LUMEN ET VIRTUS

Comparativo da utilização da NBR 8800 e da NBR 14762 para o dimensionamento à flexão de perfis de aço

https://doi.org/10.56238/levv15n39-109

Jessica Almeida Monteiro Arruda
E-mail: jamarruda@uefs.br

Carlos Frederico Macêdo Cortês
E-mail: carlosfmcortes.ufrb@gmail.com

RESUMO
Este artigo apresenta os resultados da resistência à flexão de perfis de aço laminados com formato U e perfis formados a frio de seção UDCS (U dobrado de chapa simples), utilizando os procedimentos das Normas Brasileiras ABNT NBR 8800:2008, que trata do projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto para edifícios, e ABNT NBR 14762:2010, que aborda o dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Para a análise, foram desenvolvidas rotinas no software Microsoft Excel, que possibilitaram a realização de comparações quanto à viabilidade de uso dos dois tipos de perfis. As comparações incluíram grupos de perfis dos dois tipos, selecionados com base em áreas de seção transversal semelhantes e momentos de inércia próximos, a fim de estabelecer parâmetros mais precisos para a análise. Os resultados indicaram que, apesar de ambos os perfis atenderem a requisitos específicos de resistência, os procedimentos normativos das duas normas ABNT aplicadas não são diretamente comparáveis entre si, o que implica na necessidade de considerações distintas para cada tipo de perfil ao avaliar a sua viabilidade estrutural. Essa diferença destaca a importância de uma análise criteriosa na escolha dos perfis a serem utilizados em projetos estruturais, considerando as especificidades e limitações de cada norma.

Palavras-chave: Momento Fletor Resistente, Comparação, Normas da ABNT.

1 INTRODUÇÃO

A Construção Civil necessita de conhecimentos técnicos e materiais que a tornem mais eficiente, com maior qualidade e melhor rendimento. As estruturas metálicas ganharam um grande destaque nas últimas décadas por serem produzidas com elementos pré-fabricados, garantindo rapidez e precisão na execução das obras.

Os perfis de aço formados a frio (PFF), também conhecidos como perfis de chapa dobrada, são fabricados através de máquinas, em temperatura ambiente, a partir de chapas de aço planas que são deformadas em seções de formato conveniente e específico às necessidades de projeto.

Estes perfis são muito utilizados na construção civil devido ao seu custo-benefício, leveza, facilidade de manuseio e transporte, sobretudo em obras que possuem vãos e carregamentos pequenos. Exemplos da utilização desses perfis são: terças, andaimes, armações para forros, longarinas, entre outros (RODRIGUES, 2000).

No entanto, como consequência da grande relação largura-espessura dos elementos planos que compõe sua seção transversal, esses perfis apresentam maior susceptibilidade a flambagem local, o que não significa, de um modo geral, esgotamento da capacidade resistente do perfil, segundo Javaroni e Gonçalves (2002). A teoria da instabilidade de chapas permite prever cargas críticas, bem como a análise do comportamento pós-crítico, podendo ser feito através do conceito da largura efetiva.

Em particular ao caso dos perfis UDCS (U dobrado de chapa simples), protagonista deste artigo, a norma técnica da ABNT que rege seu dimensionamento e verificação é a NBR 14762:2010.

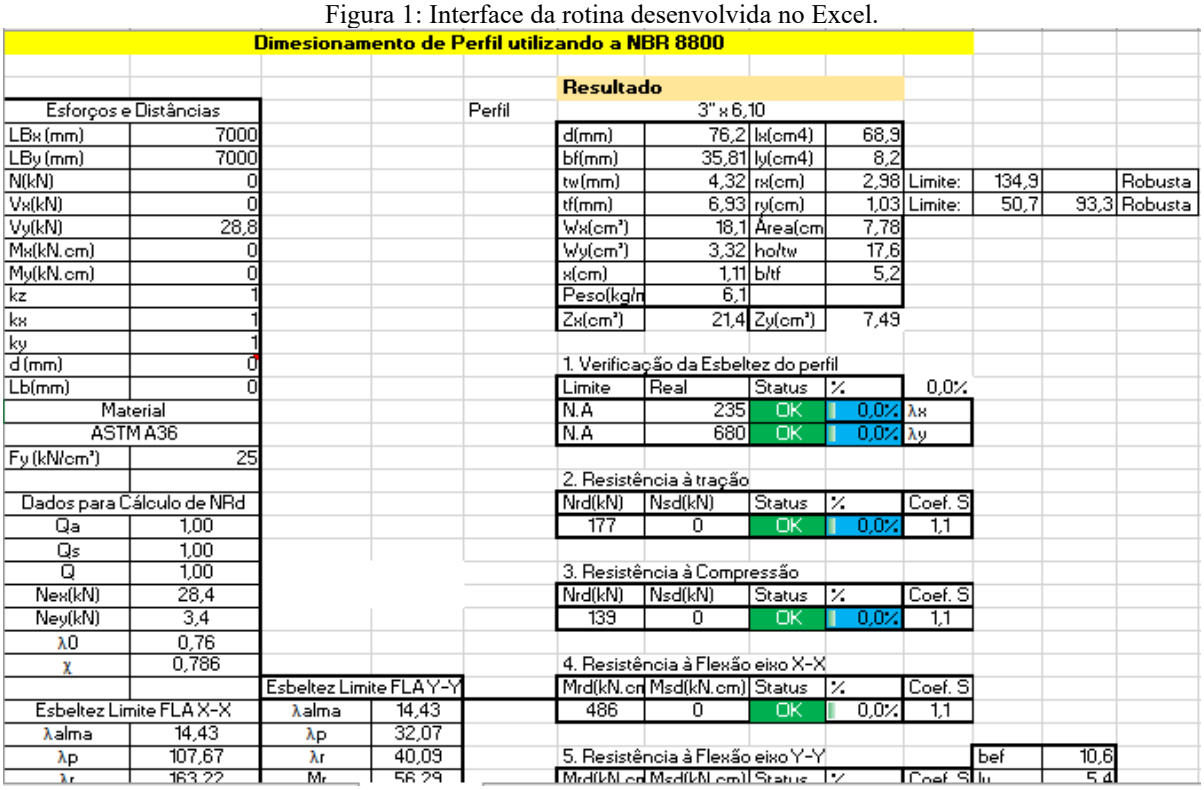
Os perfis laminados são produzidos através da laminação de blocos de aço, em sistema de laminação contínua. Esses perfis são peças que apresentam grande eficiência estrutural, devido, sobretudo ao método de fabricação e o fato de serem peças únicas, sem soldas, apresentando leve inclinação na constituição dos elementos AL (mesas e abas), podendo ser encontradas sob diversas geometrias: H, I, U etc. É ideal para aplicações que exijam maior resistência e robustez, sendo utilizado principalmente como vigas, colunas e elementos de contraventamento.

Para este artigo, o perfil utilizado foi o padrão americano, tipo U, cujo dimensionamento e verificação será regido pela norma da ABNT NBR 8800:2008.

2 METODOLOGIA

Foi desenvolvida uma rotina no software Excel, com todo procedimento de cálculo necessário para calcular a resistência a flexão, utilizando como fontes a norma NBR 8800:2008 para os perfis laminados. Pelo lado dos perfis UDCS, foram realizados cálculos manuais com base na NBR 14762:2010, conferidos com auxílio do software DimPerfil4.0. Na figura 1, é possível observar a planilha para perfis laminados.

Figura 1: Interface da rotina desenvolvida no Excel.



Dimesionamento de Perfil utilizando a NBR 8800

Esforços e Distâncias	
LBx (mm)	7000
LBy (mm)	7000
N(kN)	0
Vx(kN)	0
Vy(kN)	28,8
Mx(kN.cm)	0
My(kN.cm)	0
kz	1
kx	1
ky	1
d (mm)	0
Lb(mm)	0
Material	
ASTM A36	
Fy (kN/cm²)	25

Dados para Cálculo de NRd	
Qa	1,00
Qs	1,00
Q	1,00
Nex(kN)	28,4
Ney(kN)	3,4
λ0	0,76
χ	0,786

Esbeltez Limite FLA X-X	
λalma	14,43
λp	107,67
λr	163,22

Esbeltez Limite FLA Y-Y	
λalma	14,43
λp	32,07
λr	40,09
Mr	56,29

Perfil

Resultado

3" x 6,10

d(mm)	76,2	Ix(cm4)	68,9
bf(mm)	35,81	Iy(cm4)	8,2
tw(mm)	4,32	rx(cm)	2,98
tf(mm)	6,93	ry(cm)	1,03
Wx(cm³)	18,1	Área(cm	7,78
Wy(cm³)	3,32	ho/tw	17,6
x(cm)	1,11	b/tf	5,2
Peso(kg/m	6,1		
Zx(cm³)	21,4	Zy(cm³)	7,49

1. Verificação da Esbeltez do perfil

Limite	Real	Status	%	0,0%
N.A	235	OK	0,0%	λx
N.A	680	OK	0,0%	λy

2. Resistência à tração

Nrd(kN)	Nsd(kN)	Status	%	Coef. S
177	0	OK	0,0%	1,1

3. Resistência à Compressão

Nrd(kN)	Nsd(kN)	Status	%	Coef. S
139	0	OK	0,0%	1,1

4. Resistência à Flexão eixo X-X

Mrd(kN.cm	Msd(kN.cm)	Status	%	Coef. S
486	0	OK	0,0%	1,1

5. Resistência à Flexão eixo Y-Y

Limite:	134,9		Robusta			bef	10,6
Limite:	50,7	93,3	Robusta			lu	5,4

Fonte da pesquisa: A autora.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 APLICAÇÃO DA ABNT NBR 8800:2008[1] AOS PERFIS FLETIDOS

Para a verificação da capacidade resistente dos perfis metálicos laminados U aos esforços solicitantes de flexão, avaliou-se os seguintes estados limites: Flambagem Local da Alma (FLA), Flambagem Local da Mesa (FLM) e Flambagem Lateral à Torção (FLT).

3.2 FLAMBAGEM LOCAL COM TORÇÃO (FLT)

Nesta verificação, os perfis U foram considerados sem contenção lateral. Logo tem-se $L_b \neq 0$, sendo L_b o comprimento destravado.

Determinação do coeficiente de esbeltez do perfil a torção (λ): $\lambda = \frac{L_b}{r_y}$.

Esse valor deve ser comparado como valor da esbeltez $\lambda_p = 1,76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$ ou $\lambda_r = 1,38\frac{\sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1}\sqrt{1+\sqrt{1+\frac{27C_w\beta_1^2}{I_y}}}$, respectivamente, a esbeltez na plastificação e no início do escoamento.

[1] Os itens e anexos descritos abaixo referem-se a esta norma.

Definidos esses parâmetros de esbeltez e dispondo do item G.2.1, foi possível encontrar o momento fletor resistente de cálculo verificando três casos:

Caso 1, perfil compacto ($\lambda \leq \lambda_p$): $M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$, onde $M_{pl} = Z.f_y$ e $Z = \int |y| dA$.

Caso 2, perfil semi-compacto ($\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$): $M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - \left(M_{pl} - M_r \right) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right]$, com $M_r = \left(f_y - \sigma_r \right) \cdot W$.

Caso 3, perfil esbelto ($\lambda > \lambda_r$): $M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}$, onde $M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0{,}039 \frac{J L_b^2}{C_w} \right)}$,

$\beta_1 = \frac{\left(f_y - \sigma_r \right) \cdot W}{EJ}$ e $C_w = \frac{t_f \left(b_f - 0{,}5 t_w \right)^3 \left(d - t_f \right)^2}{12} \left[\frac{3 \left(b_f - 0{,}5 t_w \right) t_f + 2 \left(d - t_f \right) t_w}{6 \left(b_f - 0{,}5 t_w \right) t_f + \left(d - t_f \right) t_w} \right]$

3.3 FLAMBAGEM LOCAL DA ALMA (FLA)

Utilizando a tabela G.1, verifica-se inicialmente se os perfis possuem alma não esbelta, ou seja, se o parâmetro de esbeltez local λ é inferior ou igual ao λ_r (esbeltez no início do escoamento), para o estado-limite de FLA. Caso contrário, o perfil seria de alma esbelta e a verificação seria conduzida pelas expressões do anexo H.

Da tabela G.1, notas 1 e 6, e do anexo H da norma foi possível obter as expressões apresentadas a seguir.

Determinação do coeficiente de esbeltez da alma (λ): $\lambda = \frac{h}{t_w}$.

Esse valor deve ser comparado como os valores da esbeltez na plastificação e no início do escoamento, ou seja, respectivamente: $\lambda_p = 3{,}76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ ou $\lambda_r = 5{,}70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$.

Definidos esses parâmetros de esbeltez e dispondo do item G.2.2, foi possível encontrar o momento fletor resistente de cálculo verificando dois casos[2]:

Caso 1, perfil compacto ($\lambda \leq \lambda_p$): $M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$, onde $M_{pl} = Z.f_y$ e $Z = \int |y| dA$ (LANDESMANN, 1999).

Caso 2, perfil semi-compacto ($\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$): $M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - \left(M_{pl} - M_r \right) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right]$,

[2] Para FLA, o caso para perfis de alma esbelta não se aplica a seções de formato U. Item G.2.2

onde $M_r = f_y \cdot W$.

3.4 FLAMBAGEM LOCAL DA MESA (FLM)

Determinação do coeficiente de esbeltez da mesa (λ): $\lambda = \frac{b}{t}$.

Esse valor deve ser comparado como os valores da esbeltez apropriados na plastificação e no início do escoamento, ou seja, respectivamente: $\lambda_p = 0,38\sqrt{\frac{E}{f_y}}$ ou $\lambda_r = 0,83\sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}$.

Definidos esses parâmetros de esbeltez para a mesa, os momentos fletores resistentes de cálculo são obtidos com as mesmas expressões do item G.2.2, apresentadas acima, acrescido do terceiro caso[3]:

Caso 3, perfil Esbelto ($\lambda > \lambda_r$): $M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}$, onde $M_{cr} = \frac{0,69E}{\lambda^2} W_c$

Todas as expressões referidas acima, referem-se ao eixo de maior inércia, visto que este é o eixo preponderante para os resultados.

Para assegurar a validade da análise elástica, o momento fletor resistente de cálculo $M_{Rd} \leq 1,5 \cdot \frac{W.f_y}{\gamma_{a1}}$, onde W é o módulo de resistência elástica, dado por $W = \frac{I}{y}$, sendo y a maior distância do CG da seção até a fibra mais comprimida ou mais tracionada.

Depois de calculado os momentos resistentes pelos três estados-limites, adota-se então o menor deles.

4 APLICAÇÃO DA ABNT NBR 14762:2010[4] AOS PERFIS FLETIDOS

Para a verificação da capacidade resistente dos perfis metálicos UDCS aos esforços solicitantes de flexão, os cálculos se basearam em dois métodos: Método da Largura Efetiva (MLE), nos itens 9.2.2 e 9.2.3, e Método da Seção Efetiva (MSE), nos itens 9.7.2.b, 9.8.2.1.b e 9.8.2.2.b. Segundo Silva (2008), o método recomendado é o das larguras efetivas, por ser um procedimento clássico utilizado para o dimensionamento de perfis formados a frio, em que cada elemento constituinte do perfil (alma e mesas) é analisado separadamente com base no conceito das larguras efetivas.

O momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd}) deve ser adotado como o menor valor calculado de acordo com os itens 9.8.2.1, 9.8.2.2 e 9.8.2.3, conforme apresentado a seguir.

[3] Para FLM o caso para perfis de alma esbelta não se aplica a seções de formato U. Item G.2.2
[4] Os itens e anexos descritos abaixo referem-se a esta norma.

4.1 INÍCIO DE ESCOAMENTO DA SEÇÃO EFETIVA

$M_{Rd} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{\gamma}$, onde W_{ef} é calculado no método da largura efetiva (MLE), conforme 7.1.1, considerando a tensão σ calculada para o estado limite último de início de escoamento da seção efetiva.

Para cálculo do $\lambda_p = \left(\frac{W \cdot f_y}{M_l} \right)^{0,5}$, faz-se necessário determinar o momento fletor de flambagem local elástica M_l, dado pela seguinte expressão: $M_l = k_l \frac{\pi^2 E}{12\left(1-v^2\right)\left(\frac{b_w}{t}\right)^2} W_c$, onde $k_l = \left(\frac{b_f}{b_w} \right)^{1,843}$.

4.2 FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO

Para o momento fletor resistente de cálculo referente a flambagem lateral com torção, toma-se um trecho compreendido entre seções contidas lateralmente, e é dado pela expressão:

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{c,ef} \cdot f_y}{\gamma}.$$

A tensão σ calculada para o estado limite último de flambagem lateral por torção, no MLE, conforme 5.1.1, adota: $\sigma = \chi_{FLT} f_y$. Para cálculo do $\lambda_p = \left(\frac{\chi_{FLT} \cdot W \cdot f_y}{M_l} \right)^{0,5}$, faz-se necessário o cálculo do M_l apresentado anteriormente.

Sendo $\lambda_o = \left(\frac{W_c \cdot f_y}{M_e} \right)^{0,5}$ o índice de esbeltez reduzido do perfil e M_e o momento fletor de flambagem lateral com torção para flexão em torno do eixo de simetria (x é o eixo de simetria), $M_e = C_b \cdot r_0 \left(N_{ey} \cdot N_{ez} \right)^{0,5}$, com C_b =1,0, quando não houver garantia de impedimento ao empenamento; o raio de giração dado por $r_o = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0,5}$. A força axial de flambagem global elástica por flexão e a força axial de flambagem global elástica por torção, conforme o item 9.7.2.1, são obtidas respectivamente por: $N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{\left(K_y L_y\right)^2}$ e $N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{\left(K_y L_y\right)^2} + GJ \right]$.

O módulo de elasticidade transversal, *G*, foi adotado como 77GPa segundo recomendações da norma.

4.3 MOMENTO DISTORCIONAL

Segundo a NBR 14762:2010, no item 9.3 tem-se que o momento distorcional para perfis UDCS não apresenta criticidade, podendo então ser dispensada essa verificação.

5 SELEÇÃO DE PERFIS

As propriedades geométricas das seções transversais para os vários perfis laminados e formados a frio utilizados para esta proposta estão apresentadas nas tabelas 1 e 2, respectivamente. Estas propriedades estão referidas às dimensões nominais da seção transversal de perfis disponíveis no mercado.

Para o cálculo de algumas das propriedades geométricas das seções, foi utilizado software ShapeBuilder 11.0. O software permite facilmente a criação e personalização de seções transversais, fornecendo propriedades geométricas avançadas e de difícil obtenção manual.

As cores indicadas nas Tabelas 1 e 2 relacionam os grupos de perfis que foram comparados, levando em conta a semelhança por área e por momento de inércia.

Por exemplo, a cor azul relaciona o perfil laminado 3" x 6,10, com 5 perfis UDCS: 100 x 40 x 2,65, 100 x 40 x 4,75, 100 x 50 x 2,25, 100 x 50 x 4,25 e 100 x 75 x 3,35.

Tabela 1:Propriedades geométricas dos perfis laminados.

Perfil Laminado	A (cm²)	I_x (cm⁴)	I_y (cm⁴)	I_t (cm⁴)	x_g (cm)	r_o (cm)	C_w (cm⁶)
3"x6,10	7,78	68,90	8,20	0,96	1,11	14,0	65,4
4"x8,04	10,10	159,50	13,10	1,43	1,16	4,1	193,0
6"x12,20	15,50	546,00	28,80	2,74	1,30	19,0	1040,0

Fonte da pesquisa: A autora.

Tabela 2:Propriedades geométricas dos perfis UDC.

Perfil UDCS	A (cm²)	I_x (cm⁴)	I_y (cm⁴)	I_t (cm⁴)	x_g (cm)	r_o (cm)	C_w (cm⁶)
U 100x40x2,65	3,88	57,7	5,84	0,06	-0,99	4,6	94,90
U 100x40x4,75	7,81	109,4	11,11	0,58	-1,1	4,5	158,80
U 100x40x6,30	10,03	133,3	13,80	1,32	-1,17	4,4	178,08
U 100x50x2,25	4,33	68,5	10,85	0,07	-1,35	5,3	175,69
U 100x50x4,25	7,91	118,9	19,09	0,47	-1,45	5,2	283,21
U 100x50x6,30	11,29	161,0	26,28	1,49	-1,55	5,1	348,67
U 100x75x3,35	8,01	136,5	47,5	0,30	-2,42	7,2	749,36
U 100x75x4,25	10,03	167,6	58,82	0,60	-2,46	7,1	897,07
U 100x75x6,30	14,44	230,3	82,41	1,90	-2,57	7,0	1153,50
U 125x50x3,35	7,17	164,6	16,68	0,27	-1,26	5,8	415,60
U 125x50x4,75	9,94	221,6	22,57	0,74	-1,32	5,7	532,16
U 125x75x6,30	16,02	388,1	89,70	2,11	-2,35	7,4	2025,90
U 150X50X8,00	17,89	518,5	36,23	3,80	-1,35	6,1	1108,60
U 150X75X6,30	17,59	595,9	95,69	2,32	-2,17	7,8	3201,50

U 200x75x4,75	15,88	924,0	81,85	1,19	-4,14	9,0	5304,40

Fonte da pesquisa: A autora.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a rotina desenvolvida no software Excel foram calculadas as resistências a flexão nos eixos x e y para os perfis laminados escolhidos, estes resultados estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: Momentos resistentes dos perfis laminados.

Perfil	M_{Rx}(kN.cm)	M_{Ry}(kN.cm)
3"x6,10	324,92	113,18
4"x8,04	526,39	157,16
6"x12,20	1913,64	278,18

Fonte da pesquisa: A autora.

Para dimensionamento da resistência a flexão dos perfis de chapa dobrada as contas foram efetuadas seguindo os procedimentos de cálculo da respectiva norma. Estes resultados estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Momentos resistentes dos perfis UDC.

Perfil	M_{Rx} (kN.cm)	M_{Ry} (kN.cm)
U 100x40x2,65	113,65	45,51
U 100x40x4,75	304,23	83,65
U 100x40x6,30	442,57	106,59
U 100x50x2,25	131,77	42,49
U 100x50x4,25	359,94	116,1
U 100x50x6,30	580,22	166
U 100x75x3,35	404,76	136,48
U 100x75x4,25	580,22	229,85
U 100x75x6,30	920,89	361,79
U 125x50x3,35	299,78	92,32
U 125x50x4,75	511,4	133,99
U 125x75x6,30	1195,13	380,02
U 150X50X8,00	1508,31	216,92
U 150X75X6,30	1733,63	391,56
U 200x75x4,75	1950,48	312,16

Fonte da pesquisa: A autora.

Foram levados em considerações dois parâmetros: área e momento de inércia (em relação ao eixo de simetria). Assim, para um perfil laminado, determinou-se três perfis UDCS que apresentavam áreas próximas e dois que apresentavam momentos de inércia próximos do respectivo perfil laminado de referência.

Para o perfil laminado U 3" x 6,10 algumas análises foram feitas. Quanto a área**,** na Tabela 5, tem-se os resultados preponderantes dos perfis formados a frio com áreas próximas do perfil laminado.

Tabela 5: Momentos resistentes, área e momento de inércia.

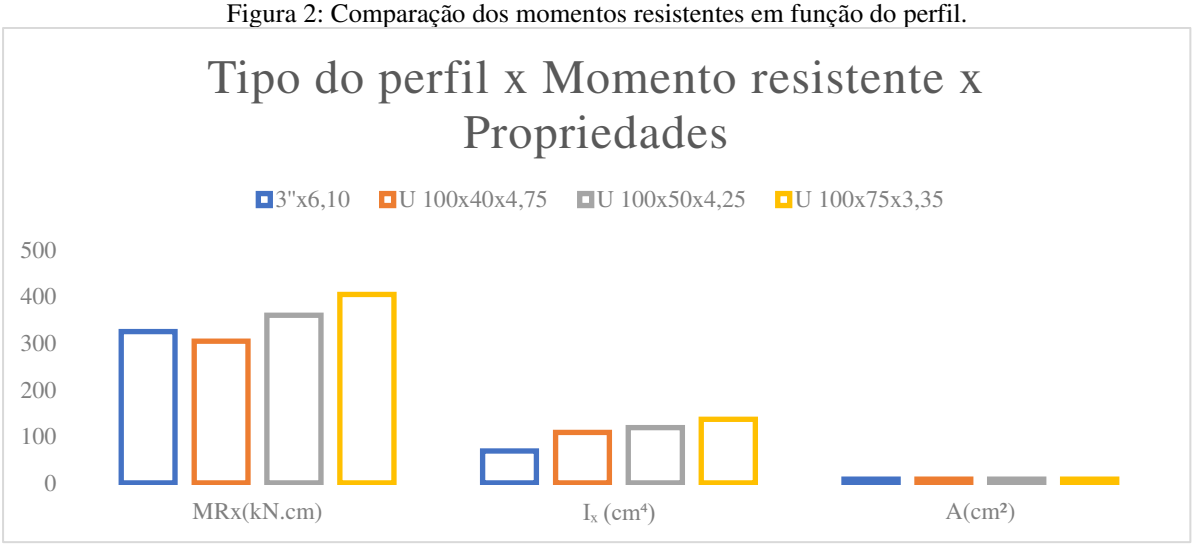
Tipo do perfil	Perfil	M_{Rx}(kN.cm)	I_x (cm⁴)	A(cm²)
Laminado	3"x6,10	324,92	68,90	7,78
UDC Simples	U 100x40x4,75	304,23	108,44	7,80
	U 100x50x4,25	359,94	118,86	7,90
	U 100x75x3,35	404,76	136,48	8,00

Fonte da pesquisa: A autora.

Analisando os dados apresentados na Tabela 5, nota-se que quando com áreas aproximadamente iguais, o fator preponderante para determinação da resistência é o momento de inércia. Assim, quando o momento de inércia deste perfil de chapa dobrada é até 40% maior que um laminado, o perfil laminado apresenta uma resistência a flexão maior, para todos os outros perfis testados valores acima de 40% do momento de inércia do laminado, apresentam resistência menor do laminado em relação aos de chapa dobrada.

Analisando a Figura 2, observa-se que, para áreas próximas e momentos de inércia distintos, tem-se pouca variação na resistência. O que nos leva a questionar sobre a vantagem de utilização do perfil laminado.

Figura 2: Comparação dos momentos resistentes em função do perfil.



Fonte da pesquisa: A autora.

Na Tabela 6, observa-se que os perfis de chapa dobrada apresentam uma relação custo/kg menor quando comparado ao laminado para valores de resistência muito próximos

.

Tabela 6: Momentos resistentes e custo/kg.

Tipo	Perfil	R$/kg	M_{Rx}(kN.cm)
Laminado	3"x6,10	5,16	324,92
UDC Simples	U 100x40x4,75	4,27	304,23
	U 100x50x4,25	4,27	359,94
	U 100x75x3,35	4,48	404,76

Fonte da pesquisa: A autora.

Analisou-se também, para o mesmo perfil laminado acima, alguns perfis UDCS quanto ao momento de inércia. Na taTbela 7, estão os resultados quanto tem-se o momento de inércia do perfil laminado considerado com valor próximo do momento dos perfis de chapa dobrada.

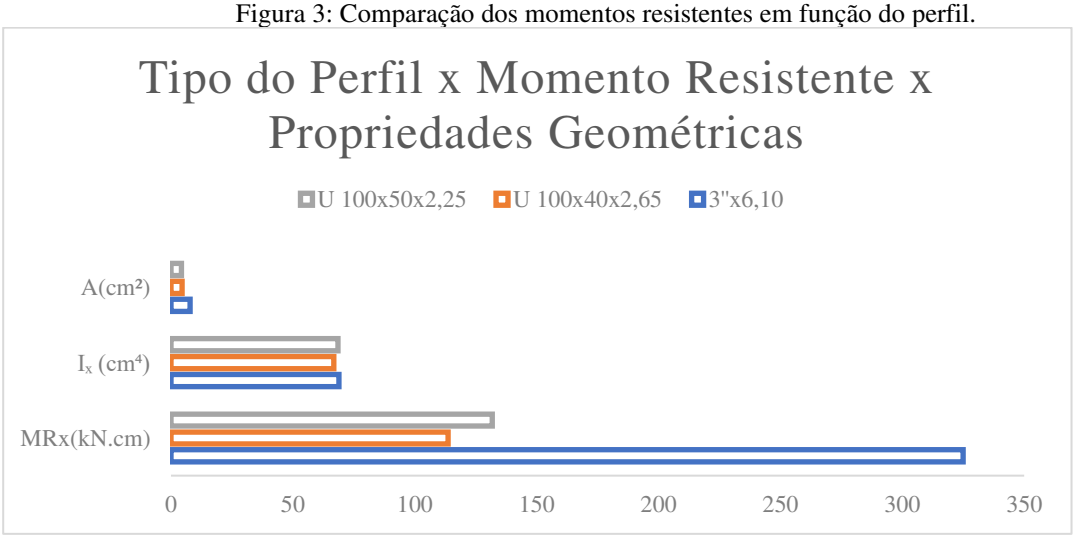
Tabela 7:Momentos resistentes, área e momento de inércia.

Tipo do perfil	Perfil	M_{Rx}(kN.cm)	I_x (cm^4)	A(cm^2)
Laminado	3"x6,10	324,92	68,90	7,78
UDC Simples	U 100x40x2,65	113,65	66,75	4,54
	U 100x50x2,25	131,77	68,47	4,33

Fonte da pesquisa: A autora.

Através da Tabela 7, tem-se que, para perfis com momentos de inércia próximos, as propriedades geométricas influenciam significativamente, pois quando a área da seção transversal do perfil laminado é aproximadamente 40% menor, a resistência torna-se cerca de 60% menor.

Figura 3: Comparação dos momentos resistentes em função do perfil.



Fonte da pesquisa: A autora.

Quando avaliados momentos de inércia próximos e áreas próximas, o momento não varia significativamente, conforme a Figura 3. Porém, quando a área é significativamente menor, a resistência diminui consideravelmente, assim a resistência desejada não é atendida.

Tabela 8: Momentos resistentes e custo/kg.

Tipo	Perfil	R$/kg	M_{Rx}(kN.cm)
Laminado	3"x6,10	5,16	324,92
UDC Simples	U 100x40x2,65	4,60	113,65
	U 100x50x2,25	4,47	131,77

Fonte da pesquisa: A autora.

Analisando a Tabela 8, verifica-se que o custo e o peso dos perfis de chapa dobrada são muito inferiores ao laminado, porém como apresenta uma resistência muito abaixo, não poderia substituir um perfil laminado.

Para o perfil laminado U 4” x 8,04, algumas análises foram feitas. Quanto a área, na Tabela 9, tem-se os resultados preponderantes dos perfis formados a frio com áreas próximas do perfil laminado U 4” x 8,04.

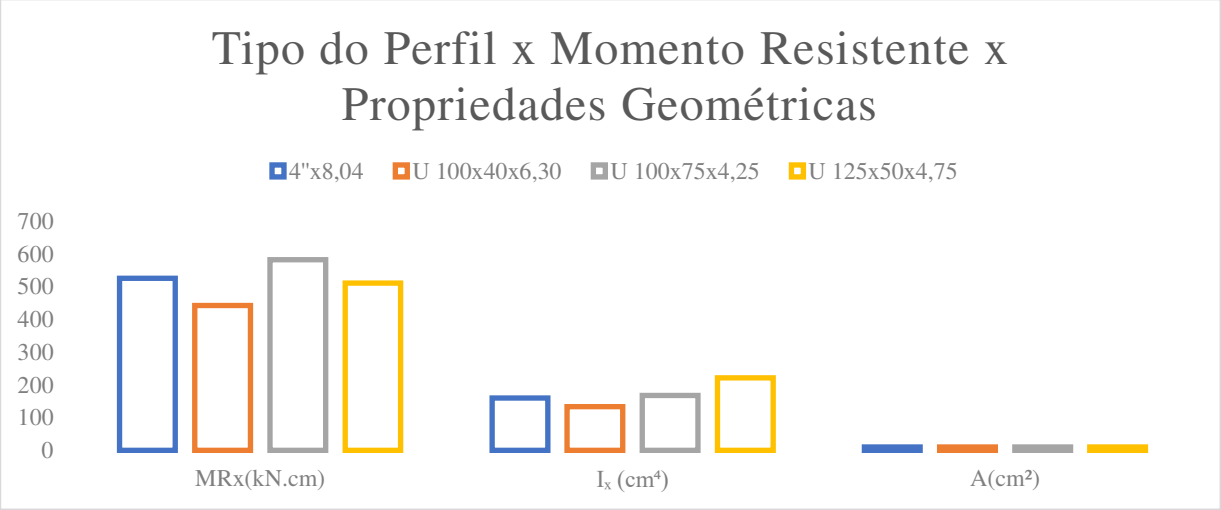
Tabela 9: Momentos resistentes, área e momento de inércia.

Tipo do perfil	Perfil	M_{Rx}(kN.cm)	I_x (cm^4)	A(cm^2)
Laminado	4"x8,04	526,39	159,50	10,10
UDC Simples	U 100x40x6,30	442,57	133,31	10,03
	U 100x75x4,25	582,75	167,60	10,03
	U 125x50x4,75	511,4	221,56	9,94

Fonte da pesquisa: A autora.

Analisando perfis com área próximas, dispostos na Tabela 9, tem-se que perfis de chapa dobra que apresentem momento de inércia menor apresentam resistência menor. Assim, quando o momento de inércia deste perfil de chapa dobrada é cerca de 5 % maior que um laminado, o perfil de chapa dobrada apresenta uma resistência a flexão maior. Nota-se também que quando tem variação das dimensões da altura da alma e da largura da mesa ocorre uma variação na resistência a flexão, porém esta variação não foi avaliada neste trabalho.

Figura 4: Comparação dos momentos resistentes em função do perfil.



Fonte da pesquisa: A autora.

Analisando a Figura 4 acima, observa-se que, para áreas próximas e momentos de distintos, tem-se pouca variação na resistência.

Tabela 10: Momentos resistentes e custo/kg.

Tipo	Perfil	R$/kg	M_{Rx}(kN.cm)
Laminado	4"x8,04	4,81	526,39
UDC Simples	U 100x40x6,30	4,18	442,57
	U 100x75x4,25	4,78	582,75
	U 125x50x4,75	5,06	511,4

Fonte da pesquisa: A autora.

Na Tabela 10, tem-se que somente um perfil UDCS consegue ultrapassar a resistência do laminado e apresentar uma relação preço/kg muito próximo.

Ainda foram feitas comparações com o perfil laminado 4"x8,04 e alguns perfis UDCS, comparando-os quanto ao momento de inércia.

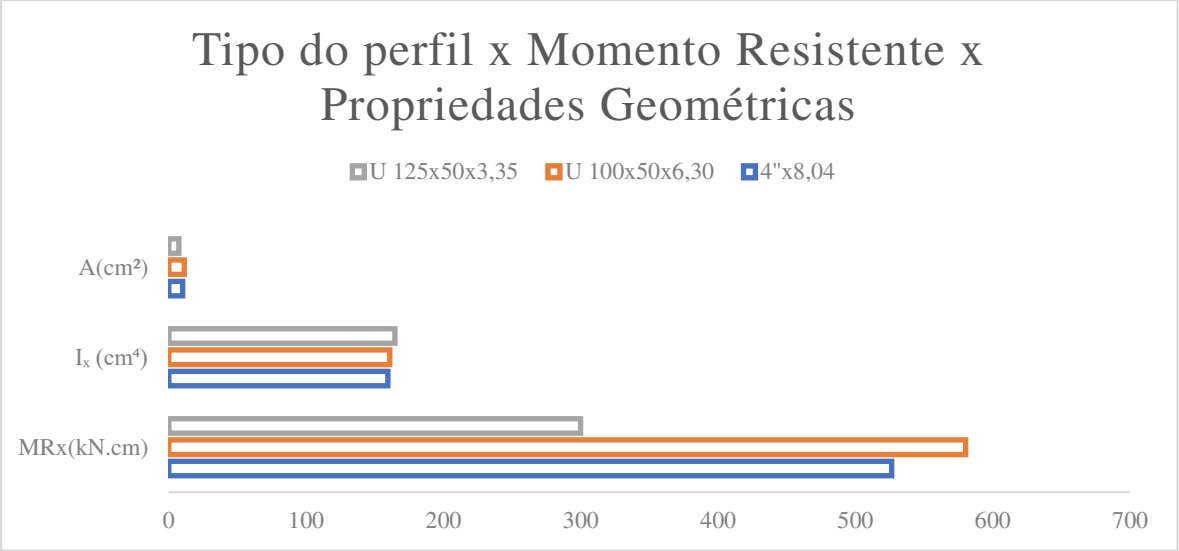
Tabela 11: Momentos resistentes, área e momento de inércia.

Tipo do perfil	Perfil	M_{Rx}(kN.cm)	I_x (cm⁴)	A(cm²)
Laminado	4"x8,04	526,39	159,50	10,10
UDC Simples	U 100x50x6,30	580,22	161,01	11,29
	U 125x50x3,35	299,78	164,58	7,20

Fonte da pesquisa: A autora.

No que diz respeito a momentos de inércia próximos, nota-se que, se a área do UDC for menor do que a do perfil laminado, tem-se uma resistência menor. Caso a área seja maior, a resistência também é, segundo a Tabela 11.

Figura 5: Comparação dos momentos resistentes em função do perfil.



Fonte da pesquisa: A autora.

Na Figura 5, verifica-se que quando avaliados momentos de inércia próximos e áreas próximas, o momento não varia significativamente, porém quando a área é significativamente menor, a resistência diminui consideravelmente.

Tabela 12: Momentos resistentes e custo/kg.

Tipo	Perfil	R$/kg	M_{Rx}(kN.cm)
Laminado	4"x8,04	4,81	526,39
UDC Simples	U 100x50x6,30	4,52	580,22
	U 125x50x3,35	4,46	299,78

Fonte da pesquisa: A autora.

Pela Tabela 12, o perfil UDCS 100 x 50 x 6,30 apresenta um custo-benefício melhor, visto que é mais leve, menos oneroso e ainda apresenta uma resistência maior quando comparado ao laminado.

Para o perfil laminado U 6” x 12,20 algumas análises foram feitas. Quanto a área, os dados estão dispostos na Tabela 13.

Tabela 13: Momentos resistentes, área e momento de inércia.

Tipo do perfil	Perfil	M_{Rx}(kN.cm)	I_x (cm⁴)	A(cm²)
Laminado	6"x12,20	1913,64	546,00	15,50
UDC Simples	U 100x75x6,30	920,89	230,25	14,44
	U 125x75x6,30	1195,13	338,06	16,02

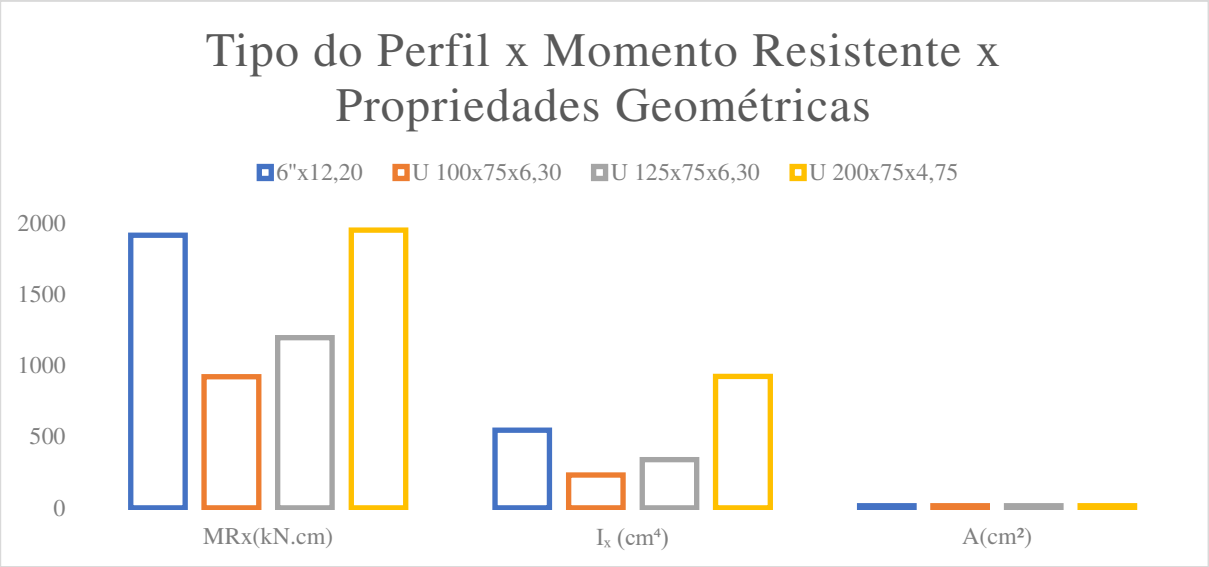
	U 200x75x4,75	1950,48	923,97	15,88

Fonte da pesquisa: A autora.

Analisando a Tabela 13, tem-se que, para áreas próximas do perfil laminado em relação ao de chapa dobrada, quanto o momento de inércia é menor, a resistência também é. O perfil UDCS só supera a resistência do laminado se o momento de inércia for cerca de 70% maior.

Observando a Tabela 13 e a Figura 6, tem-se que a área dos perfis apresentam uma pequena variação, assim o perfil U 200 x 75 x 4,75, que possui a área mais próxima, apresenta uma resistência muito coerente, evidenciando que, para áreas próximas e momentos de distintos, tem-se pouca variação na resistência.

Figura 6: Comparação dos momentos resistentes em função do perfil.



Fonte da pesquisa: A autora.

Na Tabela 14, nota-se que todos os perfis de chapa dobrada apresentam um custo/kg menor que o laminado, porém só um atinge uma resistência próxima.

Tabela 14: Momentos resistentes e custo/kg.

Tipo	Perfil	R$/kg	M_{Rx}(kN.cm)
Laminado	6"x12,20	4,81	1913,64
UDC Simples	U 100x75x6,30	4,32	920,89
	U 125x75x6,30	4,42	1195,13
	U 200x75x4,75	4,28	1950,48

Fonte da pesquisa: A autora.

Analisou-se também para o mesmo perfil laminado acima, alguns perfis UDCS quanto ao momento de inércia.

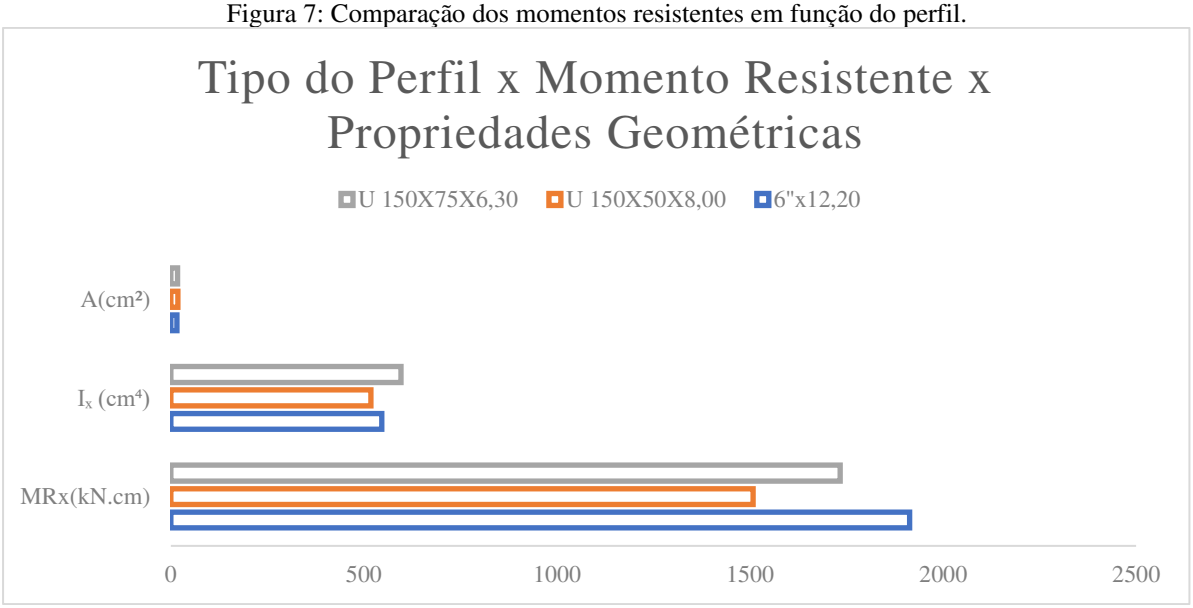
Tabela 15: Momentos resistentes, área e momento de inércia.

Tipo do perfil	Perfil	M_{Rx}(kN.cm)	I_x(cm⁴)	A(cm²)
Laminado	6"x12,20	1913,64	546,00	15,50
UDC Simples	U 150X50X8,00	1508,31	518,48	17,89
	U 150X75X6,30	1733,63	595,93	17,59

Fonte da pesquisa: A autora.

As áreas comparadas apresentam uma proximidade razoável, conforme a tabela 15, indicando que, quando as áreas analisadas são próximas e os momentos de inércia também são, a resistência é menor no UDCS. Porém, quando o momento de inércia é 8% maior, não apresenta influência significativa na resistência.

Figura 7: Comparação dos momentos resistentes em função do perfil.



Fonte da pesquisa: A autora.

Quando avaliados momentos de inércia próximos e áreas próximas, o momento não varia significativamente. Este comportamento é observado na Figura 7.

Tabela 16: Momentos resistentes e custo/kg.

Tipo	Perfil	R$/kg	M_{Rx}(kN.cm)
Laminado	6" x 12,20	4,81	1913,64
UDC Simples	U 150 x 50 x 8,00	4,07	1508,31
	U 150 x 75 x 6,30	3,62	1733,63

Fonte da pesquisa: A autora.

Na Tabela 16, nota-se que os perfis de chapa dobrada estudados não atingem a resistência do perfil laminado, porém como as resistências são próximas a depender do uso, se pode analisar a viabilidade de uso do mesmo.

Portanto, para perfis de chapa dobrada com áreas muito próximas dos perfis laminados, o momento de inércia é o fator preponderante, visto que, se o momento de inércia do perfil de chapa dobrada for maior que o do laminado, ele apresenta variações das resistências não muito discrepantes, não sendo, portanto, tão diferente em relação a resistência do laminado.

Quando o momento de inércia é menor, ocorrem variações na resistência também, porém também não são consideráveis.

No caso de momentos de inércias próximos, o fator que é influenciador é a área, e esta apresenta quando relevância, pois quanto menor for a área do perfil de chapa dobrada em relação ao laminado a resistência do perfil de chapa dobrada reduz drasticamente, uma redução de resistência que chega a ser até 60% menor no perfil de chapa dobrada quando a área deste é cerca de 40% menor em relação ao laminado.

Nestes casos, podemos notar que as simples modificações das propriedades geométricas das seções analisadas promoveram um aumento considerável na resistência final dos conjuntos quando submetidos a flexão simples.

7 CONCLUSÃO

Quando analisamos perfis que apresentam áreas próximas e momentos de inércia maiores que os laminados, as resistências são equivalentes e a viabilidade de uso do perfil de chapa dobrada é maior, visto que este é mais leve e apresenta um custo menor.

Evidencia-se que perfis de chapa dobrada que apresentam momento de inércia equivalente ao do perfil laminado, porém uma área muito menor, não atingem a resistência desejada. Apesar do custo ser consideravelmente menor não é possível substituir. Porém não foi possível um padrão da relação Área x Momento de Inércia x Momento Resistente.

Devido a maioria dos perfis de chapa dobrada estudados acima apresentam um custo menor quando em relação ao laminado além disso o peso menor, facilitando o transporte e a montagem *in loco*, estes teriam viabilizadas a sua utilização quando comparado com um perfil laminado que apresenta uma resistência próxima.

Para momentos solicitantes razoáveis (cerca de 500kN.cm), os perfis de chapa dobrada em sua maioria, apresentam melhor relação custo-benefício para serem utilizados no lugar do laminado, porém quando analisados momentos mais altos (cerca de 1900kN.cm) os perfis UDC Simples, não conseguem superar a resistência dos perfis laminados, apesar de apresentarem uma resistência próxima. Assim, os perfis de chapa dobrada, apresentam um excelente custo-benefício em relação ao perfil laminado a depender da solicitação, fazendo-se necessário analisar para cada projeto se a substituição é viável.

Sabe-se que, pela literatura quanto maior o momento de inércia maior o momento resistente do perfil, porém neste trabalho está constatação não foi feita, para todos os perfis estudados utilizando

tanto a 8800:2008 e a 14762:2010 os perfis que apresentavam momento de inércia próximos foram os que mais apresentaram discrepância nas resistências. Desta forma, sugere-se que sejam feitos mais alguns estudos a fim verificar se esta discrepância ocorre em outros casos, e se for o caso sugerir uma alteração afim de compatibilizar as duas normas.

Conclui-se assim, que é inconclusivo afirmar que uma norma pode ser comparada a outra.

REFERÊNCIAS

DIMPERFIL: 4.0. Versão 4.0. [*S. l.*]: CBCA, 2013. Disponível em: https://dimperfil.software.informer.com/. Acesso em: 10 set. 2019.

JAVARONI, C.E. Perfis de aço formados a frio submetidos à flexão: análise teórico-experimental. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LANDESMANN, A. Análise e implementação de modelo plástico para estruturas metálicas aporticadas. Rio de Janeiro: Estruturas Metálicas, Programa de Engenharia Civil/COPPE/ UFRJ, 1999. 225 p. (Dissertação de Mestrado).

NBR 8800:2008 – Dimensionamento de Estruturas de Aço E De Estruturas Mistas De Aço E Concreto De Edifícios, (2008).

NBR 14762:2010 – Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio, (2010).

RODRIGUES, Francisco Carlos. Perfis Estruturais Formados a Frio: comportamento e dimensionamento. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

SHAPEBUILDER: 11.0. Versão 11.0. [*S. l.*]: CESDb, 2019. Disponível em: https://www.iesweb.com/sb/index.html. Acesso em: 8 out. 2019.

SILVA, E. L.; SILVA, V. P. Dimensionamento de perfis formados a frio conforme NBR 14762 e NBR6355. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008.