



**FACULDADE DE CIÊNCIAS GERENCIAIS DE MANHUAÇU
FACIG**

**ROTINA COMPUTACIONAL PARA VERIFICAÇÃO DA FLEXO-COMPRESSÃO
EM PERFIS METÁLICOS**

TÁRSIS MARCOS DE MATOS CORRÊA

**MANHUAÇU / MG
2017**



TÁRSIS MARCOS DE MATOS CORRÊA

**ROTINA COMPUTACIONAL PARA VERIFICAÇÃO DA FLEXO-COMPRESSÃO
EM PERFIS METÁLICOS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à banca de avaliação da
Faculdade de Ciências Gerenciais de
Manhuaçu como requisito parcial a
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil, sob a orientação do Prof.
José Francisco Anunciação Pinto.

MANHUAÇU / MG

2017



RESUMO: Estruturas metálicas têm sido muito empregadas na construção civil, devido as ótimas propriedades mecânicas do aço e o peso próprio dos elementos em quando comparados com o concreto armado, porém os cálculos demandam tempo e atenção dobrada já que as equações da norma brasileira têm uma complexidade elevada. Assim sendo o trabalho aqui apresentado tem por objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que permita facilitar os processos de verificação de compressão e flexo compressão em perfis metálicos. A partir do *software* Microsoft Visual Basic e usando a linguagem de programação VB, a ferramenta foi desenvolvida seguindo as orientações na NBR 8800:2008, que define dimensionamentos de projetos de estruturas metálicas, verificando todas as condições necessárias para cálculo de força resistente a compressão, momento fletor resistente e flexo compressão. A análise do programa, bem como as conclusões e comentários sobre os resultados obtidos se encontram nos capítulos 4 e 5 desta publicação.

Palavras-chave: ferramenta computacional, flexo compressão, momento resistente, NBR 8800:2008.



ABSTRACT: Metallic structures have been widely used in civil construction due to the excellent mechanical properties of the steel and the weight of the elements when compared with the reinforced concrete, but the calculations require time and double attention since the Brazilian standard equations have a high complexity. Therefore, the work presented here has the objective of developing a computational tool that facilitates the processes of verification of compression and flexo compression in metallic profiles. Using Microsoft Visual Basic software and using the VB programming language, the tool was developed following the guidelines in NBR 8800: 2008, which defines project design of metal structures, verifying all the necessary conditions for calculation of force resistant to compression, resistant bending moment and flexo compression. The analysis of the program, as well as the conclusions and comments on the results obtained are found in Chapters 4 and 5 of this publication.

Key words: computational tool, flexo compression, moment resistant, NBR 8800: 2008.



Figura 1 - Tipos de perfis e suas denominações métricas	18
Figura 2 - Esquema do laminador universal	18
Figura 3 - Esquema do conjunto universal de três cadeiras em sequência, conhecido como processo X-H	18
Figura 4 - Esquema da obtenção de um perfil soldado por composição e união das tiras de aço em bancada de trabalho de soldagem a arco submerso (SAW - Submerged arc welding).	19
Figura 5 - Composição de um perfil soldado, com as chapas cortadas, a pré-deformação das mesas e a soldagem das peças	19
Figura 6 - Esquema da seção transversal de perfis soldados	19
Figura 7 - Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados	20
Figura 8 - Banco de dados	21
Figura 9 - Tela Inicial	22



Gráfico 1 - Comparativo entre os resultados obtidos nos exercícios e no programa 16



Tabela 1 – Comparativo entre os resultados obtidos nos exercícios e no programa 15



1 Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	DESENVOLVIMENTO	10
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1.1	PROPRIEDADES DOS PERFIS.....	10
2.1.2	DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS COMPRIMIDAS.....	11
3	METODOLOGIA	14
3.1	TEMÁTICA DA PESQUISA.....	14
3.2	OBJETIVOS	14
3.3	DEFINIÇÕES	14
3.4	LIMITAÇÕES.....	14
3.5	DELINEAMENTO	14
3.6	APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA.....	15
3.6.1	TELA INICIAL	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5	CONCLUSÕES.....	16
6	REFERÊNCIAS	17
7	ANEXO: FIGURAS	18



1 INTRODUÇÃO

Segundo PFEIL e PFEIL (2009), o primeiro material siderúrgico empregado na construção foi o ferro fundido. No final do século XVIII e início do século XIX esse material foi empregado em construções de pontes em arco ou treliçadas, com elementos trabalhando em compressão, juntamente com o ferro forjado, que era utilizado em correntes de barras. Esse foi ganhando espaço na utilização em construções por possuir melhor resistência à corrosão. Ainda hoje, várias obras construídas em ferro forjado podem ser encontradas em perfeito estado. O aço já era conhecido desde a antiguidade, porém não existiam métodos que permitiam sua obtenção em larga escala, então o inglês Henry Bessemer inventou um novo tipo de forno que possibilitou a fabricação desse material de forma que atendesse a demanda. Logo, o aço substituiu o ferro fundido e o forjado, devido as melhores propriedades mecânicas e técnicas mais elaboradas para sua confecção.

Construções metálicas se tornaram comuns em diversas regiões durante os últimos anos devido à uma série de benefícios. Segundo o Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA) podemos citar, como exemplo, a liberdade no projeto de arquitetura, maior área útil, flexibilidade, compatibilidade com outros materiais, menor prazo de execução, racionalização de materiais e mão-de-obra, alívio de cargas nas fundações, precisão construtiva. Esses fatores contribuíram para uma rápida difusão no território nacional de empresas especializadas na fabricação de componentes metálicos para a construção civil e, dessa forma, a oferta e abrangência territorial desses elementos cresceram, tornando possível seu emprego na composição de projetos nas principais áreas urbanas e seus arredores.

Contudo, os perfis metálicos não podem ser moldados nos locais de sua utilização, seguindo as solicitações de projeto. Os perfis são fabricados com formatos e dimensões padronizados e possuem uma alta variedade de modelos de forma que os elementos sejam adequados a abranger quase todo tipo de projetos. Assim, cabe ao profissional elaborar plantas e analisá-las fazendo a escolha do perfil metálico que tenha um melhor custo-benefício e que atenda às necessidades de seus clientes.

O presente trabalho aborda o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para assistir a escolha dos elementos de aço, tomando como base as recomendações da NBR 8800:2008, Norma que gerencia o projeto de estruturas de aço no Brasil.

O *software* foi desenvolvido utilizando o Microsoft Visual Studio 2013, que fornece a linguagem Visual Basic para programação. O suporte fornecido pela linguagem de programação, juntamente com a presença de textos e uma imensa variedade de botões, permite que o usuário tenha facilidade para utilizá-lo.



2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 PROPRIEDADES DOS PERFIS

2.1.1.1 Características:

Segundo PINHEIRO (2005) existem vantagens a respeito das estruturas metálicas que tornam seu uso uma boa opção para a construção civil. Dentre eles, podemos citar:

- Fabricação das estruturas com precisão milimétrica, possibilitando um alto controle de qualidade do produto acabado;
- Garantia das dimensões e propriedades dos materiais;
- Material resistente a vibração e a choques;
- Possibilidade de execução de obras mais rápidas e limpas;
- Em caso de necessidade, possibilita a desmontagem das estruturas e sua posterior montagem em outro local;
- Alta resistência estrutural, possibilitando a execução de estruturas leves para vencer grandes vãos;
- Possibilidade de reaproveitamento dos materiais em estoque, ou mesmo, sobras de obra.

Podemos classificar os perfis metálicos segundo a forma de sua seção transversal, como mostrado na figura 1 (ANEXO: FIGURAS):

- L – Cantoneira de abas iguais ou desiguais;
- I – Perfil de seção transversal parecida com I
- H – Perfil de seção transversal parecida com H
- U – Perfil de seção transversal parecida com U
- T – Perfil de seção transversal parecida com T

2.1.1.2 Perfis Laminados

DIAS (2009) nos diz que os perfis laminados são obtidos através da laminação de tarugos ou blocos oriundos do lingotamento contínuo. Usando o sistema universal de laminação, os lingotes sofrem deformações mecânicas em temperaturas elevadas que moldam a seção transversal nos formatos I ou H, como indicado na figura 2 (ANEXO: FIGURAS).

O processo conhecido como X-H é o conjunto principal de três cadeiras em sequência que compõe o sistema universal de laminação. Esse facilita a produção e favorece a obtenção de produtos homogêneos, de maior comprimento, alta eficiência e rendimento com propriedades mecânicas bem definidas. A figura 3 (ANEXO: FIGURAS) resume o processo.

Podemos citar ainda algumas propriedades principais dos perfis laminados:

- Possuem abas paralelas e retilíneas (que facilitam as soluções de conexões e encaixes).
- Uniformidade estrutural (por não possuir soldas ou emendas).
- Baixo nível de tensão residual localizadas (pois não passam pelo processo de soldagem em sua fabricação).



2.1.1.3 Perfis Soldados

“Os perfis soldados são aqueles obtidos pelo corte, composição e soldagem de chapas planas de aço, permitindo grande variedade de formas e dimensões de seções.” DIAS (2009).

Podem ser fabricados com aço-carbono, aço de baixa liga e alta resistência mecânica, aço de baixa liga, alta resistência mecânica e alta resistência à corrosão atmosférica.

De acordo com DIAS (2009) o processo de fabricação de perfis soldados começa em um esboço, onde todas as características geométricas são dimensionadas e analisadas. Após o corte, vem a etapa de composição das chapas, onde há, primeiramente, a pré-deformação das mesas feitas por roletes para compensar a deformação causada no momento soldagem. Na figura 4 (ANEXO: FIGURAS), podemos observar o esquema de composição de perfis soldados em três etapas.

Em seguida as mesas são colocadas perpendicularmente à alma (Figura 5 – ANEXO: FIGURAS) e recebem a soldagem do tipo filete. Ao final, o perfil é encaminhado ao setor de desempenho e acabamento para a correção de distorções.

Os perfis soldados são classificados em séries segundo seu uso na estrutura:

- Série VS: compreende os perfis soldados para vigas em que $1,5 < \frac{d}{b_f} \leq 4$;
- Série CVS: compreende os perfis soldados para vigas e pilares em que $1 < \frac{d}{b_f} \leq 1,5$;
- Série CS: compreende os perfis soldados para pilares em que $\frac{d}{b_f} = 1$.

A figura 6 (ANEXO: FIGURAS), mostra a seção transversal dos perfis soldados série VS, CS e CVS.

2.1.2 DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS COMPRIMIDAS

Para o dimensionamento de peças comprimidas, algumas características dos elementos que compõe a estrutura, bem como fatores relacionados à eles devem ser levados em consideração, como índice de esbeltez, momento de inércia, raio de giração, espessura da chapa, tipo do aço, etc. De acordo com a NBR 8800:2008, no dimensionamento de peças submetidas aos esforços de compressão, a condição necessita ser atendida é que a força axial resistente de cálculo deve ser maior ou igual que a força solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (\text{Eq.1})$$

No processo de cálculo de barras prismáticas comprimidas, ainda seguindo a NBR 8800:2008, devemos considerar o efeito de instabilidade gerado nos elementos após a carga crítica (ou carga de Euler) ser atingida. Esse efeito é conhecido como flexocompressão.



2.1.2.1 Índice de Esbeltez

Um dos fatores determinantes na flambagem de um perfil é o seu índice de esbeltez, determinado pela razão entre o comprimento de flambagem L e o raio de giração da peça. Através dele podemos verificar o quanto a peça verificada é esbelta e analisar se o valor encontrado está dentro dos limites máximos de esbeltez. Caso o resultado ultrapassar o valor máximo, devemos substituir a peça.

2.1.2.2 Comprimento de Flambagem

É o produto da medida do comprimento da barra pelo coeficiente de flambagem, onde esse depende da condição de apoio da peça.

Segundo PFEIL e PFEIL (2009) o comprimento de flambagem é a distância entre pontos em um mesmo elemento deformado lateralmente onde o momento é nulo (pontos de inflexão da barra).

A figura 7 (NAEXO: FIGURAS) exhibe os valores teóricos e recomendados do coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados, segundo a ABNT NBR8800:2008.

2.1.2.3 Força Axial Resistente de Cálculo

Com base na NBR 8800:2008, na determinação da força axial de compressão resistente de cálculo para dimensionamento de perfis metálicos, deve-se adotar o regime dos estados-limites últimos de instabilidade por flexão, por torção ou por flexo-torção e de flambagem local.

Seguindo as orientações da norma, podemos calculá-la pela seguinte expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{Eq.2})$$

onde:

- χ é o fator de redução associado à resistência a compressão, calculado com base no índice de esbeltez reduzido (λ_0), tomado:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} \quad (\text{Eq.3})$$

$$\begin{cases} \chi = 0,658^{\lambda_0^2}, & \text{se } \lambda_0 \leq 1,50 \\ \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}, & \text{se } \lambda_0 > 1,50 \end{cases} \quad (\text{Eq.4})$$

- Q é o fator de redução total associado à flambagem local, calculado a partir das configurações geométricas da peça pelas equações dos elementos isolados AA (apoiado-apoiado) e elementos isolados AL (apoiado-livre), onde são levados em consideração os valores do módulo de elasticidade e da resistência ao escoamento do aço.
- A_g é a área bruta da seção transversal da barra
- f_y é o resistência ao escoamento do aço
- γ_{a1} é o coeficiente de ponderação relacionado ao escoamento, flambagem e instabilidade.
- N_e é a força axial de flambagem elástica.



2.1.2.4 Momento Resistente de Cálculo

De acordo com a ABNT NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 43), no dimensionamento de barras submetidas à força axial de compressão, deve-se satisfazer às seguintes condições:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \leq \frac{1,5 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad , \quad (\text{Eq.5})$$

onde:

M_{Sd} é o momento solicitante de cálculo;

M_{Rd} é o momento resistente de cálculo;

W é o módulo de resistência elástico

Para este dimensionamento levamos em conta as dimensões da área de seção transversal em relação ao comprimento para a verificação da flambagem no elemento em questão. Analisamos efeitos específicos para cada eixo de deflexão, sendo esses FLM (flambagem local da mesa comprimida), FLA (flambagem local da alma), FLT (flambagem local com torção). Após a verificação de cada item, tomamos o menor valor dentre eles para estabelecer o momento fletor máximo suportado pelo elemento ao ser submetido à força axial de compressão.

2.1.2.5 Combinação de Esforços Solicitantes

No dimensionamento de peças comprimidas onde atuam os esforços axiais de compressão e o momento fletor simultaneamente, devem ser atendidos os seguintes requisitos mínimos para que a estrutura não entre em colapso:

- Para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{Eq.6})$$

- Para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{Eq.8})$$

Onde:

N_{Sd} é a força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

N_{Rd} é a força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

$M_{x,Sd}$ e $M_{y,Sd}$ são os momentos solicitantes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal;

$M_{x,Rd}$ e $M_{y,Rd}$ são os momentos resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal;



3 METODOLOGIA

3.1 TEMÁTICA DA PESQUISA

Este trabalho foi elaborado com base no pressuposto de que as verificações de solicitações em perfis metálicos demandam tempo e, devido aos numerosos cálculos, são trabalhosos e suscetíveis a erros quando efetuados manualmente.

3.2 OBJETIVOS

O foco de estudo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que seja capaz de efetuar verificações de solicitações em perfis metálicos fornecendo, para estudantes, engenheiros e profissões afins, uma maneira mais rápida, segura e eficiente de selecionar o perfil metálico mais adequado.

3.3 DEFINIÇÕES

O presente trabalho tem por definição o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que seja capaz de verificar os estados limites últimos para compressão, flexão e flexo compressão, nos quais serão analisados os modos de colapso para flambagem local da mesa, flambagem local da alma e flambagem lateral por torção de perfis metálicos.

3.4 LIMITAÇÕES

Este trabalho traz como limitações os seguintes itens:

- Os perfis metálicos possuem seção constante e dupla simetria
- Para este *software*, será possível verificar apenas perfis W e perfis H.
- Verificações restritas a perfis soldados (CVS, VS, CS) e laminados.

3.5 DELINEAMENTO

A necessidade da criação de um *software* que seja capaz de efetuar as verificações exigidas pela norma brasileira se mostra presente nas rotinas de muitos profissionais de engenharia. Os cálculos, por sua considerável complexidade, demandam tempo e requerem foco e atenção para que todas as exigências de segurança de um projeto sejam cumpridas.

Com base nisso, será desenvolvendo uma ferramenta computacional que seja capaz de executar as verificações para os estados limites últimos exigidos pela ABNT NBR 8800:2008. No processo de programação, foram empregados os requisitos exigidos por norma para verificações de perfis metálicos I e H, com o objetivo de determinar os esforços resistentes para cada um dos estados limites verificados neste trabalho.

Utilizamos como ferramenta básica para o início do projeto o *software* Microsoft Visual Basic 2013, onde a partir de linhas de comando, foram inseridas equações necessárias para a verificação dos esforços nos perfis. Um dos motivos pelo qual o Visual Basic foi escolhido como ferramenta de elaboração deste trabalho é a sua capacidade de moldar o *layout* de um programa, tornando seu manuseio fácil e ágil para o usuário.

Para concluir, utilizou-se o *software* desenvolvido neste trabalho para recalcular exercícios tomados do livro “Estruturas de Aço: Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008” e da apostila “Dimensionamento e verificação de elementos



de estrutura de aço” para verificar a eficiência do programa, bem como erros não perceptíveis e algumas melhorias visuais.

3.6 APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA

Uma vez que as situações do cotidiano de trabalho, que envolvem os estudos de estruturas metálicas já apresentam um aspecto complexo, o *Software* aqui desenvolvido exibe um *layout* simples e prático. Tem como objetivo a verificação da compressão e da flexo compressão segundo a NBR 8800:2008. Traz uma planilha com informações a respeito dos perfis contidos nos bancos de dados, sendo possível alternar os perfis instantaneamente e comparar resultados obtidos entre cada um.

3.6.1 TELA INICIAL

Quando o programa é iniciado pode-se observar no menu superior a opção “Biblioteca” e “Verificações”.

Na aba “Biblioteca” o usuário pode cadastrar, alterar ou remover os perfis, sendo que, há um banco separado para perfis laminados e outro para perfis soldados (Figura 8 – ANEXO: FIGURAS).

Na aba “Verificações” o usuário deve entrar com as informações e selecionar o perfil a partir da planilha de banco de dados. Logo após, pressionando o botão “Calcular” são exibidos os resultados instantaneamente. É possível alterar os perfis e efetuar as verificações novamente clicando em diferentes perfis e comparar os resultados obtidos entre eles (Figura 9 – ANEXO: FIGURAS).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

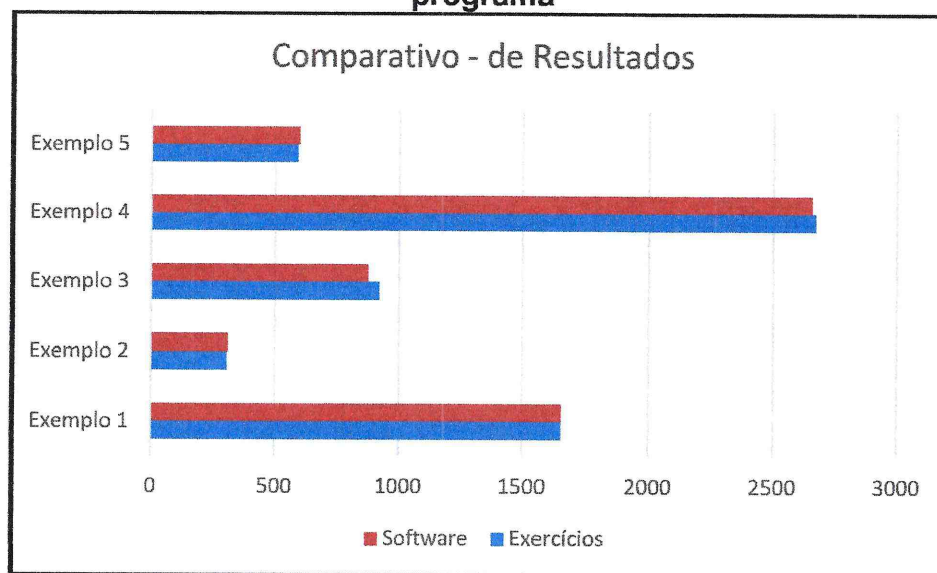
Abaixo apresentamos um comparativo entre os resultados obtidos nos exercícios retirados da apostila de dimensionamento e verificação de elementos de estruturas de aço, citada no referencial deste trabalho, e os exibidos no programa. Verificamos, através do *software* desenvolvido, que a compatibilidade dos resultados obtidos nos exercícios e no programa é satisfatória, visto que há uma mínima divergência de entre alguns dados colhidos nos exercícios e os dados presentes no banco de dados do programa.

Tabela 1 – Comparativo entre os resultados obtidos nos exercícios e no programa

	Exercício	Software	Precisão (%)
Exemplo 1	1653,57 kN	1653,47 kN	100,00
Exemplo 2	308 kN	309.87 kN	100,50
Exemplo 3	921 kN	874,81 kN	94,97
Exemplo 4	2673 kN	2657,49 kN	99,41
Exemplo 5	591,7 kNm	597,5 kNm	100,98



Gráfico 1 - Comparativo entre os resultados obtidos nos exercícios e no programa



Analisando os resultados no gráfico acima, podemos observar sutis diferenças entre os valores de cálculo gerados pelos exercícios e pelo programa. Esse fato decorre da metodologia empregada nas resoluções pelos autores. Foi utilizada uma tabela com valores aproximados do fator de redução (χ) em função de λ_0 , a qual não foi empregada no *software*. Por esse motivo, há pequenas variâncias no resultado, mas sem comprometer em seu desempenho.

5 CONCLUSÕES

Considera-se que o objetivo de criar uma ferramenta computacional que facilitasse a rotina de cálculos que envolve as verificações de compressão e flexocompressão fora alcançado. Devemos levar em conta a importância de se manter os banco de dados atualizados, visto que as propriedades de alguns perfis podem ser alteradas, bem como podem ser inseridos perfis com novas propriedades.

No desenvolvimento desse trabalho, notou-se uma grande quantidade de equações a serem consideradas nos cálculos, sendo que várias possuem um grau de complexidade elevado.

O programa desenvolvido apresenta uma programação simples e pode ser usado em ambiente acadêmico, ou em verificações de peças isoladas. A sugestão para trabalhos posteriores é que sejam inseridos mais tipos de perfis e que as funções sejam ampliadas, tais como, cálculo de verificação de cortante, geração de gráficos de momento fletor, etc.

Pode-se observar que os resultados apresentados demonstraram pequena variabilidade com relação aos exemplos estudados neste trabalho. Desta forma pode-se concluir que o programa é eficiente e proporciona facilidade de uso.



6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: projetos em estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

DIAS, L. A. de M.; **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. 10. Ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2009.

MACHADO, R. T.; **Dimensionamento e verificação de elementos de estrutura de aço**. São Carlos: 2010.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PINHEIRO, A. C. da F. B.; **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2. Ed. São Paulo: Bluncher, 2005.

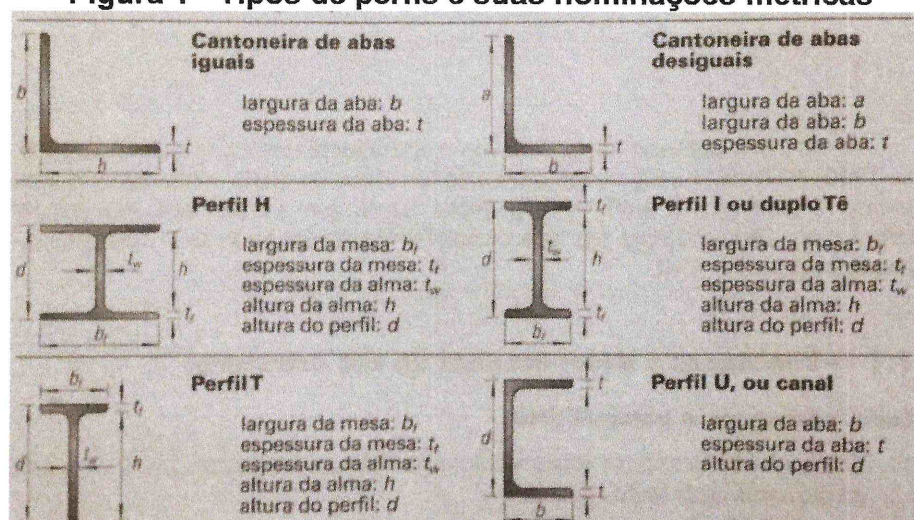
SILVA, V. P. e; **Dimensionamento de estruturas de aço: Apostila para disciplina PEF 2402 – Estruturas metálicas e de madeira**. São Paulo, 2012.

<<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-vantagens.php>> Acesso em: 23 agosto 2017

<<https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/perfis-estruturais-gerdau#ad-image-0>> Acesso em: 27 novembro 2017

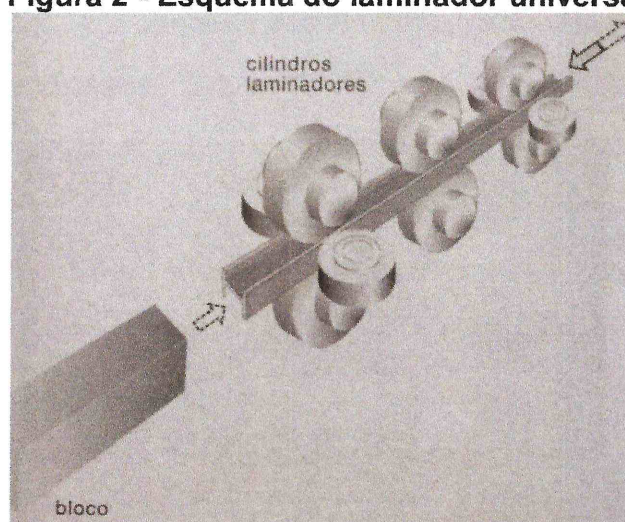
7 ANEXO: FIGURAS

Figura 1 - Tipos de perfis e suas nomenclaturas métricas



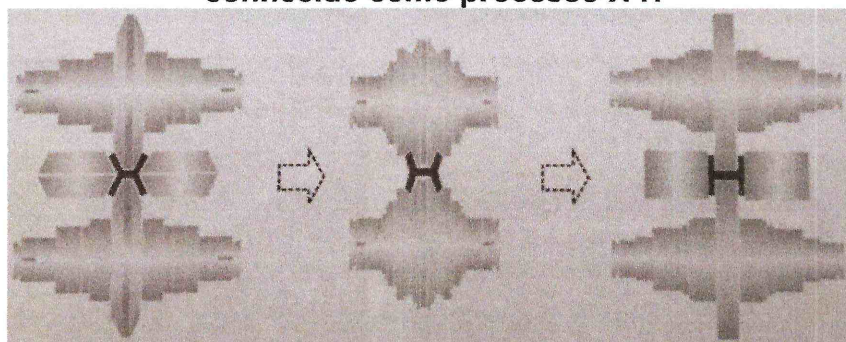
Fonte: PINHEIRO (2005)

Figura 2 - Esquema do laminador universal



Fonte: Dias (2009)

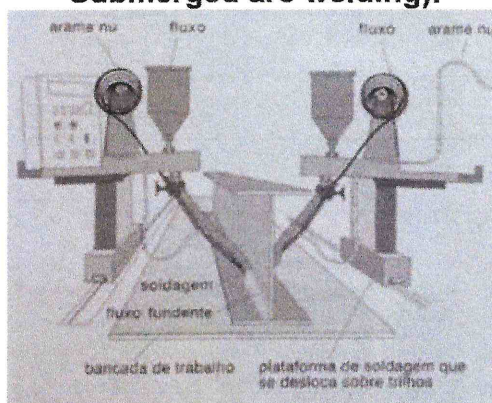
Figura 3 - Esquema do conjunto universal de três cadeiras em sequência, conhecido como processo X-H



Fonte: DIAS (2009)

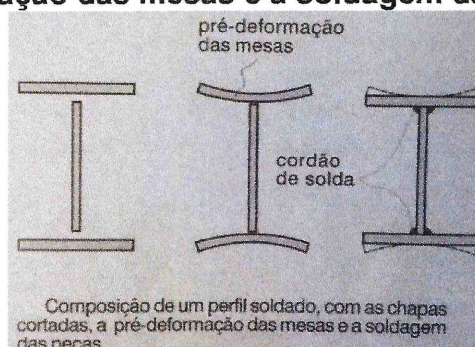


Figura 4 - Esquema da obtenção de um perfil soldado por composição e união das tiras de aço em bancada de trabalho de soldagem a arco submerso (SAW - Submerged arc welding).



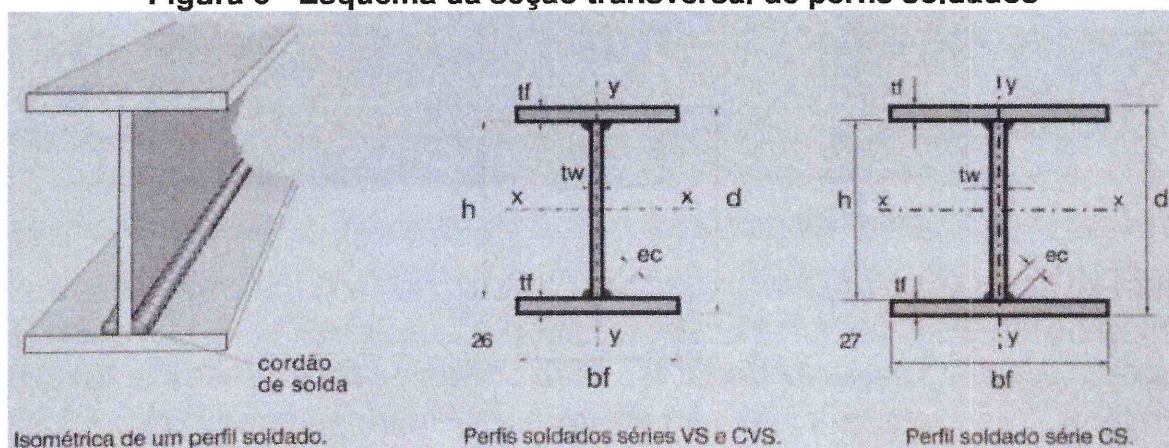
Fonte DIAS (2009)

Figura 5 - Composição de um perfil soldado, com as chapas cortadas, a pré-deformação das mesas e a soldagem das peças



Fonte: DIAS (2009)

Figura 6 - Esquema da seção transversal de perfis soldados



Fonte: DIAS (2009)



Figura 7 - Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida, translação livre Rotação e translação livres					

Fonte: NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 125)

Figura 8 - Banco de dados

Presio - [Form4] Verificação

Banco de Dados

Laminados

Soldados

TOLA

Button 1

	d	tf	tw	tf	h	dimha	area	lx	Wx	rx	Zx
1	W150x18.0	153	5.8	7.1	139	119	23.4	939	122.8	6.34	139.4
2	W150x22.5(H)	152	5.8	6.6	139	119	29	1229	161.7	6.51	179.6
3	W150x24.0	160	5.6	10.3	139	115	31.5	1384	173	6.63	197.6
4	W150x29.8(H)	157	6.6	9.3	138	113	38.5	1739	221.5	6.72	247.5
5	W150x37.1(H)	154	8.1	11.6	139	119	47.8	2244	277	6.85	313.5
6	W200x15.0	200	4.3	5.2	190	170	19.4	1305	130.5	8.2	147.9
7	W200x19.3	203	5.8	6.5	190	170	25.1	1686	166.1	8.19	190.6
8	W200x22.5	206	6.2	8	190	170	29	2029	197	8.37	225.5
9	W200x26.6	207	5.8	8.4	190	170	34.2	2611	252.3	8.73	282.3
10	W200x31.3	210	6.4	10.2	190	170	40.3	3168	301.7	8.86	338.6
11	W200x35.8(H)	201	6.2	10.2	181	161	45.7	3437	342	8.67	379.2
12	W200x41.7(H)	205	7.2	11.8	181	157	53.5	4114	401.4	8.77	448.6
13	W200x46.1(H)	203	7.2	11	181	161	58.6	4543	447.6	8.81	495.3
14	W200x52.0(H)	204	7.9	12.6	181	157	66.9	5298	514.4	8.9	572.5
15	HP200x53.0(H)	204	11.3	11.3	181	161	68.1	4877	488	8.55	551.3
16	W200x59.0(H)	205	9.1	14.2	182	158	76	6140	584.8	8.99	655.9
17	W200x71.0(H)	206	10.2	17.4	181	161	91	7660	705.2	9.17	803.2
18	W200x86.0(H)	222	13	20.6	181	157	110.9	9498	855.7	9.26	984.2
19	W250x17.9	251	4.8	5.3	240	220	23.1	2291	182.6	9.96	211
20	W250x22.3	254	5.8	6.9	240	220	28.9	2939	231.4	10.09	267.7
21	W250x25.3	257	6.1	8.4	240	220	32.6	3473	270.2	10.31	311.1
22	W250x28.4	260	6.4	10	240	220	36.6	4046	311.2	10.51	357.3
Σ		146	6.1	6.1	240	220	23.1	4046	311.2	10.51	357.3

FONTE: AUTOR (2017)



Figura 9 - Tela Inicial

Pressão - (Perfis Laminados):
Banco de Dados Verificação

Selecione o Perfil: W150x18.0

Comprimimentos de Flambagem

$N_{c, Sd}$ kN

Lx m
Ly m
Lz m

Dados de Momento

$M_{x, Sd}$ kNm
 $M_{y, Sd}$ kNm
 C_b
a m

f_y Mpa
 f_u Mpa
E kN/cm²

Calcular!

Resultados

Verificação da Compressão

$N_{c, Rd}$

Verificação da Flexão

$M_{x, Rd}$
 $M_{y, Rd}$

Classificação da seção para FLA

Em X:
Em Y:

Coefficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

Kx
Ky
Kz

Flexo Compressão
Interação:

Id	BITOLA	d	tf	tw
1	W150x18.0	153	102	5.8
2	W150x22.5(H)	152	152	5.8
3	W150x24.0	160	102	6.6
4	W150x23.8(H)	157	153	6.6
5	W150x37.1(H)	162	154	8.1
6	W200x15.0	200	100	4.3
7	W200x19.3	203	102	5.8
8	W200x22.5	206	102	6.2
9	W200x26.6	207	133	5.8
10	W200x31.3	210	134	6.4
11	W200x35.8(H)	201	165	6.2
12	W200x41.7(H)	205	166	7.2
13	W200x46.1(H)	203	203	7.2

A linha tracejada indica a linha neutra de flambagem

Valores teóricos de K_x ou K_y
Valores recomendados

Diagramas de flambagem (a) a (f)

Classificação da seção para FLA

Em X:
Em Y:

FONTE: AUTOR (2017)