

Automatização do dimensionamento de elementos estruturais de aço segundo a norma brasileira NBR 8800/1986

AUTORES

WELLINGTON YAMAMOTO
in memoriam

LUTTGARDES DE OLIVEIRA NETO
Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Civil
Bauru / SP - Brasil - CEP: 17.033-360
e-mail: lutt@feb.unesp.br

Este trabalho apresenta um programa computacional de fácil execução que visa agilizar e otimizar o dimensionamento de elementos estruturais de aço, possibilitando ao engenheiro utilizar maior parte de seu tempo na modelagem dos sistemas estruturais e na análise de seu comportamento. O programa computacional realiza automaticamente os procedimentos para a obtenção das resistências de cálculo de elementos de barra em aço quanto às solicitações normais (tração e compressão), solicitações em barras fletidas (flexão e força cortante) e combinadas, segundo as recomendações da norma técnica brasileira ABNT- NBR 8800/86. O aplicativo Borland Delphi foi utilizado por possuir uma linguagem compilada orientada a objeto e uma tecnologia para composição de banco de dados escaláveis, proporcionando uma interface amigável entre o usuário e o programa por meio de caixas de diálogo em formato Windows. Portanto, a utilização do programa torna eficaz, segura e precisa a determinação da resistência de cálculo dos elementos de barras, desta maneira, tornando mais confiável e econômico o trabalho do engenheiro projetista.

Palavras-chave: Estruturas de aço, Norma Técnica Brasileira NBR8800, Dimensionamento de barras.

Introdução

O engenheiro responsável pelos cálculos estruturais deve conhecer programas computacionais que modelem estruturas, que calculem os esforços em seus elementos componentes e, finalmente, que façam o dimensionamento destes elementos estruturais segundo as normas técnicas vigentes. Poucos programas comerciais se propõem a satisfazer todas estas etapas. Na impossibilidade de acesso fácil a estes programas comerciais, a elaboração de programas que realizem algumas etapas, mesmo que para utilização acadêmica e didática, ou ainda para o trabalho profissional, é de grande valia.

No que se refere ao dimensionamento de barras, a norma técnica NBR 8800-ABNT (1986) fornece os procedimentos de cálculo para o dimensionamento de elementos estruturais em aço. Algumas publicações tratam destes procedimentos apresentando os aspectos teóricos envolvidos, podendo ser citados os

trabalhos de Queiroz (1986) e de Bellei (1994) e outros acadêmicos como os de Gomes (1993), Araújo (1993) e Sales et al. (1994).

O aplicativo Borland Delphi fora escolhido por ser uma ferramenta de programação que permite combinar a utilização de um ambiente de desenvolvimento visual, uma linguagem compilada orientada a objeto e uma tecnologia para composição de banco de dados escaláveis, possibilitando um rápido desenvolvimento de aplicações em plataforma Microsoft Windows, sendo a linguagem de programação Pascal usada para o desenvolvimento das rotinas de cálculo.

Portanto, este artigo apresenta um programa computacional que realiza automaticamente os procedimentos para determinação das resistências de cálculo de elementos estruturais em aço, quanto às solicitações normais (tração e compressão), solicitações em barras fletidas (flexão e força cortante) e combinadas, seguindo a norma NBR 8800/86.

Este programa acadêmico poderá no futuro ser acoplado a um programa que realize os cálculos de esforços solicitantes para análise completa de estruturas de barras, de maneira semelhante ao realizado pelo programa computacional Autometal, elaborado e disponibilizado pelo Departamento de Engenharia Civil da Unicamp (<http://www.fec.unicamp.br/downloads.html>).

Exemplos numéricos

A seguir são apresentadas, por meio de dois exemplos numéricos, as telas de acesso ao programa para introdução dos dados e de resultados cálculos na determinação das resistências de cálculo de elementos estruturais em aço.

Apresentam-se inicialmente os cálculos das etapas intermediárias e na seqüência a demonstração do programa, com a apresentação dos resultados finais obtidos e as telas do programa computacional desenvolvido, explicitando as etapas de cálculo.

Exemplo 2.1. Neste exemplo, deve-se verificar o perfil CS 400x106, considerando o aço MR250 ($f_y = 250\text{MPa}$), possuindo 9.00 metros de altura, com um ponto de contraventamento lateral na posição de 4.50 metros, correspondente ao eixo de menor momento de inércia. Abaixo seguem as dimensões do perfil e os demais dados relevantes ao problema.

Solicitações de cálculo:

$$N_d = -1500 \text{ kN}$$

$$M_{dx} = 19400 \text{ kN.cm}$$

Comprimentos de flambagem (l):

$$l_x = 900 \text{ cm}$$

$$l_y = 450 \text{ cm}$$

Características geométricas (valores tabelados):

$$A_g = 135.60 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 41727 \text{ cm}^4; I_y = 13336 \text{ cm}^4; r_x = 17.54 \text{ cm}; r_y = 9.92 \text{ cm};$$

$$I_T = 68 \text{ cm}^4; r_T = 10.92 \text{ cm};$$

$$W_x = 2086 \text{ cm}^3; W_y = 667 \text{ cm}^3; Z_x = 271.48 \text{ cm}^3.$$

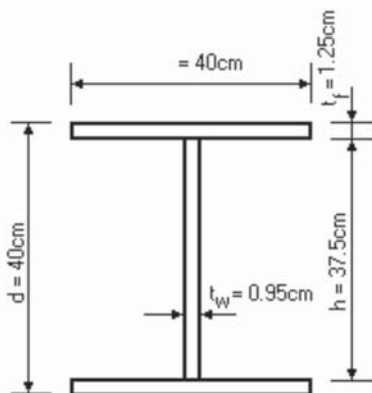


Figura 1 - Dimensões do perfil a ser verificado.

Primeira etapa: cálculo manual

a) Verificação da força normal de compressão

a.1) Cálculo do coeficiente de redução para a flambagem local Q

De acordo com a tabela 1 da NBR 8800/86, o valor da relação largura/espessura máximo $(b/t)_{\max}$ para a mesa é 16.00 e para a alma é 42.00. Assim, mesa (elemento não enrijecido)

$$\frac{b}{t} = \frac{20.00}{1.25} = 16.00 = \left(\frac{b}{t}\right)_{\max} \rightarrow OK! \quad \therefore Q_s = 1.0$$

alma (elemento enrijecido)

$$\frac{b}{t} = \frac{37.50}{0.95} = 39.47 < \left(\frac{b}{t}\right)_{\max} \rightarrow OK! \quad \therefore Q_a = 1.0$$

$$\therefore Q = Q_s \cdot Q_a = 1.0$$

a.2) Cálculo do coeficiente de redução para a estabilidade global ρ

em relação ao eixo x

Índice de esbeltez:

$$\lambda_x = \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} = \frac{1.0 \cdot 900}{17.54} = 51.31$$

$$\bar{\lambda}_x = \frac{51.31}{\pi} \sqrt{\frac{1.0 \cdot 25.0}{20500}} = 0.57$$

$$\beta_x = \frac{1}{2 \cdot (0.57)^2} \left(+0.281 \sqrt{(0.57)^2 - 0.04} + (0.57)^2 \right) = 2.270$$

$$\rho_x = 2.227 - \sqrt{(2.227)^2 - \frac{1}{(0.57)^2}} = 0.829$$

em relação ao eixo y

Índice de esbeltez:

$$\lambda_y = \frac{K_y \cdot L}{r_y} = \frac{1.0 \cdot 450}{9.92} = 45.36$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{45.36}{\pi} \sqrt{\frac{1.0 \cdot 25.0}{20500}} = 0.50$$

$$\beta_y = \frac{1}{2 \cdot (0.50)^2} \left(+0.384 \sqrt{(0.50)^2 - 0.04} + (0.50)^2 \right) = 2.852$$

$$\rho_y = 2.852 - \sqrt{(2.852)^2 - \frac{1}{(0.50)^2}} = 0.819$$

Portanto, a resistência de cálculo será calculada a partir do menor valor, $\rho_y = 0.819$.

a.3) Resistência de cálculo em relação ao eixo y sem o valor de ρ , para a primeira interação:

$$\phi \cdot N_n = 0.90 Q A_g f_y = 0.90 \cdot 1.00 \cdot 135.60 \cdot 25.00 = 3051.00 \text{ kN}$$

com o valor de ρ , para a segunda interação:

$$\phi_c \cdot N_n = 0.90 \rho Q A_g f_y = 0.90 \cdot 1.00 \cdot 0.819 \cdot 135.60 \cdot 25.00 = 2498.77 \text{ kN}$$

b) Verificação quanto ao esforço de flexão

b.1) Cálculo da resistência nominal para a flambagem lateral da mesa (FLM)

De acordo com o anexo D, tabela 27, da NBR 8800/86, o valor de λ_p é igual a

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{20500}{25}} = 10.88$$

e com os valores, para o elemento não enrijecido:

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f} = \frac{20.00}{1.25} = 16 > \lambda_p$$

$$\therefore M_n = M_{pl} - (M_n - M_{pl}) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

onde,

$$M_{pl} = Z_x f_y = 2271.48 * 25.00 = 56787 \text{ kN.cm}$$

$$M_r = (f_y - f_r) W_x = (25.00 - 11.50) * 2086.00 = 28161 \text{ kN.cm}$$

e

$$\lambda_r = 0.62 \sqrt{\frac{E W_x}{M_r}} = 0.62 \sqrt{\frac{20500 * 2086.00}{28161}} = 24.16$$

$$\therefore \lambda_p < \lambda = 16 < \lambda_r$$

Desta maneira,

$$M_n = M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} = 56787 - (56787 - 28161) \frac{16.00 - 10.88}{24.16 - 10.88}$$

$$M_n = 39246.56 \text{ kN.cm}$$

b.2) Cálculo da resistência nominal para a flambagem lateral da alma (FLA)

De acordo com o anexo D, tabela 27, da NBR 8800/86, o valor de λ_p é igual a

$$\lambda_p = 3.50 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3.50 \sqrt{\frac{20500}{25}} = 100.22$$

e com os valores, para o elemento enrijecido de:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{37.50}{0.95} = 39.47 < \lambda_p$$

$$\therefore M_n = M_{pl} = Z_x \cdot f_y = 56787 \text{ kN.cm}$$

b.3) Cálculo da resistência nominal para a flambagem lateral a torção (FLT)

O parâmetro de esbeltez da barra para a flambagem lateral com torção, em relação ao eixo y, é:

$$\lambda = \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{450}{9.92} = 45.36$$

De acordo com a tabela 27 da NBR 8800/86, tem-se:

$$\lambda_p = 1.75 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.75 \sqrt{\frac{20500}{25}} = 50.11$$

Como $\lambda < \lambda_p$:

$$M_{pl} = Z_x f_y = 2271.48 * 25.00 = 56787.00 \text{ kN.cm}$$

Comparando-se os valores obtidos para Mn considerando os três estados de flambagem (FLM, FLA, FLT), emprega-se o menor valor dentre eles que é:

$$M_n = 39246.56 \text{ kN.cm}$$

b.4) Resistência de cálculo à flexão simples

$$\phi_b M_n = 0.90 * 39246.56 = 35321.90 \text{ kN.cm}$$

c) Cálculo da carga de flambagem elástica por flexão para o eixo x

$$N_{ex} = \frac{A_g \cdot f_y}{\lambda^2} = \frac{135.60 * 25.00}{0.57^2} = 10433.98 \text{ kN}$$

d) Equações de interação

$$\frac{N_d}{\phi_c \cdot N_n} + \frac{M_{dx}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{dy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \leq 1.00$$

$$\frac{1500.00}{0.90 * 3051.00} + \frac{19400.00}{0.90 * 39246.56} + 0.00 \leq 1.00$$

$$0.961 \leq 1.00 \rightarrow OK!$$

$$\frac{N_d}{\phi_c \cdot N_n} + \frac{C_{mx} \cdot M_{dx}}{\left(1 - \frac{N_d}{0.73 \cdot N_{ex}}\right) \cdot \phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{C_{my} \cdot M_{dy}}{\left(1 - \frac{N_d}{0.73 \cdot N_{ey}}\right) \cdot \phi_b \cdot M_{ny}} \leq 1.00$$

$$\frac{1500.00}{0.90 * 2575.04} + \frac{1.00 * 19400.00}{\left(1 - \frac{1500.00}{0.73 * 10434.00}\right) 0.90 * 39246.56} + 0.00 \leq 1.00$$

$$1.167 > 1.00$$

Portanto, não foi verificada sua resistência quanto aos esforços combinados.

Segunda etapa: cálculo utilizando o programa

Inicia-se o processo com a tela principal dada pela Fig. 2, onde se pode selecionar primeiramente o tipo de esforço desejado. É mostrada a tela dada na Fig.3.

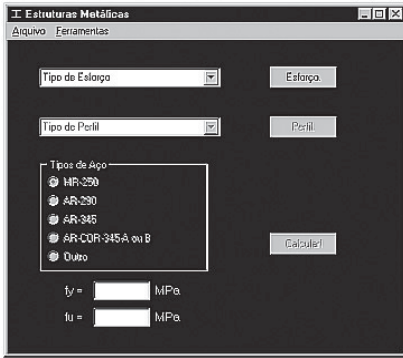


Figura 2 - Tela principal do programa.

Nesta tela pode-se inserir os valores de comprimentos de flambagem para os eixos de inércia x e y, subseqüentemente. Na Fig. 3 é

mostrada apenas a tela correspondente ao eixo x.

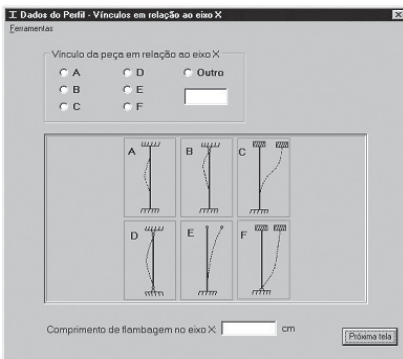


Figura 3 - Tela para inserção do tipo de vinculação e comprimento de flambagem da barra.

Na seqüência, na tela apresentada, devem ser inseridos os valores de C_b , L_{bx} , L_{by} , como mostrada na Fig. 4.

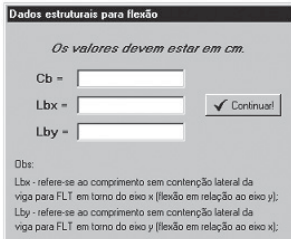


Figura 4 - Tela para inserção de C_b , L_{bx} , L_{by} .

Em seguida, devem ser inseridos pelo usuário os valores das solicitações de cálculo (N_d , M_{dx} , M_{dy}), apresentada na tela mostrada na Fig. 5.

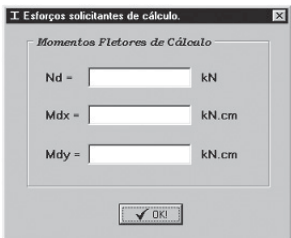


Figura 5 - Tela para inserção dos valores dos esforços de cálculo.

Os próximos valores a serem inseridos no programa, são os valores dos coeficientes correspondentes a flexão, C_{mx} e C_{my} , como solicitado pela tela

mostrada na Fig. 6.

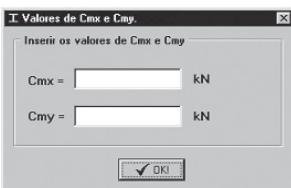


Figura 6 - Tela para inserção dos valores de C_{mx} e C_{my} .

Depois de inseridos os valores pertinentes à geometria e à solicitação do problema, o tipo de perfil deve ser escolhido, neste caso um perfil I soldado, como mostrada na tela

dada pela Fig. 7.

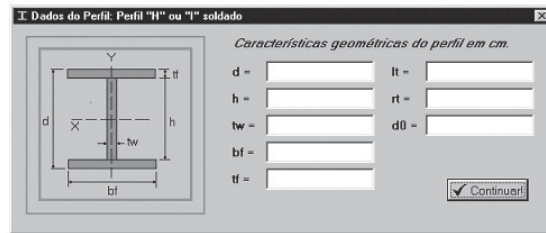


Figura 7 - Tela com dimensões e características geométricas do perfil solicitado a flexo-compressão.

Em seguida é mostrada a tela (Fig. 8) com os demais valores das características geométricas pertinentes ao restante do cálculo.

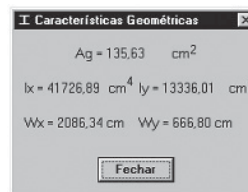


Figura 8 - Tela com características geométricas do perfil.

Depois de inseridos os valores necessários para o dimensionamento a flexo-compressão, escolhe-se o tipo de aço, neste exemplo aço MR-250, e clica-se no botão "Calcular!". Será mostrada, então, a tela com os resultados obtidos pelo perfil escolhido (Fig. 9). Nesta tela são também mostrados alguns valores parciais pertinentes para entendimento e orientação do usuário no caso de necessitar ou preferir alterar algum dado. Podem ver os resultados do exemplo, notando-se as diferenças de valores entre os obtidos manualmente e através do programa.

Barras sujeitas à flexão composta.

Interação de tensões:

$$\frac{N_d}{\phi_c N_n} + \frac{M_{dx}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{dy}}{\phi_b M_{ny}} < 1$$

0,96 < 1

Interação de estabilidade:

$$\frac{N_d}{\phi_c N_n} + \frac{C_{mx} M_{dx}}{\left(1 - \frac{N_d}{0,73 N_{ex}}\right) \phi_b M_{nx}} + \frac{C_{my} M_{dy}}{\left(1 - \frac{N_d}{0,73 N_{ey}}\right) \phi_b M_{ny}} > 1$$

1,19 > 1

Discriminação dos resultados obtidos:

Interação de tensões:	Interação de estabilidade:
$\phi_c N_n = 3037,39 \text{ kN}$	$\phi_c N_n = 2482,28 \text{ kN}$
Gerais:	
$N_d = 1500,00 \text{ kN}$	$M_{dy} = 0,00 \text{ kN.cm}$
$M_{dx} = 19400,00 \text{ kN.cm}$	$\phi_b M_{ny} = 15003,01 \text{ kN.cm}$
$\phi_b M_{nx} = 41179,14 \text{ kN.cm}$	$N_{ex} = 10422,85 \text{ kN}$
	$N_{ey} = 13324,67 \text{ kN}$
$\left(1 - \frac{N_d}{0,73 N_{ex}}\right) = 0,80$	$\left(1 - \frac{N_d}{0,73 N_{ey}}\right) = 0,85$

Resultados Fechar

Figura 9 - Tela de apresentação dos resultados para o dimensionamento a flexo-compressão.

Após a apresentação dos resultados, fechando-se a respectiva tela, surgirá uma tela para escolha do próximo passo, dada pela Fig. 10. Então o usuário poderá refazer o cálculo escolhendo outro perfil ou alterar apenas as condições do problema. Há ainda a possibilidade de refazer todo o cálculo, a partir do início.

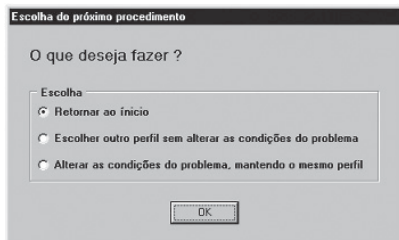


Figura 10 - Tela com a escolha da próxima etapa.

Para efeito de demonstração, na Fig. 11, é apresentada mais uma tela referente à força cortante.

também mostrando alguns valores parciais de intervalo do parâmetro de esbelteza obtido.

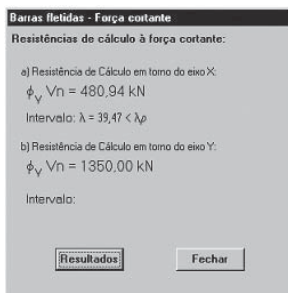


Figura 11 - Tela de apresentação dos resultados à força cortante.

Exemplo 2.2. Para este exemplo, deve-se verificar uma coluna de altura $l = 4.00\text{m}$, aço AR-345 e submetida ao esforço de compressão $N_d = 4530\text{kN}$, com o seguinte perfil I soldado:

Dimensões e características geométricas

$$d = 60.00 \text{ cm}; \quad h = 57.50 \text{ cm}; \quad t_w = 0.80 \text{ cm};$$

$$b_f = 40.00 \text{ cm}; \quad t_f = 1.25 \text{ cm};$$

$$A_g = 146.0 \text{ cm}^2; \quad I_x = 98976.04 \text{ cm}^4; \quad I_y = 13335.76 \text{ cm}^4.$$

Primeira etapa: cálculo manual

a) Cálculo do coeficiente de redução para a flambagem local Q

De acordo com a tabela 1 da NBR 8800/86, o valor da relação largura/espessura máximo $(b/t)_{\max}$ para a mesa é 13.00 e para a alma é 36.00. Assim,

mesa (elemento não enrijecido)

$$b_{\text{mesa}} = 20.00 \text{ cm} \quad e \quad t_{\text{mesa}} = 1.25 \text{ cm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{20.00}{1.25} = 16 > \left(\frac{b}{t}\right)_{\max} \rightarrow \text{anexo E}$$

No item E-2.b, do anexo E, referente a elemento não enrijecido, tem-se:

$$1.02 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 24.86$$

$$\therefore Q_s = 1.42 - 0.76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0.921$$

alma (elemento enrijecido)

$$b_{\text{alma}} = 57.50 \text{ cm} \quad e \quad t_{\text{alma}} = 0.80 \text{ cm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{57.50}{0.80} = 71.88 > \left(\frac{b}{t}\right)_{\max} \rightarrow \text{anexo E}$$

No item E-3.b, do anexo E, o valor do coeficiente Q_a é obtido por meio de um processo iterativo iniciado pelo valor inicial adotado de tensão atuante f , como segue abaixo os passos de cálculo.

Passo inicial:

$$f = \frac{N_d}{A_{ef}} = \frac{0.90 A_g f_y}{A_g} = \frac{0.90 * 146.00 * 34.50}{57.50 * 0.80 + 100.00} = 31.05 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_{ef} = \frac{797t}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{140}{\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{f}}\right) = \frac{797 * 0.80}{\sqrt{310.50}} \left(1 - \frac{140}{71.88\sqrt{310.50}}\right) \leq b$$

$$b_{ef} = 32.54 \text{ cm} < b$$

- Segundo passo:

$$f = \frac{N_d}{A_{ef}} = \frac{0.90 * 146.00 * 34.50}{32.54 * 0.80 + 100.00} = 35.97 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_{ef} = \frac{797t}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{140}{\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{f}}\right) = \frac{797 * 0.80}{\sqrt{359.70}} \left(1 - \frac{140}{71.88\sqrt{359.70}}\right) \leq b$$

$$b_{ef} = 30.17 \text{ cm} < b$$

- Terceiro passo:

$$f = \frac{N_d}{A_{ef}} = \frac{0.90 * 146.00 * 34.50}{30.17 * 0.80 + 100.00} = 36.52 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_{ef} = \frac{797t}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{140}{\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{f}}\right) = \frac{797 * 0.80}{\sqrt{365.20}} \left(1 - \frac{140}{71.88\sqrt{365.20}}\right) \leq b$$

$$b_{ef} = 29.96 \text{ cm} < b$$

A diferença entre o valor obtido de b_{ef} no último passo e o valor do passo anterior é de menos de 1%; desta maneira o programa assume como b_{ef} o valor final de 29.96cm.

$$\therefore Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g} = \frac{29.96 * 0.80 + 100.00}{146.00} = 0.849$$

$$\therefore Q = Q_s * Q_a = 0.921 * 0.849 = 0.782$$

Cabe comentar aqui que, no caso de se calcular um perfil com seção-caixão cujos elementos mesa e alma são enrijecidos, o processo iterativo introduzido no código computacional realiza, em cada passo, o cálculo das duas larguras efetivas obtendo, assim, uma área efetiva A_{ef} referente a cada passo.

b) Cálculo do coeficiente de redução para a estabilidade global ρ para o eixo de inércia y:

$$r_{\min} = r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = \sqrt{\frac{13335.79}{146.00}} = 9.56 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{K * l}{r_{\min}} = \frac{1.00 * 400.00}{9.56} = 41.84$$

$$\bar{\lambda} = \frac{41.84}{\pi} \sqrt{\frac{0.782 * 34.50}{20500}} = 0.48$$

De acordo com a tabela 3 da NBR 8800/86, utiliza-se, para o eixo y, a curva C, obtendo-se o valor de $\rho = 0.856$.

c) Resistência de cálculo em relação ao eixo y

$$\phi_c N_n = 0.90 \rho Q A_g f_y = 0.90 * 0.856 * 0.782 * 146.00 * 34.50 = 3034.55 \text{ kN}$$

Segunda etapa: cálculo utilizando o programa

Inicia-se o processo com a tela principal dada pela Fig. 2, onde, selecionando-se o respectivo esforço, surge a mesma tela mostrada na Fig. 3.

Inseridos os valores dos tipos de vinculação e comprimentos de flambagem, em relação ao eixo x e y, escolhe-se o perfil e inserem-se suas dimensões, semelhante a tela da Fig. 7.

Em seqüência, escolhe-se o tipo de aço e clica-se o botão "Calcular!".

Para este exemplo, aparece uma tela de aviso, mostrada na Fig. 12, e em seguida outra caixa de diálogo para confirmação para se continuar com o mesmo perfil. Este aviso

aparece pelo fato de o valor de λ resultar menor do que 0.20. Duas possibilidades no processo de cálculo fazem com que isto ocorra:

- esbeltez excessiva de alma ou de mesa, acarretando a obtenção de um valor muito pequeno de Q e, conseqüentemente, de um valor negativo na raiz quadrada na fórmula de β ($\bar{\lambda} < 0.20$). É necessária a modificação do perfil!
- esbeltez global da barra muito pequena, peça excessivamente robusta, resultando em valor de $\rho = 1.00$. Neste caso não seria necessária a modificação do perfil.

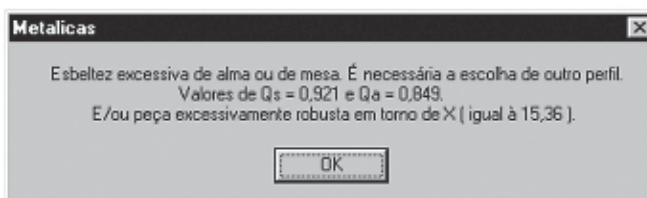


Figura 12. Tela de aviso, demonstrando problema.

Caso seja escolhido prosseguir o cálculo com o mesmo perfil, são mostrados todos os resultados relativos às barras comprimidas, novamente mostrando alguns valores parciais pertinentes para orientação do usuário, conforme se observa na Fig. 13; caso contrário, retornar-se-á à tela de inserção das novas dimensões do mesmo tipo de perfil.

Fechando-se a tela de resultados, aparecerá a tela mostrada na Fig. 10, devendo o usuário escolher a próxima etapa que lhe convier.

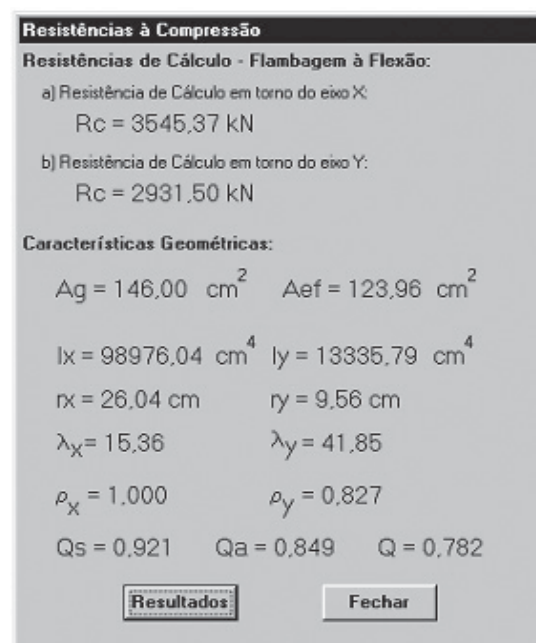


Figura 13. Tela de apresentação dos resultados para o dimensionamento à compressão.

A diferença entre os dois valores de resistência de cálculo obtidos, $N_c = 3034.55\text{kN}$ para a forma manual e $N_c = 2931.50\text{kN}$ para o programa, da ordem de 3.40%, se deve à distinção dos valores de ρ calculados em cada um deles, o primeiro obtido por tabela ($\rho=0.856$) e o segundo pela formulação apresentada ($\rho=0.827$), ambas constantes na norma.

Conclusões

A proposta deste trabalho foi de apresentar um programa computacional para o dimensionamento de elementos de barra de aço, segundo as recomendações da norma técnica brasileira ABNT-NBR 8800/86. Pode-se observar nos exemplos numéricos que a utilização do programa possibilita ao usuário realizar os cálculos de dimensionamento de maneira simples, rápida e segura. Os dois exemplos visam abranger situações de cálculo importantes como esbeltez de elementos da seção transversal (processo iterativo em elementos

enrijecidos) e de combinação de esforços (momentos fletores e força normal de compressão por meio das equações de interação).

Tomou-se portanto, o cuidado de apresentar uma boa interface com o usuário, procurando orientá-lo no processo de cálculo, avisando-o de alguns pontos críticos que possam surgir neste processo e também em apresentar valores intermediários de cálculo e de limites a que a norma impõe às resistências e aos parâmetros envolvidos no cálculo.

Considerando-se os procedimentos adotados pelo programa, diferenças aparentes podem surgir nos resultados devidas ao arredondamento feito quando obtidos manualmente ou devidas aos valores representados em tabelas.

Reconhecimentos

Os autores agradecem à Fapesp - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio financeiro na realização deste projeto.

Referências

- Alves, A. P., 1978, Programação: codificação, testes, depuração de erros, documentação, Editora Atlas, São Paulo.
- Andrade, P. B., 1994, Curso básico de estruturas de aço, Segunda edição revisada, IEA Editora, Belo Horizonte.
- Araujo, E. C. de, 1993, Elementos de aço flexo-comprimidos, Mestrado, dissertação, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984, NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas, ABNT, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986, NBR 8800 - Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios, ABNT, Rio de Janeiro.
- Bellei, I. H., 1994, Edifícios estruturais em aço - Projeto e cálculo, Editora Pini, São Paulo.
- Cantù, M., 1998, Dominando o Delphi 4 - A Bíblia, Makron Books, São Paulo.
- Davis, W. S., 1987, Análise e projeto de sistemas; uma abordagem estruturada, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro.
- Ducassé, P., 1962, História das técnicas, Publicações Europa América, Lisboa.
- Gomes, O. F., 1993, Análise dos elementos fletidos em estruturas de aço, Mestrado, dissertação, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil.
- Queiroz, G., 1986, Elementos das estruturas de aço, Imprensa Universitária, UFMG, Belo Horizonte.
- Sales, J. J. et alii, 1994, Elementos de estruturas de aço - Dimensionamento, Imprensa Universitária, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Yamamoto, W.; Oliveira Neto, L. (2001). Dimensionamento de elementos estruturais em aço, segundo a norma brasileira NBR8800/1986, utilizando o aplicativo Delphi 4.0. In: XXII CILAMCE 2001 - XXII Congresso Ibero-Latino Americano de Métodos Computacionais para Engenharia, *Anais*. UNICAMP, Campinas, SP Brasil.