	1.216	1.000	0.000	0.601	0.107	0.00
5	3.86	0.960	1.445	1.000	0.000	0.751	0.137	0.00
6	4.38	0.760	1.258	1.000	0.000	0.572	0.360	0.00
7	4.64	1.190	1.736	1.000	0.000	0.901	0.162	0.00
8	5.40	1.390	1.997	0.970	0.000	1.051	0.188	0.00
9	5.54	0.960	1.497	1.000	0.000	0.722	0.461	0.00
10	5.66	0.730	1.306	1.000	0.000	0.542	0.853	0.00
11	6.18	1.600	2.254	0.910	0.000	1.231	0.218	0.00
12	6.84	1.160	1.746	1.000	0.000	0.872	0.547	0.00
13	7.22	0.930	1.543	1.000	0.000	0.693	1.092	0.00
14	7.98	1.370	2.023	1.000	0.000	1.052	0.634	0.00
15	8.90	1.140	1.799	1.000	0.000	0.873	1.297	0.00
16	9.16	1.570	2.266	1.000	0.000	1.202	0.735	0.00
17	10.44	1.340	2.049	1.000	0.000	1.023	1.502	0.00
18	10.84	1.110	1.815	1.000	0.000	0.843	2.534	0.00
19	12.12	1.540	2.292	1.000	0.000	1.173	1.741	0.00
20	12.90	1.320	2.065	1.000	0.000	0.993	2.934	0.00
21	14.82	1.520	2.320	1.000	0.000	1.143	3.401	0.00
22	15.22	1.290	2.101	1.000	0.000	0.974	5.070	0.00
23	15.36	1.950	2.811	1.000	0.000	1.513	2.185	0.00
24	17.54	1.490	2.363	1.000	0.000	1.144	5.876	0.00
25	18.96	1.930	2.838	1.000	0.000	1.483	4.267	0.00
26	22.32	1.910	2.861	1.000	0.000	1.454	7.374	0.00
27	22.96	2.330	3.352	1.000	0.000	1.813	5.068	0.00
28	27.22	2.350	3.398	1.000	0.000	1.784	8.757	0.00
29	31.36	2.300	3.407	1.000	0.000	1.754	13.906	0.00
30	35.48	2.270	3.422	1.000	0.000	1.725	20.757	0.00
31	36.90	3.150	4.419	1.000	0.000	2.424	11.753	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	42.70	3.120	4.434	1.000	0.000	2.394	18.663	0.00
33	48.38	3.100	4.457	1.000	0.000	2.365	27.858	0.00
34	53.94	3.070	4.483	1.000	0.000	2.356	39.665	0.00
35	56.26	4.770	6.471	0.910	0.000	3.694	17.514	0.00
36	59.48	3.060	4.516	1.000	0.000	2.326	54.410	0.00
37	61.30	3.920	5.477	1.000	0.000	2.995	34.686	0.00
38	65.30	4.750	6.487	0.970	0.000	3.664	27.811	0.00
39	68.52	3.880	5.508	1.000	0.000	2.996	49.387	0.00
40	74.20	4.730	6.503	1.000	0.000	3.635	41.514	0.00
41	75.62	3.870	5.535	1.000	0.000	2.966	67.746	0.00
42	82.58	3.850	5.558	1.000	0.000	2.937	90.170	0.00
43	82.96	4.710	6.540	1.000	0.000	3.626	59.109	0.00
44	89.54	3.820	5.574	1.000	0.000	2.908	117.065	0.00
45	91.74	4.690	6.558	1.000	0.000	3.596	81.082	0.00
46	100.00	6.360	8.580	0.910	0.000	4.925	55.443	0.00
47	100.38	4.660	6.592	1.000	0.000	3.577	107.920	0.00
48	108.90	4.640	6.620	1.000	0.000	3.567	140.109	0.00
49	112.00	6.340	8.599	0.960	0.000	4.896	78.941	0.00
50	117.30	4.620	6.641	1.000	0.000	3.538	178.137	0.00
51	124.00	6.310	8.614	1.000	0.000	4.866	108.287	0.00
52	125.54	4.600	6.661	1.000	0.000	3.509	222.489	0.00
53	135.88	6.290	8.637	1.000	0.000	4.847	144.130	0.00
54	147.62	6.270	8.670	1.000	0.000	4.838	187.120	0.00
55	159.22	6.250	8.690	1.000	0.000	4.808	237.906	0.00
56	170.70	6.230	8.711	1.000	0.000	4.779	297.139	0.00
57	182.20	6.210	8.729	1.000	0.000	4.749	365.468	0.00
58	193.54	6.190	8.772	1.000	0.000	4.750	443.543	0.00

ele.	composição da barra
1	seção duplo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção duplo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção duplo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção duplo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção duplo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção duplo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção duplo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção duplo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção duplo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção duplo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra
32	seção duplo "L" 4" x 4" x 7/16"
33	seção duplo "L" 4" x 4" x 1/2"
34	seção duplo "L" 4" x 4" x 9/16"
35	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/8"
36	seção duplo "L" 4" x 4" x 5/8"
37	seção duplo "L" 5" x 5" x 1/2"
38	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/16"
39	seção duplo "L" 5" x 5" x 9/16"
40	seção duplo "L" 6" x 6" x 1/2"
41	seção duplo "L" 5" x 5" x 5/8"
42	seção duplo "L" 5" x 5" x 11/16"
43	seção duplo "L" 6" x 6" x 9/16"
44	seção duplo "L" 5" x 5" x 3/4"
45	seção duplo "L" 6" x 6" x 5/8"
46	seção duplo "L" 8" x 8" x 1/2"
47	seção duplo "L" 6" x 6" x 11/16"
48	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/4"
49	seção duplo "L" 8" x 8" x 9/16"
50	seção duplo "L" 6" x 6" x 13/16"
51	seção duplo "L" 8" x 8" x 5/8"
52	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/8"
53	seção duplo "L" 8" x 8" x 11/16"
54	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/4"
55	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/16"
56	seção duplo "L" 8" x 8" x 7/8"
57	seção duplo "L" 8" x 8" x 15/16"
58	seção duplo "L" 8" x 8" x 1"

número da tabela = 74

distância livre entre perfis = 3/16"

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	1.92	0.450	0.876	1.000	0.000	0.351	0.068	0.00
2	2.32	0.580	0.994	1.000	0.000	0.421	0.081	0.00
3	2.70	0.660	1.112	1.000	0.000	0.501	0.094	0.00
4	2.96	0.760	1.248	1.000	0.000	0.601	0.107	0.00
5	3.86	0.960	1.476	1.000	0.000	0.751	0.137	0.00
6	4.38	0.760	1.290	1.000	0.000	0.572	0.360	0.00
7	4.64	1.190	1.765	1.000	0.000	0.901	0.162	0.00
8	5.40	1.390	2.025	0.970	0.000	1.051	0.188	0.00
9	5.54	0.960	1.528	1.000	0.000	0.722	0.461	0.00
10	5.66	0.730	1.339	1.000	0.000	0.542	0.853	0.00
11	6.18	1.600	2.282	0.910	0.000	1.231	0.218	0.00
12	6.84	1.160	1.776	1.000	0.000	0.872	0.547	0.00
13	7.22	0.930	1.574	1.000	0.000	0.693	1.092	0.00
14	7.98	1.370	2.052	1.000	0.000	1.052	0.634	0.00
15	8.90	1.140	1.830	1.000	0.000	0.873	1.297	0.00
16	9.16	1.570	2.295	1.000	0.000	1.202	0.735	0.00
17	10.44	1.340	2.079	1.000	0.000	1.023	1.502	0.00
18	10.84	1.110	1.847	1.000	0.000	0.843	2.534	0.00
19	12.12	1.540	2.321	1.000	0.000	1.173	1.741	0.00
20	12.90	1.320	2.096	1.000	0.000	0.993	2.934	0.00
21	14.82	1.520	2.350	1.000	0.000	1.143	3.401	0.00
22	15.22	1.290	2.132	1.000	0.000	0.974	5.070	0.00
23	15.36	1.950	2.840	1.000	0.000	1.513	2.185	0.00
24	17.54	1.490	2.394	1.000	0.000	1.144	5.876	0.00
25	18.96	1.930	2.867	1.000	0.000	1.483	4.267	0.00
26	22.32	1.910	2.891	1.000	0.000	1.454	7.374	0.00
27	22.96	2.330	3.381	1.000	0.000	1.813	5.068	0.00
28	27.22	2.350	3.427	1.000	0.000	1.784	8.757	0.00
29	31.36	2.300	3.436	1.000	0.000	1.754	13.906	0.00
30	35.48	2.270	3.452	1.000	0.000	1.725	20.757	0.00
31	36.90	3.150	4.447	1.000	0.000	2.424	11.753	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	42.70	3.120	4.462	1.000	0.000	2.394	18.663	0.00
33	48.38	3.100	4.486	1.000	0.000	2.365	27.858	0.00
34	53.94	3.070	4.512	1.000	0.000	2.356	39.665	0.00
35	56.26	4.770	6.498	0.910	0.000	3.694	17.514	0.00
36	59.48	3.060	4.545	1.000	0.000	2.326	54.410	0.00
37	61.30	3.920	5.505	1.000	0.000	2.995	34.686	0.00
38	65.30	4.750	6.514	0.970	0.000	3.664	27.811	0.00
39	68.52	3.880	5.536	1.000	0.000	2.996	49.387	0.00
40	74.20	4.730	6.531	1.000	0.000	3.635	41.514	0.00
41	75.62	3.870	5.564	1.000	0.000	2.966	67.746	0.00
42	82.58	3.850	5.586	1.000	0.000	2.937	90.170	0.00
43	82.96	4.710	6.568	1.000	0.000	3.626	59.109	0.00
44	89.54	3.820	5.603	1.000	0.000	2.908	117.065	0.00
45	91.74	4.690	6.586	1.000	0.000	3.596	81.082	0.00
46	100.00	6.360	8.607	0.910	0.000	4.925	55.443	0.00
47	100.38	4.660	6.620	1.000	0.000	3.577	107.920	0.00
48	108.90	4.640	6.648	1.000	0.000	3.567	140.109	0.00
49	112.00	6.340	8.626	0.960	0.000	4.896	78.941	0.00
50	117.30	4.620	6.669	1.000	0.000	3.538	178.137	0.00
51	124.00	6.310	8.641	1.000	0.000	4.866	108.287	0.00
52	125.54	4.600	6.690	1.000	0.000	3.509	222.489	0.00
53	135.88	6.290	8.665	1.000	0.000	4.847	144.130	0.00
54	147.62	6.270	8.697	1.000	0.000	4.838	187.120	0.00
55	159.22	6.250	8.718	1.000	0.000	4.808	237.906	0.00
56	170.70	6.230	8.739	1.000	0.000	4.779	297.139	0.00
57	182.20	6.210	8.757	1.000	0.000	4.749	365.468	0.00
58	193.54	6.190	8.800	1.000	0.000	4.750	443.543	0.00

ele.	composição da barra
1	seção duplo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção duplo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção duplo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção duplo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção duplo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção duplo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção duplo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção duplo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção duplo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção duplo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra
32	seção duplo "L" 4" x 4" x 7/16"
33	seção duplo "L" 4" x 4" x 1/2"
34	seção duplo "L" 4" x 4" x 9/16"
35	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/8"
36	seção duplo "L" 4" x 4" x 5/8"
37	seção duplo "L" 5" x 5" x 1/2"
38	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/16"
39	seção duplo "L" 5" x 5" x 9/16"
40	seção duplo "L" 6" x 6" x 1/2"
41	seção duplo "L" 5" x 5" x 5/8"
42	seção duplo "L" 5" x 5" x 11/16"
43	seção duplo "L" 6" x 6" x 9/16"
44	seção duplo "L" 5" x 5" x 3/4"
45	seção duplo "L" 6" x 6" x 5/8"
46	seção duplo "L" 8" x 8" x 1/2"
47	seção duplo "L" 6" x 6" x 11/16"
48	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/4"
49	seção duplo "L" 8" x 8" x 9/16"
50	seção duplo "L" 6" x 6" x 13/16"
51	seção duplo "L" 8" x 8" x 5/8"
52	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/8"
53	seção duplo "L" 8" x 8" x 11/16"
54	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/4"
55	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/16"
56	seção duplo "L" 8" x 8" x 7/8"
57	seção duplo "L" 8" x 8" x 15/16"
58	seção duplo "L" 8" x 8" x 1"

número da tabela = 75

distância livre entre perfis = 1/4"

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	1.92	0.450	0.945	1.000	0.000	0.351	0.068	0.00
2	2.32	0.580	1.060	1.000	0.000	0.421	0.081	0.00
3	2.70	0.660	1.177	1.000	0.000	0.501	0.094	0.00
4	2.96	0.760	1.312	1.000	0.000	0.601	0.107	0.00
5	3.86	0.960	1.538	1.000	0.000	0.751	0.137	0.00
6	4.38	0.760	1.356	1.000	0.000	0.572	0.360	0.00
7	4.64	1.190	1.824	1.000	0.000	0.901	0.162	0.00
8	5.40	1.390	2.083	0.970	0.000	1.051	0.188	0.00
9	5.54	0.960	1.591	1.000	0.000	0.722	0.461	0.00
10	5.66	0.730	1.405	1.000	0.000	0.542	0.853	0.00
11	6.18	1.600	2.339	0.910	0.000	1.231	0.218	0.00
12	6.84	1.160	1.837	1.000	0.000	0.872	0.547	0.00
13	7.22	0.930	1.638	1.000	0.000	0.693	1.092	0.00
14	7.98	1.370	2.112	1.000	0.000	1.052	0.634	0.00
15	8.90	1.140	1.892	1.000	0.000	0.873	1.297	0.00
16	9.16	1.570	2.354	1.000	0.000	1.202	0.735	0.00
17	10.44	1.340	2.140	1.000	0.000	1.023	1.502	0.00
18	10.84	1.110	1.911	1.000	0.000	0.843	2.534	0.00
19	12.12	1.540	2.381	1.000	0.000	1.173	1.741	0.00
20	12.90	1.320	2.158	1.000	0.000	0.993	2.934	0.00
21	14.82	1.520	2.410	1.000	0.000	1.143	3.401	0.00
22	15.22	1.290	2.195	1.000	0.000	0.974	5.070	0.00
23	15.36	1.950	2.898	1.000	0.000	1.513	2.185	0.00
24	17.54	1.490	2.456	1.000	0.000	1.144	5.876	0.00
25	18.96	1.930	2.926	1.000	0.000	1.483	4.267	0.00
26	22.32	1.910	2.951	1.000	0.000	1.454	7.374	0.00
27	22.96	2.330	3.439	1.000	0.000	1.813	5.068	0.00
28	27.22	2.350	3.485	1.000	0.000	1.784	8.757	0.00
29	31.36	2.300	3.495	1.000	0.000	1.754	13.906	0.00
30	35.48	2.270	3.512	1.000	0.000	1.725	20.757	0.00
31	36.90	3.150	4.503	1.000	0.000	2.424	11.753	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	42.70	3.120	4.519	1.000	0.000	2.394	18.663	0.00
33	48.38	3.100	4.543	1.000	0.000	2.365	27.858	0.00
34	53.94	3.070	4.570	1.000	0.000	2.356	39.665	0.00
35	56.26	4.770	6.552	0.910	0.000	3.694	17.514	0.00
36	59.48	3.060	4.604	1.000	0.000	2.326	54.410	0.00
37	61.30	3.920	5.561	1.000	0.000	2.995	34.686	0.00
38	65.30	4.750	6.569	0.970	0.000	3.664	27.811	0.00
39	68.52	3.880	5.593	1.000	0.000	2.996	49.387	0.00
40	74.20	4.730	6.586	1.000	0.000	3.635	41.514	0.00
41	75.62	3.870	5.621	1.000	0.000	2.966	67.746	0.00
42	82.58	3.850	5.644	1.000	0.000	2.937	90.170	0.00
43	82.96	4.710	6.623	1.000	0.000	3.626	59.109	0.00
44	89.54	3.820	5.661	1.000	0.000	2.908	117.065	0.00
45	91.74	4.690	6.642	1.000	0.000	3.596	81.082	0.00
46	100.00	6.360	8.660	0.910	0.000	4.925	55.443	0.00
47	100.38	4.660	6.677	1.000	0.000	3.577	107.920	0.00
48	108.90	4.640	6.705	1.000	0.000	3.567	140.109	0.00
49	112.00	6.340	8.680	0.960	0.000	4.896	78.941	0.00
50	117.30	4.620	6.727	1.000	0.000	3.538	178.137	0.00
51	124.00	6.310	8.695	1.000	0.000	4.866	108.287	0.00
52	125.54	4.600	6.748	1.000	0.000	3.509	222.489	0.00
53	135.88	6.290	8.719	1.000	0.000	4.847	144.130	0.00
54	147.62	6.270	8.753	1.000	0.000	4.838	187.120	0.00
55	159.22	6.250	8.773	1.000	0.000	4.808	237.906	0.00
56	170.70	6.230	8.795	1.000	0.000	4.779	297.139	0.00
57	182.20	6.210	8.813	1.000	0.000	4.749	365.468	0.00
58	193.54	6.190	8.857	1.000	0.000	4.750	443.543	0.00

ele.	composição da barra
1	seção duplo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção duplo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção duplo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção duplo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção duplo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção duplo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção duplo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção duplo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção duplo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção duplo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra	
32	seção duplo "L"	4" x 4" x 7/16"
33	seção duplo "L"	4" x 4" x 1/2"
34	seção duplo "L"	4" x 4" x 9/16"
35	seção duplo "L"	6" x 6" x 3/8"
36	seção duplo "L"	4" x 4" x 5/8"
37	seção duplo "L"	5" x 5" x 1/2"
38	seção duplo "L"	6" x 6" x 7/16"
39	seção duplo "L"	5" x 5" x 9/16"
40	seção duplo "L"	6" x 6" x 1/2"
41	seção duplo "L"	5" x 5" x 5/8"
42	seção duplo "L"	5" x 5" x 11/16"
43	seção duplo "L"	6" x 6" x 9/16"
44	seção duplo "L"	5" x 5" x 3/4"
45	seção duplo "L"	6" x 6" x 5/8"
46	seção duplo "L"	8" x 8" x 1/2"
47	seção duplo "L"	6" x 6" x 11/16"
48	seção duplo "L"	6" x 6" x 3/4"
49	seção duplo "L"	8" x 8" x 9/16"
50	seção duplo "L"	6" x 6" x 13/16"
51	seção duplo "L"	8" x 8" x 5/8"
52	seção duplo "L"	6" x 6" x 7/8"
53	seção duplo "L"	8" x 8" x 11/16"
54	seção duplo "L"	8" x 8" x 3/4"
55	seção duplo "L"	8" x 8" x 3/16"
56	seção duplo "L"	8" x 8" x 7/8"
57	seção duplo "L"	8" x 8" x 15/16"
58	seção duplo "L"	8" x 8" x 1"

número da tabela = 76

distância livre entre perfis = 5/16''

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	1.92	0.450	1.015	1.000	0.000	0.351	0.068	0.00
2	2.32	0.580	1.128	1.000	0.000	0.421	0.081	0.00
3	2.70	0.660	1.244	1.000	0.000	0.501	0.094	0.00
4	2.96	0.760	1.378	1.000	0.000	0.601	0.107	0.00
5	3.86	0.960	1.603	1.000	0.000	0.751	0.137	0.00
6	4.38	0.760	1.422	1.000	0.000	0.572	0.360	0.00
7	4.64	1.190	1.885	1.000	0.000	0.901	0.162	0.00
8	5.40	1.390	2.141	0.970	0.000	1.051	0.188	0.00
9	5.54	0.960	1.655	1.000	0.000	0.722	0.461	0.00
10	5.66	0.730	1.472	1.000	0.000	0.542	0.853	0.00
11	6.18	1.600	2.398	0.910	0.000	1.231	0.218	0.00
12	6.84	1.160	1.899	1.000	0.000	0.872	0.547	0.00
13	7.22	0.930	1.703	1.000	0.000	0.693	1.092	0.00
14	7.98	1.370	2.173	1.000	0.000	1.052	0.634	0.00
15	8.90	1.140	1.956	1.000	0.000	0.873	1.297	0.00
16	9.16	1.570	2.414	1.000	0.000	1.202	0.735	0.00
17	10.44	1.340	2.202	1.000	0.000	1.023	1.502	0.00
18	10.84	1.110	1.976	1.000	0.000	0.843	2.534	0.00
19	12.12	1.540	2.442	1.000	0.000	1.173	1.741	0.00
20	12.90	1.320	2.221	1.000	0.000	0.993	2.934	0.00
21	14.82	1.520	2.472	1.000	0.000	1.143	3.401	0.00
22	15.22	1.290	2.260	1.000	0.000	0.974	5.070	0.00
23	15.36	1.950	2.958	1.000	0.000	1.513	2.185	0.00
24	17.54	1.490	2.519	1.000	0.000	1.144	5.876	0.00
25	18.96	1.930	2.986	1.000	0.000	1.483	4.267	0.00
26	22.32	1.910	3.012	1.000	0.000	1.454	7.374	0.00
27	22.96	2.330	3.497	1.000	0.000	1.813	5.068	0.00
28	27.22	2.350	3.544	1.000	0.000	1.784	8.757	0.00
29	31.36	2.300	3.555	1.000	0.000	1.754	13.906	0.00
30	35.48	2.270	3.573	1.000	0.000	1.725	20.757	0.00
31	36.90	3.150	4.560	1.000	0.000	2.424	11.753	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	42.70	3.120	4.577	1.000	0.000	2.394	18.663	0.00
33	48.38	3.100	4.602	1.000	0.000	2.365	27.858	0.00
34	53.94	3.070	4.630	1.000	0.000	2.356	39.665	0.00
35	56.26	4.770	6.606	0.910	0.000	3.694	17.514	0.00
36	59.48	3.060	4.663	1.000	0.000	2.326	54.410	0.00
37	61.30	3.920	5.618	1.000	0.000	2.995	34.686	0.00
38	65.30	4.750	6.624	0.970	0.000	3.664	27.811	0.00
39	68.52	3.880	5.651	1.000	0.000	2.996	49.387	0.00
40	74.20	4.730	6.641	1.000	0.000	3.635	41.514	0.00
41	75.62	3.870	5.679	1.000	0.000	2.966	67.746	0.00
42	82.58	3.850	5.702	1.000	0.000	2.937	90.170	0.00
43	82.96	4.710	6.679	1.000	0.000	3.626	59.109	0.00
44	89.54	3.820	5.720	1.000	0.000	2.908	117.065	0.00
45	91.74	4.690	6.699	1.000	0.000	3.596	81.082	0.00
46	100.00	6.360	8.714	0.910	0.000	4.925	55.443	0.00
47	100.38	4.660	6.733	1.000	0.000	3.577	107.920	0.00
48	108.90	4.640	6.763	1.000	0.000	3.567	140.109	0.00
49	112.00	6.340	8.735	0.960	0.000	4.896	78.941	0.00
50	117.30	4.620	6.785	1.000	0.000	3.538	178.137	0.00
51	124.00	6.310	8.750	1.000	0.000	4.866	108.287	0.00
52	125.54	4.600	6.806	1.000	0.000	3.509	222.489	0.00
53	135.88	6.290	8.775	1.000	0.000	4.847	144.130	0.00
54	147.62	6.270	8.808	1.000	0.000	4.838	187.120	0.00
55	159.22	6.250	8.829	1.000	0.000	4.808	237.906	0.00
56	170.70	6.230	8.851	1.000	0.000	4.779	297.139	0.00
57	182.20	6.210	8.870	1.000	0.000	4.749	365.468	0.00
58	193.54	6.190	8.914	1.000	0.000	4.750	443.543	0.00

ele.	composição da barra
1	seção duplo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção duplo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção duplo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção duplo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção duplo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção duplo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção duplo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção duplo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção duplo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção duplo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra
32	seção duplo "L" 4" x 4" x 7/16"
33	seção duplo "L" 4" x 4" x 1/2"
34	seção duplo "L" 4" x 4" x 9/16"
35	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/8"
36	seção duplo "L" 4" x 4" x 5/8"
37	seção duplo "L" 5" x 5" x 1/2"
38	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/16"
39	seção duplo "L" 5" x 5" x 9/16"
40	seção duplo "L" 6" x 6" x 1/2"
41	seção duplo "L" 5" x 5" x 5/8"
42	seção duplo "L" 5" x 5" x 11/16"
43	seção duplo "L" 6" x 6" x 9/16"
44	seção duplo "L" 5" x 5" x 3/4"
45	seção duplo "L" 6" x 6" x 5/8"
46	seção duplo "L" 8" x 8" x 1/2"
47	seção duplo "L" 6" x 6" x 11/16"
48	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/4"
49	seção duplo "L" 8" x 8" x 9/16"
50	seção duplo "L" 6" x 6" x 13/16"
51	seção duplo "L" 8" x 8" x 5/8"
52	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/8"
53	seção duplo "L" 8" x 8" x 11/16"
54	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/4"
55	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/16"
56	seção duplo "L" 8" x 8" x 7/8"
57	seção duplo "L" 8" x 8" x 15/16"
58	seção duplo "L" 8" x 8" x 1"

número da tabela = 77

distância livre entre perfis = 3/8"

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	1.92	0.450	1.087	1.000	0.000	0.351	0.068	0.00
2	2.32	0.580	1.198	1.000	0.000	0.421	0.081	0.00
3	2.70	0.660	1.312	1.000	0.000	0.501	0.094	0.00
4	2.96	0.760	1.445	1.000	0.000	0.601	0.107	0.00
5	3.86	0.960	1.668	1.000	0.000	0.751	0.137	0.00
6	4.38	0.760	1.490	1.000	0.000	0.572	0.360	0.00
7	4.64	1.190	1.947	1.000	0.000	0.901	0.162	0.00
8	5.40	1.390	2.202	0.970	0.000	1.051	0.188	0.00
9	5.54	0.960	1.721	1.000	0.000	0.722	0.461	0.00
10	5.66	0.730	1.540	1.000	0.000	0.542	0.853	0.00
11	6.18	1.600	2.458	0.910	0.000	1.231	0.218	0.00
12	6.84	1.160	1.963	1.000	0.000	0.872	0.547	0.00
13	7.22	0.930	1.769	1.000	0.000	0.693	1.092	0.00
14	7.98	1.370	2.235	1.000	0.000	1.052	0.634	0.00
15	8.90	1.140	2.021	1.000	0.000	0.873	1.297	0.00
16	9.16	1.570	2.475	1.000	0.000	1.202	0.735	0.00
17	10.44	1.340	2.265	1.000	0.000	1.023	1.502	0.00
18	10.84	1.110	2.043	1.000	0.000	0.843	2.534	0.00
19	12.12	1.540	2.504	1.000	0.000	1.173	1.741	0.00
20	12.90	1.320	2.286	1.000	0.000	0.993	2.934	0.00
21	14.82	1.520	2.535	1.000	0.000	1.143	3.401	0.00
22	15.22	1.290	2.325	1.000	0.000	0.974	5.070	0.00
23	15.36	1.950	3.018	1.000	0.000	1.513	2.185	0.00
24	17.54	1.490	2.583	1.000	0.000	1.144	5.876	0.00
25	18.96	1.930	3.047	1.000	0.000	1.483	4.267	0.00
26	22.32	1.910	3.073	1.000	0.000	1.454	7.374	0.00
27	22.96	2.330	3.557	1.000	0.000	1.813	5.068	0.00
28	27.22	2.350	3.604	1.000	0.000	1.784	8.757	0.00
29	31.36	2.300	3.616	1.000	0.000	1.754	13.906	0.00
30	35.48	2.270	3.634	1.000	0.000	1.725	20.757	0.00
31	36.90	3.150	4.618	1.000	0.000	2.424	11.753	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	42.70	3.120	4.635	1.000	0.000	2.394	18.663	0.00
33	48.38	3.100	4.661	1.000	0.000	2.365	27.858	0.00
34	53.94	3.070	4.689	1.000	0.000	2.356	39.665	0.00
35	56.26	4.770	6.661	0.910	0.000	3.694	17.514	0.00
36	59.48	3.060	4.723	1.000	0.000	2.326	54.410	0.00
37	61.30	3.920	5.675	1.000	0.000	2.995	34.686	0.00
38	65.30	4.750	6.680	0.970	0.000	3.664	27.811	0.00
39	68.52	3.880	5.709	1.000	0.000	2.996	49.387	0.00
40	74.20	4.730	6.697	1.000	0.000	3.635	41.514	0.00
41	75.62	3.870	5.737	1.000	0.000	2.966	67.746	0.00
42	82.58	3.850	5.761	1.000	0.000	2.937	90.170	0.00
43	82.96	4.710	6.736	1.000	0.000	3.626	59.109	0.00
44	89.54	3.820	5.779	1.000	0.000	2.908	117.065	0.00
45	91.74	4.690	6.756	1.000	0.000	3.596	81.082	0.00
46	100.00	6.360	8.769	0.910	0.000	4.925	55.443	0.00
47	100.38	4.660	6.791	1.000	0.000	3.577	107.920	0.00
48	108.90	4.640	6.821	1.000	0.000	3.567	140.109	0.00
49	112.00	6.340	8.789	0.960	0.000	4.896	78.941	0.00
50	117.30	4.620	6.843	1.000	0.000	3.538	178.137	0.00
51	124.00	6.310	8.805	1.000	0.000	4.866	108.287	0.00
52	125.54	4.600	6.865	1.000	0.000	3.509	222.489	0.00
53	135.88	6.290	8.830	1.000	0.000	4.847	144.130	0.00
54	147.62	6.270	8.864	1.000	0.000	4.838	187.120	0.00
55	159.22	6.250	8.885	1.000	0.000	4.808	237.906	0.00
56	170.70	6.230	8.908	1.000	0.000	4.779	297.139	0.00
57	182.20	6.210	8.927	1.000	0.000	4.749	365.468	0.00
58	193.54	6.190	8.971	1.000	0.000	4.750	443.543	0.00

ele.	composição da barra
1	seção duplo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção duplo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção duplo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção duplo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção duplo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção duplo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção duplo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção duplo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção duplo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção duplo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra
32	seção duplo "L" 4" x 4" x 7/16"
33	seção duplo "L" 4" x 4" x 1/2"
34	seção duplo "L" 4" x 4" x 9/16"
35	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/8"
36	seção duplo "L" 4" x 4" x 5/8"
37	seção duplo "L" 5" x 5" x 1/2"
38	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/16"
39	seção duplo "L" 5" x 5" x 9/16"
40	seção duplo "L" 6" x 6" x 1/2"
41	seção duplo "L" 5" x 5" x 5/8"
42	seção duplo "L" 5" x 5" x 11/16"
43	seção duplo "L" 6" x 6" x 9/16"
44	seção duplo "L" 5" x 5" x 3/4"
45	seção duplo "L" 6" x 6" x 5/8"
46	seção duplo "L" 8" x 8" x 1/2"
47	seção duplo "L" 6" x 6" x 11/16"
48	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/4"
49	seção duplo "L" 8" x 8" x 9/16"
50	seção duplo "L" 6" x 6" x 13/16"
51	seção duplo "L" 8" x 8" x 5/8"
52	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/8"
53	seção duplo "L" 8" x 8" x 11/16"
54	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/4"
55	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/16"
56	seção duplo "L" 8" x 8" x 7/8"
57	seção duplo "L" 8" x 8" x 15/16"
58	seção duplo "L" 8" x 8" x 1"

número da tabela = 78

distância livre entre perfis = 1/2''

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	1.92	0.450	1.233	1.000	0.000	0.351	0.068	0.00
2	2.32	0.580	1.340	1.000	0.000	0.421	0.081	0.00
3	2.70	0.660	1.451	1.000	0.000	0.501	0.094	0.00
4	2.96	0.760	1.583	1.000	0.000	0.601	0.107	0.00
5	3.86	0.960	1.802	1.000	0.000	0.751	0.137	0.00
6	4.38	0.760	1.629	1.000	0.000	0.572	0.360	0.00
7	4.64	1.190	2.075	1.000	0.000	0.901	0.162	0.00
8	5.40	1.390	2.325	0.970	0.000	1.051	0.188	0.00
9	5.54	0.960	1.856	1.000	0.000	0.722	0.461	0.00
10	5.66	0.730	1.680	1.000	0.000	0.542	0.853	0.00
11	6.18	1.600	2.580	0.910	0.000	1.231	0.218	0.00
12	6.84	1.160	2.093	1.000	0.000	0.872	0.547	0.00
13	7.22	0.930	1.904	1.000	0.000	0.693	1.092	0.00
14	7.98	1.370	2.363	1.000	0.000	1.052	0.634	0.00
15	8.90	1.140	2.154	1.000	0.000	0.873	1.297	0.00
16	9.16	1.570	2.600	1.000	0.000	1.202	0.735	0.00
17	10.44	1.340	2.395	1.000	0.000	1.023	1.502	0.00
18	10.84	1.110	2.178	1.000	0.000	0.843	2.534	0.00
19	12.12	1.540	2.630	1.000	0.000	1.173	1.741	0.00
20	12.90	1.320	2.417	1.000	0.000	0.993	2.934	0.00
21	14.82	1.520	2.663	1.000	0.000	1.143	3.401	0.00
22	15.22	1.290	2.458	1.000	0.000	0.974	5.070	0.00
23	15.36	1.950	3.141	1.000	0.000	1.513	2.185	0.00
24	17.54	1.490	2.713	1.000	0.000	1.144	5.876	0.00
25	18.96	1.930	3.172	1.000	0.000	1.483	4.267	0.00
26	22.32	1.910	3.199	1.000	0.000	1.454	7.374	0.00
27	22.96	2.330	3.678	1.000	0.000	1.813	5.068	0.00
28	27.22	2.350	3.726	1.000	0.000	1.784	8.757	0.00
29	31.36	2.300	3.740	1.000	0.000	1.754	13.906	0.00
30	35.48	2.270	3.759	1.000	0.000	1.725	20.757	0.00
31	36.90	3.150	4.735	1.000	0.000	2.424	11.753	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	42.70	3.120	4.754	1.000	0.000	2.394	18.663	0.00
33	48.38	3.100	4.780	1.000	0.000	2.365	27.858	0.00
34	53.94	3.070	4.811	1.000	0.000	2.356	39.665	0.00
35	56.26	4.770	6.773	0.910	0.000	3.694	17.514	0.00
36	59.48	3.060	4.845	1.000	0.000	2.326	54.410	0.00
37	61.30	3.920	5.791	1.000	0.000	2.995	34.686	0.00
38	65.30	4.750	6.792	0.970	0.000	3.664	27.811	0.00
39	68.52	3.880	5.826	1.000	0.000	2.996	49.387	0.00
40	74.20	4.730	6.811	1.000	0.000	3.635	41.514	0.00
41	75.62	3.870	5.856	1.000	0.000	2.966	67.746	0.00
42	82.58	3.850	5.880	1.000	0.000	2.937	90.170	0.00
43	82.96	4.710	6.850	1.000	0.000	3.626	59.109	0.00
44	89.54	3.820	5.899	1.000	0.000	2.908	117.065	0.00
45	91.74	4.690	6.871	1.000	0.000	3.596	81.082	0.00
46	100.00	6.360	8.879	0.910	0.000	4.925	55.443	0.00
47	100.38	4.660	6.907	1.000	0.000	3.577	107.920	0.00
48	108.90	4.640	6.938	1.000	0.000	3.567	140.109	0.00
49	112.00	6.340	8.900	0.960	0.000	4.896	78.941	0.00
50	117.30	4.620	6.961	1.000	0.000	3.538	178.137	0.00
51	124.00	6.310	8.917	1.000	0.000	4.866	108.287	0.00
52	125.54	4.600	6.983	1.000	0.000	3.509	222.489	0.00
53	135.88	6.290	8.942	1.000	0.000	4.847	144.130	0.00
54	147.62	6.270	8.977	1.000	0.000	4.838	187.120	0.00
55	159.22	6.250	8.999	1.000	0.000	4.808	237.906	0.00
56	170.70	6.230	9.022	1.000	0.000	4.779	297.139	0.00
57	182.20	6.210	9.041	1.000	0.000	4.749	365.468	0.00
58	193.54	6.190	9.087	1.000	0.000	4.750	443.543	0.00

ele.	composição da barra
1	seção duplo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção duplo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção duplo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção duplo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção duplo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção duplo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção duplo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção duplo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção duplo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção duplo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra	
32	seção duplo "L"	4" x 4" x 7/16"
33	seção duplo "L"	4" x 4" x 1/2"
34	seção duplo "L"	4" x 4" x 9/16"
35	seção duplo "L"	6" x 6" x 3/8"
36	seção duplo "L"	4" x 4" x 5/8"
37	seção duplo "L"	5" x 5" x 1/2"
38	seção duplo "L"	6" x 6" x 7/16"
39	seção duplo "L"	5" x 5" x 9/16"
40	seção duplo "L"	6" x 6" x 1/2"
41	seção duplo "L"	5" x 5" x 5/8"
42	seção duplo "L"	5" x 5" x 11/16"
43	seção duplo "L"	6" x 6" x 9/16"
44	seção duplo "L"	5" x 5" x 3/4"
45	seção duplo "L"	6" x 6" x 5/8"
46	seção duplo "L"	8" x 8" x 1/2"
47	seção duplo "L"	6" x 6" x 11/16"
48	seção duplo "L"	6" x 6" x 3/4"
49	seção duplo "L"	8" x 8" x 9/16"
50	seção duplo "L"	6" x 6" x 13/16"
51	seção duplo "L"	8" x 8" x 5/8"
52	seção duplo "L"	6" x 6" x 7/8"
53	seção duplo "L"	8" x 8" x 11/16"
54	seção duplo "L"	8" x 8" x 3/4"
55	seção duplo "L"	8" x 8" x 3/16"
56	seção duplo "L"	8" x 8" x 7/8"
57	seção duplo "L"	8" x 8" x 15/16"
58	seção duplo "L"	8" x 8" x 1"

número da tabela = 79

distância livre entre perfis = 5/8''

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

Anexo D

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	1.92	0.450	1.381	1.000	0.000	0.351	0.068	0.00
2	2.32	0.580	1.485	1.000	0.000	0.421	0.081	0.00
3	2.70	0.660	1.595	1.000	0.000	0.501	0.094	0.00
4	2.96	0.760	1.725	1.000	0.000	0.601	0.107	0.00
5	3.86	0.960	1.940	1.000	0.000	0.751	0.137	0.00
6	4.38	0.760	1.772	1.000	0.000	0.572	0.360	0.00
7	4.64	1.190	2.206	1.000	0.000	0.901	0.162	0.00
8	5.40	1.390	2.453	0.970	0.000	1.051	0.188	0.00
9	5.54	0.960	1.994	1.000	0.000	0.722	0.461	0.00
10	5.66	0.730	1.822	1.000	0.000	0.542	0.853	0.00
11	6.18	1.600	2.707	0.910	0.000	1.231	0.218	0.00
12	6.84	1.160	2.227	1.000	0.000	0.872	0.547	0.00
13	7.22	0.930	2.043	1.000	0.000	0.693	1.092	0.00
14	7.98	1.370	2.494	1.000	0.000	1.052	0.634	0.00
15	8.90	1.140	2.290	1.000	0.000	0.873	1.297	0.00
16	9.16	1.570	2.728	1.000	0.000	1.202	0.735	0.00
17	10.44	1.340	2.527	1.000	0.000	1.023	1.502	0.00
18	10.84	1.110	2.316	1.000	0.000	0.843	2.534	0.00
19	12.12	1.540	2.760	1.000	0.000	1.173	1.741	0.00
20	12.90	1.320	2.551	1.000	0.000	0.993	2.934	0.00
21	14.82	1.520	2.794	1.000	0.000	1.143	3.401	0.00
22	15.22	1.290	2.594	1.000	0.000	0.974	5.070	0.00
23	15.36	1.950	3.267	1.000	0.000	1.513	2.185	0.00
24	17.54	1.490	2.847	1.000	0.000	1.144	5.876	0.00
25	18.96	1.930	3.299	1.000	0.000	1.483	4.267	0.00
26	22.32	1.910	3.328	1.000	0.000	1.454	7.374	0.00
27	22.96	2.330	3.802	1.000	0.000	1.813	5.068	0.00
28	27.22	2.350	3.851	1.000	0.000	1.784	8.757	0.00
29	31.36	2.300	3.866	1.000	0.000	1.754	13.906	0.00
30	35.48	2.270	3.887	1.000	0.000	1.725	20.757	0.00
31	36.90	3.150	4.855	1.000	0.000	2.424	11.753	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	42.70	3.120	4.875	1.000	0.000	2.394	18.663	0.00
33	48.38	3.100	4.902	1.000	0.000	2.365	27.858	0.00
34	53.94	3.070	4.934	1.000	0.000	2.356	39.665	0.00
35	56.26	4.770	6.887	0.910	0.000	3.694	17.514	0.00
36	59.48	3.060	4.969	1.000	0.000	2.326	54.410	0.00
37	61.30	3.920	5.909	1.000	0.000	2.995	34.686	0.00
38	65.30	4.750	6.907	0.970	0.000	3.664	27.811	0.00
39	68.52	3.880	5.945	1.000	0.000	2.996	49.387	0.00
40	74.20	4.730	6.926	1.000	0.000	3.635	41.514	0.00
41	75.62	3.870	5.976	1.000	0.000	2.966	67.746	0.00
42	82.58	3.850	6.001	1.000	0.000	2.937	90.170	0.00
43	82.96	4.710	6.967	1.000	0.000	3.626	59.109	0.00
44	89.54	3.820	6.021	1.000	0.000	2.908	117.065	0.00
45	91.74	4.690	6.988	1.000	0.000	3.596	81.082	0.00
46	100.00	6.360	8.990	0.910	0.000	4.925	55.443	0.00
47	100.38	4.660	7.025	1.000	0.000	3.577	107.920	0.00
48	108.90	4.640	7.056	1.000	0.000	3.567	140.109	0.00
49	112.00	6.340	9.012	0.960	0.000	4.896	78.941	0.00
50	117.30	4.620	7.080	1.000	0.000	3.538	178.137	0.00
51	124.00	6.310	9.029	1.000	0.000	4.866	108.287	0.00
52	125.54	4.600	7.104	1.000	0.000	3.509	222.489	0.00
53	135.88	6.290	9.056	1.000	0.000	4.847	144.130	0.00
54	147.62	6.270	9.091	1.000	0.000	4.838	187.120	0.00
55	159.22	6.250	9.114	1.000	0.000	4.808	237.906	0.00
56	170.70	6.230	9.137	1.000	0.000	4.779	297.139	0.00
57	182.20	6.210	9.157	1.000	0.000	4.749	365.468	0.00
58	193.54	6.190	9.204	1.000	0.000	4.750	443.543	0.00

ele.	composição da barra
1	seção duplo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção duplo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção duplo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção duplo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção duplo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção duplo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção duplo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção duplo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção duplo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção duplo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra
32	seção duplo "L" 4" x 4" x 7/16"
33	seção duplo "L" 4" x 4" x 1/2"
34	seção duplo "L" 4" x 4" x 9/16"
35	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/8"
36	seção duplo "L" 4" x 4" x 5/8"
37	seção duplo "L" 5" x 5" x 1/2"
38	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/16"
39	seção duplo "L" 5" x 5" x 9/16"
40	seção duplo "L" 6" x 6" x 1/2"
41	seção duplo "L" 5" x 5" x 5/8"
42	seção duplo "L" 5" x 5" x 11/16"
43	seção duplo "L" 6" x 6" x 9/16"
44	seção duplo "L" 5" x 5" x 3/4"
45	seção duplo "L" 6" x 6" x 5/8"
46	seção duplo "L" 8" x 8" x 1/2"
47	seção duplo "L" 6" x 6" x 11/16"
48	seção duplo "L" 6" x 6" x 3/4"
49	seção duplo "L" 8" x 8" x 9/16"
50	seção duplo "L" 6" x 6" x 13/16"
51	seção duplo "L" 8" x 8" x 5/8"
52	seção duplo "L" 6" x 6" x 7/8"
53	seção duplo "L" 8" x 8" x 11/16"
54	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/4"
55	seção duplo "L" 8" x 8" x 3/16"
56	seção duplo "L" 8" x 8" x 7/8"
57	seção duplo "L" 8" x 8" x 15/16"
58	seção duplo "L" 8" x 8" x 1"

número da tabela = 80

distância livre entre perfis = 3/4"

número de elementos da tabela = 58

alfa1	alfa2
0.38400	0.38400

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
1	1.92	0.450	1.532	1.000	0.000	0.351	0.068	0.00
2	2.32	0.580	1.633	1.000	0.000	0.421	0.081	0.00
3	2.70	0.660	1.741	1.000	0.000	0.501	0.094	0.00
4	2.96	0.760	1.869	1.000	0.000	0.601	0.107	0.00
5	3.86	0.960	2.081	1.000	0.000	0.751	0.137	0.00
6	4.38	0.760	1.916	1.000	0.000	0.572	0.360	0.00
7	4.64	1.190	2.341	1.000	0.000	0.901	0.162	0.00
8	5.40	1.390	2.585	0.970	0.000	1.051	0.188	0.00
9	5.54	0.960	2.135	1.000	0.000	0.722	0.461	0.00
10	5.66	0.730	1.968	1.000	0.000	0.542	0.853	0.00
11	6.18	1.600	2.836	0.910	0.000	1.231	0.218	0.00
12	6.84	1.160	2.364	1.000	0.000	0.872	0.547	0.00
13	7.22	0.930	2.184	1.000	0.000	0.693	1.092	0.00
14	7.98	1.370	2.628	1.000	0.000	1.052	0.634	0.00
15	8.90	1.140	2.429	1.000	0.000	0.873	1.297	0.00
16	9.16	1.570	2.859	1.000	0.000	1.202	0.735	0.00
17	10.44	1.340	2.662	1.000	0.000	1.023	1.502	0.00
18	10.84	1.110	2.456	1.000	0.000	0.843	2.534	0.00
19	12.12	1.540	2.893	1.000	0.000	1.173	1.741	0.00
20	12.90	1.320	2.689	1.000	0.000	0.993	2.934	0.00
21	14.82	1.520	2.928	1.000	0.000	1.143	3.401	0.00
22	15.22	1.290	2.733	1.000	0.000	0.974	5.070	0.00
23	15.36	1.950	3.396	1.000	0.000	1.513	2.185	0.00
24	17.54	1.490	2.982	1.000	0.000	1.144	5.876	0.00
25	18.96	1.930	3.429	1.000	0.000	1.483	4.267	0.00
26	22.32	1.910	3.459	1.000	0.000	1.454	7.374	0.00
27	22.96	2.330	3.929	1.000	0.000	1.813	5.068	0.00
28	27.22	2.350	3.978	1.000	0.000	1.784	8.757	0.00
29	31.36	2.300	3.995	1.000	0.000	1.754	13.906	0.00
30	35.48	2.270	4.017	1.000	0.000	1.725	20.757	0.00
31	36.90	3.150	4.977	1.000	0.000	2.424	11.753	0.00

ele.	area	rx	ry	Qs	x0	y0	it	cw
32	42.70	3.120	4.998	1.000	0.000	2.394	18.663	0.00
33	48.38	3.100	5.026	1.000	0.000	2.365	27.858	0.00
34	53.94	3.070	5.059	1.000	0.000	2.356	39.665	0.00
35	56.26	4.770	7.002	0.910	0.000	3.694	17.514	0.00
36	59.48	3.060	5.095	1.000	0.000	2.326	54.410	0.00
37	61.30	3.920	6.029	1.000	0.000	2.995	34.686	0.00
38	65.30	4.750	7.023	0.970	0.000	3.664	27.811	0.00
39	68.52	3.880	6.067	1.000	0.000	2.996	49.387	0.00
40	74.20	4.730	7.043	1.000	0.000	3.635	41.514	0.00
41	75.62	3.870	6.098	1.000	0.000	2.966	67.746	0.00
42	82.58	3.850	6.124	1.000	0.000	2.937	90.170	0.00
43	82.96	4.710	7.084	1.000	0.000	3.626	59.109	0.00
44	89.54	3.820	6.145	1.000	0.000	2.908	117.065	0.00
45	91.74	4.690	7.106	1.000	0.000	3.596	81.082	0.00
46	100.00	6.360	9.103	0.910	0.000	4.925	55.443	0.00
47	100.38	4.660	7.144	1.000	0.000	3.577	107.920	0.00
48	108.90	4.640	7.177	1.000	0.000	3.567	140.109	0.00
49	112.00	6.340	9.126	0.960	0.000	4.896	78.941	0.00
50	117.30	4.620	7.201	1.000	0.000	3.538	178.137	0.00
51	124.00	6.310	9.143	1.000	0.000	4.866	108.287	0.00
52	125.54	4.600	7.225	1.000	0.000	3.509	222.489	0.00
53	135.88	6.290	9.171	1.000	0.000	4.847	144.130	0.00
54	147.62	6.270	9.207	1.000	0.000	4.838	187.120	0.00
55	159.22	6.250	9.230	1.000	0.000	4.808	237.906	0.00
56	170.70	6.230	9.254	1.000	0.000	4.779	297.139	0.00
57	182.20	6.210	9.275	1.000	0.000	4.749	365.468	0.00
58	193.54	6.190	9.322	1.000	0.000	4.750	443.543	0.00

ele.	composição da barra
1	seção duplo "L" 5/8" x 5/8" x 1/8"
2	seção duplo "L" 3/4" x 3/4" x 1/8"
3	seção duplo "L" 7/8" x 7/8" x 1/8"
4	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/8"
5	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"
6	seção duplo "L" 1" x 1" x 3/16"
7	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
8	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/8"
9	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
10	seção duplo "L" 1" x 1" x 1/4"
11	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/8"
12	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
13	seção duplo "L" 1 1/4" x 1 1/4" x 1/4"
14	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/16"
15	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"
16	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/16"
17	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"
18	seção duplo "L" 1 1/2" x 1 1/2" x 5/16"
19	seção duplo "L" 2" x 2" x 1/4"
20	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 5/16"
21	seção duplo "L" 2" x 2" x 5/16"
22	seção duplo "L" 1 3/4" x 1 3/4" x 3/8"
23	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"
24	seção duplo "L" 2" x 2" x 3/8"
25	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 5/16"
26	seção duplo "L" 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"
27	seção duplo "L" 3" x 3" x 5/16"
28	seção duplo "L" 3" x 3" x 3/8"
29	seção duplo "L" 3" x 3" x 7/16"
30	seção duplo "L" 3" x 3" x 1/2"
31	seção duplo "L" 4" x 4" x 3/8"

ele.	composição da barra	
32	seção duplo "L"	4" x 4" x 7/16"
33	seção duplo "L"	4" x 4" x 1/2"
34	seção duplo "L"	4" x 4" x 9/16"
35	seção duplo "L"	6" x 6" x 3/8"
36	seção duplo "L"	4" x 4" x 5/8"
37	seção duplo "L"	5" x 5" x 1/2"
38	seção duplo "L"	6" x 6" x 7/16"
39	seção duplo "L"	5" x 5" x 9/16"
40	seção duplo "L"	6" x 6" x 1/2"
41	seção duplo "L"	5" x 5" x 5/8"
42	seção duplo "L"	5" x 5" x 11/16"
43	seção duplo "L"	6" x 6" x 9/16"
44	seção duplo "L"	5" x 5" x 3/4"
45	seção duplo "L"	6" x 6" x 5/8"
46	seção duplo "L"	8" x 8" x 1/2"
47	seção duplo "L"	6" x 6" x 11/16"
48	seção duplo "L"	6" x 6" x 3/4"
49	seção duplo "L"	8" x 8" x 9/16"
50	seção duplo "L"	6" x 6" x 13/16"
51	seção duplo "L"	8" x 8" x 5/8"
52	seção duplo "L"	6" x 6" x 7/8"
53	seção duplo "L"	8" x 8" x 11/16"
54	seção duplo "L"	8" x 8" x 3/4"
55	seção duplo "L"	8" x 8" x 3/16"
56	seção duplo "L"	8" x 8" x 7/8"
57	seção duplo "L"	8" x 8" x 15/16"
58	seção duplo "L"	8" x 8" x 1"