

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DA MESA COMPRIMIDA NO MOMENTO RESISTENTE DE PERFIS “I” DE AÇO SOLDADOS

Jordan Sousa dos Anjos (Centro Universitário Luterano de Santarém) E-mail: jordansousa53@outlook.com
Andressa Paz Macambira (Centro Universitário Luterano de Santarém) E-mail: andressa.maca10@gmail.com
Antônio Rodrigo do Carmo Moreira (Universidade Federal do Pará) E-mail: rdcm007@gmail.com

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre um perfil “I” duplamente simétrico e perfis “I” monossimétricos em relação ao momento resistente da seção, considerando a influência do comprimento das mesas comprimidas no estado limite de flambagem local da mesa (FLM). Foram estudados quatro perfis “I”, sendo um perfil duplamente simétrico e os outros três monossimétricos com a redução da mesa comprimida da seção. Os perfis foram calculados em relação ao momento resistente segundo a NBR 8800:2008, analisando cada perfil na situação de viga curta, viga longa e viga contida lateralmente. Conclui-se que o uso do perfil duplamente simétrico obteve maior eficiência no uso em vigas longas sem contenção lateral, já os perfis monossimétricos, principalmente o perfil com a menor mesa, possuem melhor aproveitamento em vigas curtas e vigas contidas lateralmente, devido a maior resistência de sua mesa comprimida.

Palavras-chave: Vigas, perfis monossimétricos, esbeltez, flexão, perfis soldados.

INFLUENCE OF THE LENGTH OF THE COMPRESSED TABLE ON THE RESISTANT MOMENT OF WELDED STEEL “I” PROFILES

Abstract: This work presents a comparative study between a doubly symmetrical “I” profile and monosymmetrical “I” profiles in relation to the resistant moment of the section, considering the influence of the length of the compressed tables on the limit state of the table's buckling (FLM). Four “I” profiles were studied, one profile being doubly symmetrical and the other three monosymmetrical with the reduction of the compressed table of the section. The profiles were calculated in relation to the resistant moment according to NBR 8800: 2008, analyzing each profile in the situation of short beam, long beam and beam contained laterally. It was concluded that the use of the double symmetrical profile proved to be more efficient in the use of long beams without lateral containment, whereas monosymmetrical profiles, especially the profile with the smallest table, are better used in short beams and beams contained laterally, due to the greater resistance of your table compressed.

Keywords: Beams, monosymmetrical profiles, slenderness, flexion, welded profiles.

1. Introdução

Em estruturas metálicas, os perfis do tipo “I” são amplamente utilizados como elementos principais em pilares e vigas, principalmente, sendo que esses perfis podem ser laminados ou soldados. Segundo Pfeil (2009) os perfis soldados são formados pela associação de chapas ou perfis laminados simples, sendo que suas ligações são originadas pela solda. Ainda segundo o autor, o uso desses perfis se justifica quando os perfis laminados simples não atendem as necessidades de cálculo, como por exemplo, em colunas ou estacas em que se deseja um momento de inércia elevado nas duas direções principais. Essa linha de raciocínio também pode ser usada para vigas que devem vencer grandes vãos suportando grandes cargas, como as vigas longarinas de pontes por exemplo, em que os perfis laminados disponíveis no mercado podem não atender as necessidades do projeto.

Usualmente os perfis “I” soldados empregados em grandes estruturas, são perfis duplamente simétricos, e existem situações em que esses perfis são formados por chapas

relativamente finas configurando assim um perfil de seção esbelta. Para os perfis de seção “I”, segundo o item 5.4.2.1 da NBR 8800:2008, que trata sobre o dimensionamento de elementos sujeitos a momento fletor, devem ser verificados os estados limites últimos de flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa comprimida (FLM), flambagem local da alma (FLA).

Segundo Hibbeler (2004), o comportamento de qualquer barra deformável sujeita a momento fletor faz o material da parte inferior esticar-se e o material da parte superior comprimir-se. Como exemplificado por Pfeil (2009), os elementos comprimidos estão sujeitos a flambagem local, que é a perda de estabilidade das chapas comprimidas, fenômeno que reduz o momento fletor resistente da seção.

De acordo com Pfeil (2009), as normas americana e brasileira classificam os elementos das seções em compactas, semicompactas e esbeltas, e que nas seções compactas a ruptura do elemento se dá pela plastificação do mesmo, nas seções semi compactas ocorre uma plastificação parcial e nas seções esbeltas ocorre a flambagem local do elemento antes da plastificação.

O que se pode entender através desses pontos é que as seções esbeltas comprimidas são menos resistentes do que as seções compactas comprimidas, mesmo que as áreas dos elementos sejam iguais. Assim, pode-se supor que a redução de comprimento de uma mesa comprimida esbelta de uma seção, transformando-a um elemento semi compacto ou compacto, torne o mesmo mais resistente aos esforços de compressão na verificação do estado limite de flambagem local da mesa comprimida.

É possível constatar se essa teoria está correta por meio de um estudo simples. Porém este trabalho não busca estabelecer uma regra ou números definitivos a esse respeito, mas sim, apontar caminhos para estudos futuros, com análises mais adequadas para que se possam obter resultados precisos.

Desse modo, este estudo consistiu em avaliar a influência do comprimento da mesa comprimida em perfis do tipo “I” soldados duplamente simétricos e monossimétricos, além de avaliar em qual situação cada perfil é mais eficiente. Para atender a esse objetivo, foram definidas seções e estas foram calculadas seguindo os parâmetros definidos na NBR 8800:2008, norma brasileira que trata sobre projeto de estruturas metálicas.

2. Metodologia

A metodologia adotada para esse estudo consistiu na definição dos perfis a serem analisados, tanto o perfil “I” duplamente simétrico, quanto os perfis monossimétricos baseados neste último, após isso foram calculados os índices de esbeltez dos elementos, bem como sua classificação e dimensionamento, seguindo os critérios de segurança da NBR 8800:2008. Os cálculos foram feitos utilizando o software Excel, com eventuais verificações manuais para validar os resultados calculados. O significado dos coeficientes utilizados neste estudo pode ser encontrado no item G.3 do Anexo G da NBR 8800:2008, alguns de maior importância estão citados no decorrer deste trabalho.

2.1. Definição dos perfis

Os perfis analisados no estudo são perfis “I” soldados. Todos são compostos por chapas de ½” (meia polegada), ou seja, as dimensões t_w (espessura da alma) e t_f (Espessura das mesas) são constantes e com o mesmo valor. Seu material é o aço MR250 com tensão de escoamento $f_y = 25 \text{ KN/cm}^2$ e módulo de elasticidade $E = 20000 \text{ KN/cm}^2$.

Primeiramente definiu-se o perfil duplamente simétrico com alma compacta e mesas esbeltas. Para isso, foram calculados os limites de esbeltez definidos em equações presentes no Anexo G da NBR 8800:2008, essas equações estão representadas nas equações 1 e 2. Na Equação 1 é definido o limite máximo para mesas de perfis “I” duplamente simétricos, e com esse limite é calculado o comprimento mínimo para que a mesa seja classificada como esbelta. Na Equação 2 é definido o limite máximo para a alma ser considerada compacta.

$$\lambda_{r,mesa} = 0,95 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/K_c}} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\lambda_{p,alma} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{Eq. (2)}$$

O coeficiente K_c foi calculado conforme o item F.2 disponível no Anexo F da NBR 8800:2008, já o σ_r (tensão residual) foi definido como 30% da tensão de escoamento do aço utilizado, obedecendo critérios estabelecidos na nota 5 relacionada a tabela G.1 da referida norma.

Por meio dessas equações chegou-se aos valores de $\lambda_{r,mesa} = 22,8$ e $\lambda_{p,alma} = 106,35$, e com esses valores é possível calcular os comprimentos de mesa e alma para que estejam adequados as classificações adotadas. Nas Equações 3 e 4, o resultado dos comprimentos necessários.

$$\lambda_{mesa} = \frac{b_f}{2t_f} \cdot b_f = 22,8 * 2 * 1,27 \rightarrow b_f \cong 58 \text{ cm} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$\lambda_{alma} = \frac{h}{t_w} \cdot h = 106,35 * 1,27 \rightarrow h \cong 135 \text{ cm} \quad \text{Eq. (4)}$$

Segundo a equação 3, para a mesa de ½” ser considerada esbelta, ela precisa de um comprimento mínimo de 58 cm, porém foi adotado o valor de 60 cm para as mesas. De acordo com a equação 4, o valor máximo para a alma de ½” ser considerada compacta é de 135 cm, para a alma do perfil será adotada uma altura de 80 cm, sendo esta classificada como alma compacta.

Após definidas as dimensões da seção “I” duplamente simétrica, foram definidas as dimensões das seções monossimétricas, a alma de ½” x 800 mm será usada em todos os perfis assim como as dimensões de ½” x 600 mm da mesa inferior. Para a mesa superior foi reduzido o comprimento do elemento proporcionalmente seguindo uma regra, para o primeiro perfil monossimétrico, sua mesa foi reduzida em 1/5 do seu comprimento total, para o segundo perfil monossimétrico, sua mesa foi reduzida em 1/4 do seu comprimento total, e para o terceiro perfil, mesa reduzida em 1/3 do comprimento total. Na Equação 5 é mostrada a regra utilizada para a definição do comprimento das mesas superiores dos perfis.

$$b_{f,M} = b_f - \left(\left(\frac{1}{x} \right) * b_f \right) \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

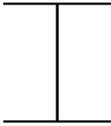
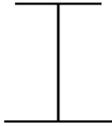
$b_{f,M}$ – Comprimento da mesa superior do perfil monossimétrico;

b_f – Comprimento da mesa do perfil duplamente simétrico;

$1/x$ – A relação de comprimento que foi reduzida do comprimento inicial da mesa.

Para resumir e facilitar o entendimento dos resultados, na Tabela 1 é possível visualizar a geometria dos perfis que serão estudados.

Tabela 1: Medidas de alma e mesa dos perfis utilizados no estudo.

Perfis formados por chapas de ½" (meia polegada)	I-DS	I-M($\frac{1}{5}$)	I-M($\frac{1}{4}$)	I-M($\frac{1}{3}$)
				
Alma	800 mm	800 mm	800 mm	800 mm
Mesa Inferior	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm
Mesa Superior	600 mm	480 mm	450 mm	400 mm

A nomenclatura acima da ilustração dos perfis, presente na Tabela 1, refere-se ao perfil duplamente simétrico (I-DS) e aos perfis monossimétricos e suas respectivas relações de comprimento das mesas superiores (I-M (1/x)). Assim, ao longo do trabalho os perfis serão referidos com essa nomenclatura. Ainda de acordo com a Tabela 1, as ilustrações estão representadas proporcionalmente de forma a melhorar o entendimento de sua geometria.

2.2. Propriedades geométricas

Para dar prosseguimento aos cálculos é necessário obter as propriedades geométricas dos perfis, essas propriedades foram obtidas rapidamente utilizando o software Autodesk Robot 2019 em sua versão estudantil, o módulo utilizado foi “definição de seção”.

Primeiramente o software foi configurado para trabalhar com suas unidades em milímetros (mm), e o seu material foi definido como aço MR250 para todos os perfis. Cada perfil foi desenhado separadamente e dentro da janela de cálculo das propriedades geométricas do perfil foram calculados adicionalmente a constante de torção (J) e o módulo de resistência plástico da seção (Z_x), além das outras propriedades geométricas importantes para o dimensionamento do perfil.

Em relação aos módulos de resistência elásticos, observou-se que o software mostrava apenas os módulos de elasticidade mínimos em cada eixo principal da seção, portanto, os módulos de resistência do lado comprimido e do lado tracionado das seções (W_c e W_t), dados que serão importantes para o dimensionamento das seções monossimétricas, foram calculados manualmente usando a Equação 6 correspondente e utilizada por Pfeil (2009).

$$W = \frac{I}{Y} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

W – Módulo de elasticidade do lado tracionado ou comprimido da seção;

I – Momento de inércia da seção, em relação ao eixo analisado;

Y – Distância da borda mais tracionada ou borda mais comprimida ao centroide da seção da peça.

Após calculadas as propriedades geométricas de todos os perfis, seus resultados foram organizados na Tabela 2, contendo todos os dados referentes aos perfis que serão usados nos cálculos.

Tabela 2: Propriedades geométricas dos perfis.

Perfil	I-DS	I-M (1/5)	I-M (1/4)	I-M (1/3)
Área bruta (A_g)	254 cm ²	238,76 cm ²	234,95 cm ²	228,60 cm ²
Centroide Y (YCG)	41,27 cm	38,68 cm	37,97 cm	36,75 cm
Momento de inércia X (I_x)	305860 cm ⁴	279078 cm ⁴	271842 cm ⁴	259247 cm ⁴
Momento de Inercia Y (I_y)	45734 cm ⁴	34578 cm ⁴	32518 cm ⁴	29647 cm ⁴
Constante de torção (J)	153,69 cm ⁴	143,25 cm ⁴	141,69 cm ⁴	137,62 cm ⁴
Raio de giração X (i_x)	34,7 cm	34,2 cm	34,02 cm	33,68 cm
Raio de giração Y (i_y)	13,4 cm	12,03 cm	11,76 cm	11,39 cm
Módulo elástico X (W_c)	7411 cm ³	6362 cm ³	6100 cm ³	5662 cm ³
Módulo elástico X (W_t)	7411 cm ³	7215 cm ³	7159 cm ³	7054 cm ³
Módulo plástico X (Z_x)	8224 cm ³	7559 cm ³	7379 cm ³	7065 cm ³

2.3. Definição de viga curta e viga longa

Para encontrar os comprimentos mínimos e máximos para classificar as vigas quanto a flambagem lateral com torção, foi utilizada a Equação 7 para limite mínimo, tanto para viga “I” duplamente simétrica, quanto para as vigas “I” monossimétricas, e as Equações 8 e 9 para o limite máximo para a viga “I” duplamente simétrica e para as vigas “I” monossimétricas respectivamente. Essas equações estão disponíveis na tabela G.1 do Anexo G da NBR 8800:2008.

$$\lambda_p = 1,76\sqrt{\frac{E}{f_y}} \tag{Eq. (7)}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27C_w \beta_1^2}{I_y}}} \tag{Eq. (8)}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y J}}{r_{yc} J \beta_1} \sqrt{\beta_2 + \sqrt{\beta_2^2 + \frac{27C_w \beta_1^2}{I_y}}} \tag{Eq. (9)}$$

Os coeficientes β_1 , β_2 e C_w foram calculados segundo as respectivas notas relacionadas ao final da tabela G.1 da NBR 8800:2008. O raio de giração em torno do eixo Y (r_{yc}) da seção T comprimida dos perfis monossimétricos foi calculada segundo as equações de momento de inércia definidos por Hibbeler (2004). Os raios de giração das seções comprimidas dos perfis monossimétricos são apresentados na Tabela 3, já os resultados de limites de esbeltez das seções são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3: Raio de giração das seções T comprimidas de perfis monossimétricos.

Perfil	I-M (1/5)	I-M (1/4)	I-M (1/3)
r_{yc}	10,09 cm	9,28 cm	7,95 cm

Tabela 4: limites de esbeltez para flambagem lateral com torção.

Perfil	I-DS	I-M (1/5)	I-M (1/4)	I-M (1/3)
λ_p	49,78	49,78	49,78	49,78
λ_r	132,73	139,44	141,56	145,71

A partir desses resultados foi possível calcular os comprimentos máximos para vigas curtas e comprimentos mínimos para vigas esbeltas. Usando as equações de λ para flambagem lateral com torções disponíveis na tabela G.1 da NBR 8800:2008, descobriu-se os comprimentos necessários para classificar as vigas em curtas e longas. As equações utilizadas foram a Equação 10 para seção “I” duplamente simétrica e Equação 11 para as seções monossimétricas.

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} \therefore L_b = \lambda * r_y \quad \text{Eq. (10)}$$

$$\lambda = \frac{L_b}{r_{yc}} \therefore L_b = \lambda * r_{yc} \quad \text{Eq. (11)}$$

Os resultados dessas expressões para seus respectivos perfis são apresentados na Tabela 5. Para a seção duplamente simétrica foi utilizado raio de giração no eixo Y disponível na Tabela 2, e para as seções monossimétricas foram utilizados os seus respectivos raios de giração em torno do eixo Y de seção comprimida, já apresentados na Tabela 3. Lembrando que para $\lambda < \lambda_p$ a viga é curta, e para $\lambda > \lambda_r$ a viga é esbelta.

Tabela 5: Comprimentos de vigas.

Perfil	I-DS	I-M (1/5)	I-M (1/4)	I-M (1/3)
L_b Viga curta	668 cm	502 cm	461 cm	395 cm
L_b Viga longa	1782 cm	1407 cm	1314 cm	1159 cm

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 5 foi definido os comprimentos de vigas a serem calculados. Os perfis serão calculados em relação a flambagem lateral com torção tanto como vigas curtas como vigas longas. O menor valor para viga curta é o do perfil I-M (1/3) com 395 cm, assim, foi adotado um valor de 350 cm para calcular as vigas, sendo classificadas em vigas curtas. O maior valor para viga longa é o do perfil I-DS com 1782 cm, assim, as vigas também serão calculadas com 2000 cm de comprimento, garantindo que todas serão classificadas em vigas longas com esse comprimento.

2.4. Dimensionamento dos perfis

Cada perfil será calculado com o mesmo material, com as mesmas dimensões para viga curta e viga longa, já definidos no item 2.3, e com o mesmo coeficiente C_b , que no caso deste estudo, que não apresenta esforços solicitantes, será tomado conservadoramente como 1,0. Os perfis foram verificados quanto a flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa (FLM) e flambagem local da alma (FLA), usando os parâmetros referentes ao momento fletor resistente, dados na tabela G.1 da NBR 8800:2008.

Primeiramente os elementos de mesa e alma dos perfis foram classificados quanto a sua esbeltez usando os dados de geometria obtidos da tabela 1 e suas equações retiradas da tabela G.1 da NBR 8800:2008, a classificação quanto ao comprimento já foi definida usando os dados da Tabela 5. E um resumo dessa classificação é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Classificação dos elementos dos perfis.

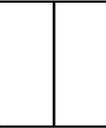
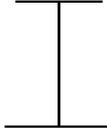
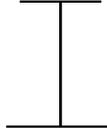
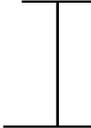
Perfis	I-DS	I-M (1/5)	I-M (1/4)	I-M (1/3)
Alma	Compacta	Semicompacta	Semicompacta	Semicompacta
Mesa Inferior	Esbelta	Esbelta	Esbelta	Esbelta
Mesa Superior	Esbelta	Semicompacta	Semicompacta	Semicompacta

É importante destacar que o limite λ_p para almas de seções “I” monossimétricas depende da geometria da seção e de seu momento de início de plastificação e momento de plastificação total, isso explica o fato de os perfis apresentarem classificações diferentes mesmo com suas almas tendo as mesmas dimensões. Já as mesas superiores tiveram seus comprimentos reduzidos em relação ao perfil inicial, explicando assim a sua classificação de esbelta no perfil duplamente simétrico, para Semicompacta nos perfis monossimétricos. A mesa inferior dos perfis permaneceu com as mesmas dimensões, conseqüentemente com a mesma classificação.

3. Resultados e discussões

Com a classificação dos elementos dos perfis, bem como o seu comprimento, seus momentos resistentes foram calculados seguindo rigorosamente as equações e parâmetros definidos no Anexo G da NBR 8800:2008, seja com o cálculo dos momentos de plastificação, interpolação linear, ou cálculo de momentos críticos. Os resultados de todos esses cálculos foram organizados na Tabela 7, com as verificações de flambagem lateral com torção (FLT) para os comprimentos de 350 cm e 2000 cm, verificações de flambagem local da mesa (FLM) e flambagem local da alma (FLA), além de sua área bruta de seção e momento de inércia no eixo de flexão para comparação.

Tabela 7: resultados de verificações de momento fletor resistente dos perfis.

Perfis formados por chapas de ½” (meia polegada)	I-DS	I-M($\frac{1}{5}$)	I-M($\frac{1}{4}$)	I-M($\frac{1}{3}$)
				
Área Bruta (A_g)	254 cm ²	238,76 cm ²	234,95 cm ²	228,60 cm ²
Inércia (I_x)	305860 cm ⁴	279078 cm ⁴	271842 cm ⁴	259247 cm ⁴
FLT (350 cm)	1308 KNm	1718 KNm	1677 KNm	1606 KNm
FLT (2000 cm)	957 KNm	555 KNm	479 KNm	371 KNm
FLM	1095 KNm	1241 KNm	1268 KNm	1313 KNm
FLA	1869 KNm	1664 KNm	1615 KNm	1531 KNm

O primeiro ponto a ser analisado nesses resultados são as propriedades geométricas dos perfis. Em relação a área bruta de seção (A_g), verificou-se a diminuição desse parâmetro à medida que se diminuía o comprimento da mesa comprimida dos perfis, considerando que todos os perfis são constituídos do mesmo material, como visto em 2.1, a redução da área bruta do perfil irá resultar em um elemento com o peso próprio menor. Sobre o momento de inércia no eixo de flexão (I_x), com a diminuição das áreas brutas, nota-se também a diminuição do momento de inércia, assim, é possível afirmar que os perfis monossimétricos, irão apresentar maiores deslocamentos comparados ao perfil I-DS, mesmo que o vão, material e carregamentos sejam iguais.

Sobre o momento resistente para vigas curtas com 350 cm de vão, notou-se que a resistência dos perfis monossimétricos eram maiores que a resistência do perfil duplamente simétrico, e que essa resistência foi maior no perfil I-M (1/5) diminuindo ao ter suas mesas reduzidas nos próximos perfis monossimétricos, porém ainda sendo maiores que a resistência do perfil I-DS. Já em relação as vigas longas com 2000 cm de vão, notou-se o contrário, o perfil I-DS é o mais resistente, com os perfis monossimétricos com menor capacidade de carga e diminuindo à medida que se diminui o comprimento das mesas comprimidas.

Em relação a flambagem local da alma (FLA) e flambagem local da mesa (FLM), essas verificações não dependem do comprimento da viga, portanto são os mesmos valores tanto para a viga curta de 350 cm quanto para a viga longa de 2000 cm. Os valores de resistência por flambagem local da alma diminuíram à medida que diminuía o comprimento da mesa superior dos perfis, porém não foram determinantes para o momento resistente da seção como um todo. Os valores de resistência à flambagem local da mesa aumentaram com a redução de comprimento das mesas superiores.

Após as análises dos parâmetros de forma individual, prossegue-se agora para as análises dos casos para vigas curtas, vigas longas e vigas com contenção lateral contínua. Para cada caso serão obtidos os momentos críticos resistentes, que são os menores para cada verificação.

3.1. Vigas curtas sem contenção contínua

Para vigas sem contenção contínua os três estados limites FLT, FLM e FLA foram analisados, na Tabela 8 é mostrado os resultados obtidos na Tabela 7, porém apenas com a situação analisada no momento. Destacados em preto, estão os valores mínimos que definem o momento resistente de cada seção, é possível notar que a flambagem lateral com torção não é determinante, fato esse que já foi afirmado por Pfeil (2009, p.166), além disso, o momento resistente nesse caso se deu por flambagem local da mesa (FLM).

Tabela 8: Momento resistente para viga curta.

Perfis	I-DS	I-M (1/5)	I-M (1/4)	I-M (1/3)
FLT (350 cm)	1308 KNm	1718 KNm	1677 KNm	1606 KNm
FLM	1095 KNm	1241 KNm	1268 KNm	1313 KNm
FLA	1869 KNm	1664 KNm	1615 KNm	1531 KNm

Por meio da tabela 8 é possível afirmar que a seção monossimétrica I-M (1/3) é a mais vantajosa de ser utilizada nessa situação, devido a sua maior resistência ao momento fletor.

3.2. Vigas longas sem contenção contínua

A situação de vigas longas foi estudada por meio dos resultados organizados na Tabela 9, nela é possível perceber que os momentos críticos se dão pela flambagem lateral com torção, e os perfis monossimétricos tiveram a sua resistência diminuída à medida que se diminuía o comprimento das mesas comprimidas.

Tabela 9: Momento resistente de vigas longas.

Perfis	I-DS	I-M (1/5)	I-M (1/4)	I-M (1/3)
FLT (2000 cm)	957 KNm	555 KNm	479 KNm	371 KNm
FLM	1095 KNm	1241 KNm	1268 KNm	1313 KNm
FLA	1869 KNm	1664 KNm	1615 KNm	1531 KNm

Por meio da tabela 9 é possível afirmar que a seção I-DS é a mais vantajosa de ser utilizada nessa situação.

3.3. Vigas contidas lateralmente

Segundo Pfeil (2009) as vigas contidas lateralmente não estão sujeitas ao fenômeno de flambagem lateral, portanto, nessa situação foram analisadas apenas os estados limites FLM e FLA. Na Tabela 10 os resultados do estudo, sendo possível afirmar que o momento crítico das seções se deu pela flambagem local da mesa, sendo a seção I-M (1/3) o mais resistente.

Tabela 10: Momento resistente de vigas contidas lateralmente

Perfis	I-DS	I-M (1/5)	I-M (1/4)	I-M (1/3)
FLM	1095 KNm	1241 KNm	1268 KNm	1313 KNm
FLA	1869 KNm	1664 KNm	1615 KNm	1531 KNm

Por meio da Tabela 10 é possível afirmar que a utilização da seção I-M (1/3) é tecnicamente melhor nessa situação.

4. Conclusão

A metodologia utilizada para este estudo permitiu que se fosse atingido o objetivo principal do trabalho, que foi a análise da influência do comprimento da mesa comprimida em perfis “I” de seções duplamente simétricas e monossimétricas segundo a NBR 8800:2008. A análise entre os casos apresentados levou a resultados consistentes, porém a limitação dos exemplos não permitiu quantificar precisamente a influência dos diversos dados como esbeltez dos elementos, espessuras de mesas e almas, tipos de vínculos em estruturas, etc., mas ainda assim pôde-se analisar alguns parâmetros que poderão dar indicativos importantes para projetos de vigas em estruturas metálicas.

Estudando o caso de vigas curtas sem contenção contínua, observou-se o que foi dito por Pfeil (2009), que diz que o efeito de flambagem lateral pode ser desprezado nesse caso, além disso, o perfil que foi mais eficiente nessa situação foi o perfil I-M (1/3), ou seja, o perfil com a mesa mais compacta entre todos foi o que teve a sua resistência maior.

No caso de vigas longas sem contenção contínua, o perfil I-DS foi o mais indicado, seu momento resistente, assim como os outros perfis, se deu por flambagem lateral com torção, sendo que o perfil duplamente simétrico foi o mais resistente nessa situação.

Já no caso de vigas contidas lateralmente, por exemplo uma viga que suporta uma laje de concreto, os perfis mais resistentes foram os perfis monossimétricos, que tiveram o seu momento resistente dado justamente pelo estado limite de flambagem local da mesa (FLM), confirmando assim, de certa forma que a redução do comprimento da mesa comprimida pode aumentar a resistência da seção como um todo em certos casos específicos.

É evidente que outras situações devem ser estudadas, mas ainda assim não é possível estabelecer valores que sejam corretos para cada situação, ainda é preciso que se analise o que é ideal para cada caso. O uso de vigas “I” duplamente simétricas se mostrou mais eficiente em uma situação de viga longa sem contenção lateral, porém em vigas curtas e em vigas contidas lateralmente, foi possível se obter uma seção mais leve, com menor peso próprio e que fosse ainda mais resistente que a seção “I” duplamente simétrica,

usando uma seção “I” monossimétrica adequadamente em um projeto é possível economizar no peso próprio da estrutura além do seu custo para produzi-la.

Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008). NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 237 p.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 5^a. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.