



Comparações entre o Método das Tensões admissíveis (ASD) e o Método dos Estados Limites (LRFD) propostos pelo AISI Standard-North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members

Gabriel José Gonçalves Nobre

Rafael José Rabelo

José Humberto Matias de Paula

Eric Allonso Oliveira Alves

gabrieljgnobre@gmail.com

rafabelo@hotmail.com

jhmatias2011@gmail.com

eric.allonso@gmail.com

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB – Faculdade de Tecnologia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, DF, Brasília, Brasil

Resumo: Este trabalho apresenta uma comparação entre a segurança do Método das Tensões Admissíveis (ASD) e o Método dos Estados Limites (LRFD), propostos pelo American Iron and Steel Institute-AISI na última edição da norma Standard North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, publicado em 2016. A análise utiliza-se de métodos computacionais e, para pontos de validação do estudo feito para flexão composta, o qual representa o principal foco desse estudo, o software CFS 10 – Cold Formed Steel Design Software. São abordados conceitos de segurança estabelecidos para os dois métodos de dimensionamento previstos no AISI, analisando-se isoladamente elementos à tração axial, compressão axial e flexão, inicialmente, como um preâmbulo para uma análise mais complexa envolvendo a flexão composta oblíqua, levando-se em conta a dependência da relação entre as proporções de ações permanentes e acidentais. O trabalho analisa combinações de ações nominais e de projeto previstas pelo AISI, seguindo os procedimentos previstos ASCE/2005 Standard ASCE/SEI 7-05 Minimum Design Loads for Built and Other Structures.

Palavras-chave: Método das Tensões Admissíveis (ASD), Método dos Estados Limites (LRFD), AISI:2016, Flexão Composta.

INTRODUÇÃO

Este artigo destina-se a comparação dos métodos LRFD (Load and Resistance Factor Design), conhecido aqui no Brasil como método dos Estados Limites e o ASD (Allowable Stress Design) o método das Tensões Admissíveis aplicados no processo de dimensionamento de perfis de aço de chapa dobrada a frio propostos pelo AISI:2016. Enquanto o primeiro trata-se de uma comparação entre a resistência minorada e os esforços solicitantes majorados, de forma a considerar as incertezas probabilísticas de forma separadas, o segundo trata as incertezas tanto da solicitação quanto da resistência de forma conjunta, tendo a resistência minorada por um fator de segurança.

Segundo o AISI:2016 ações de cálculo resultam da combinação mais desfavorável de ações permanentes e variáveis, sendo que para a análise em questão considerou-se apenas as cargas variáveis provenientes do uso. Dessa forma, pelo método do Estado Limite (LRFD), para que uma estrutura possa ser considerada segura, tem-se:

$$\phi R_{n1} \geq 1,2D_n + 1,6L_n \quad (1)$$

Sendo:

R_{n1} = resistência nominal para o LRFD;

ϕ = fator de resistência tabelado pelo AISI:2016;

D_n = ação permanente;

L_n = ação devida ao uso.

Por meio da seguinte manipulação matemática feita pela equação anterior chega-se a Eq. (2).

$$\phi R_{n1} (D_n + L_n) \geq (1,2D_n + 1,6L_n)(D_n + L_n)$$

$$\phi R_{n1} \left(\frac{D_n}{L_n} + 1 \right) \geq \left(\frac{1,2D_n}{L_n} + 1,6 \right) (D_n + L_n)$$

$$D_n + L_n \leq \frac{\phi R_{n1} \left(\frac{D_n}{L_n} + 1 \right)}{\frac{1,2D_n}{L_n} + 1,6} \quad (2)$$

De acordo com o AISI:2016, o fator de segurança representa a razão entre a resistência nominal e a ação solicitante. Dessa forma, para se obter o menor fator de segurança, o que representa a máxima ação solicitante que a estrutura irá suportar atendendo os conceitos de segurança Eq. (2), deve-se ter:

$$FS_{LRFD} = \frac{R_{n1}}{D_n + L_n} = \frac{\frac{1,2D_n}{L_n} + 1,6}{\phi \left(\frac{D_n}{L_n} + 1 \right)} \quad (3)$$

Sendo:

FS_{LRFD} = fator de segurança para o método LRFD.

Para o método das Tensões Admissíveis (ASD), a condição a ser respeitada para que a estrutura seja considerada segura, é:

$$\frac{R_{n2}}{\Omega} \geq D_n + L_n \quad (4)$$

Assim como na análise do método dos Estados Limites (LRFD), para se obter o menor fator de segurança, o que representa a máxima ação solicitante que a estrutura irá suportar atendendo os conceitos de segurança, Eq. (4), deve-se ter:

$$FS_{ASD} = \frac{R_{n2}}{D_n + L_n} = \Omega \quad (5)$$

Sendo:

R_{n2} = resistência nominal para o ASD;

FS_{ASD} = fator de segurança para o método ASD;

Ω = fator de segurança tabelado pelo AISI:2016.

Por fim, para que a comparação entre os métodos seja construída para os diferentes valores de fatores de segurança e fatores de resistência dispostos no AISI:2016 (tração, compressão, flexão) manipula-se as Eq. (3) e (5) e obtém:

$$\frac{FS_{ASD}}{FS_{LRFD}} = \frac{R_{n2}}{R_{n1}} = \Omega \varphi \frac{\left(\frac{D_n}{L_n} + 1\right)}{\left(1,2 \frac{D_n}{L_n} + 1,6\right)} \quad (6)$$

Obtém-se assim uma comparação entre os métodos, analisando-se uma proporção entre os menores fatores de segurança possível para cada método dependendo da proporção entre as solicitações permanentes e as devido ao uso. É importante lembrar que a equação acima só pode ser aplicada para um tipo de esforço de cada vez. No caso de uma interação de efeitos, é aconselhável a comparação através de um caso específico, como o feito para a flexão composta, mostrado adiante. Além disso, nota-se que as resistências nominais, obtidas para os diferentes métodos, partem do pressuposto que não necessitam ser iguais, permitindo assim, avaliar quais dos métodos apresentam um maior grau de conservadorismo.

1 TRAÇÃO

As curvas de comparação para a tração é mostrada na Figura 1 e foram definidas para os coeficientes de segurança referentes à ruína do perfil por escoamento da seção bruta ($\Omega = 1,67$; $\phi = 0,90$) e ruptura da seção líquida distante da conexão ($\Omega = 2,00$; $\phi = 0,75$). Nota-se que a relação D_n/L_n é de fundamental importância para a definição de um método ser mais ou menos conservativo. Dessa forma, diante da Figura 1, é possível perceber que quando a ação permanente é menos influente frente à ação devido ao uso, o método LRFD é mais conservador, demonstrando o contrário à medida que essa relação aumenta.

O fato do método LRFD ser mais rigoroso para a carga de uso bem maior que a carga permanente, a partir de um raciocínio probabilístico, pode vir a representar algo vantajoso, visto

que cargas mais raras devido ao uso, implicam também em efeitos maiores, estando assim em prol da segurança.

É importante ressaltar que apesar da análise de ruína ser feito tanto para a deformação do perfil antes de romper (tensão de escoamento) bem como a ruptura do perfil propriamente dito (tensão de ruptura), não quer dizer que caso a segurança seja limitada pela ruptura da seção líquida o elemento não irá escoar. Na verdade esse tipo de análise conjunta, busca evitar uma possível ruptura frágil do elemento (a estrutura entra em colapso sem indicar patologias capazes de uma possível intervenção e consequente solução), requisito levado em conta no processo de determinação dos fatores de resistência e de segurança.

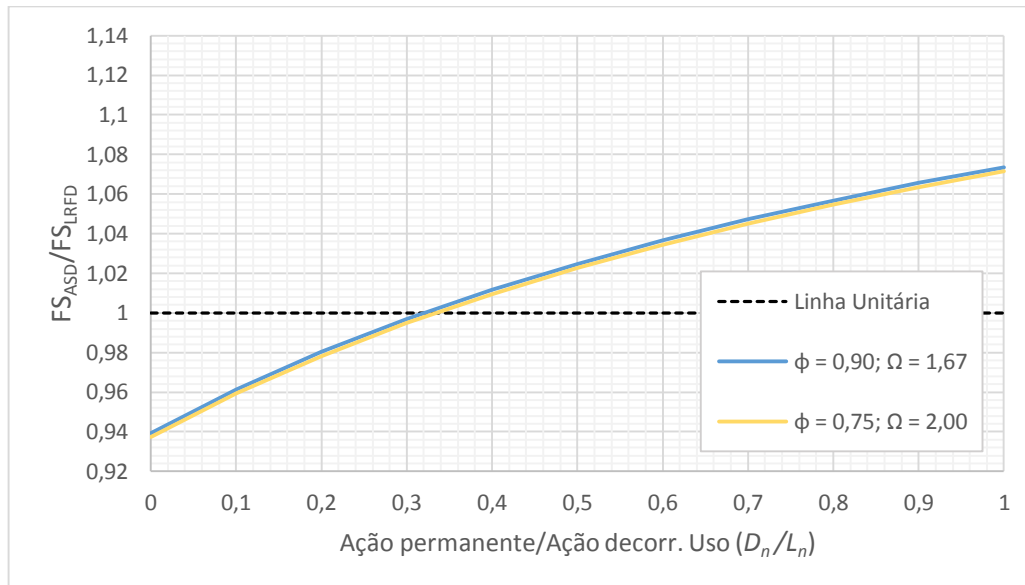


Figura 1. Comparativo entre ASD e LRFD para perfis tracionados

2 COMPRESSÃO

A curva de comparação para a compressão é apresentada na Figura 2, para um coeficiente de segurança $\phi = 0,85$; $\Omega = 1,80$. Nota-se que apesar do resultado obtido ser semelhante ao encontrado na análise do esforço de tração, no caso da compressão o valor máximo de D_n/L_n no qual o método LRFD se torna mais conservador é de aproximadamente 21,2 %. Isto demonstra que a região de valores de D_n/L_n que torna o método ASD mais conservador é muito maior que no caso de tração. Além disso, para qualquer valor de D_n/L_n no caso da compressão, os valores da proporção de FS_{ASD}/FS_{LRFD} é sempre superior aos do caso de tração. Portanto pode-se concluir que na análise de compressão, o método ASD é mais conservativo comparado ao LRFD, que no caso de tração. No entanto, isso não quer dizer que para um mesmo método o cálculo implicará em resultados mais conservadores em relação aos esforços de tração do que os esforços de compressão, e vice-versa.

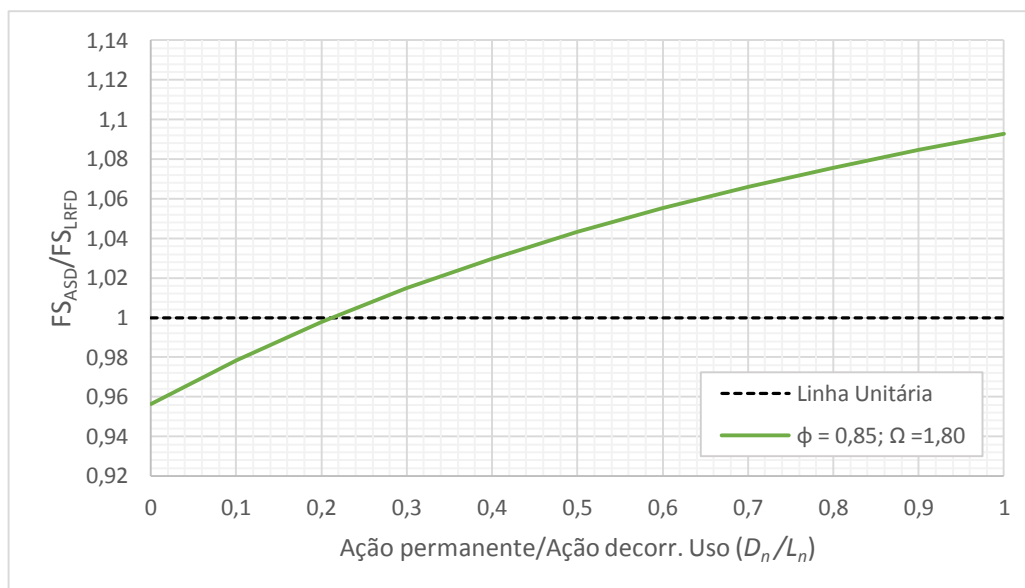


Figura 2. Comparativo entre ASD e LRFD para perfis comprimidos

3 FLEXÃO

Para a flexão, os valores dos fatores de resistência e dos fatores de segurança são os mesmos adotados para a tração nas diferentes situações de ruínas (flambagem local, flambagem lateral por torção e flambagem distorcional) sendo diferente apenas nos casos de início de escoamento do perfil fletido do tipo tubo ($\phi = 0,95$; $\Omega = 1,67$). Diante do resultado, e baseando-se na análise feita na comparação entre os casos de compressão e tração, pode-se concluir que na análise de flexão para os casos de início de escoamento do perfil fletido do tipo tubo ($\phi = 0,95$; $\Omega = 1,67$), o método ASD é mais conservativo, comparativamente ao LRFD, que no caso de flexão nas diferentes situações de ruína já exemplificadas. O valor máximo D_n/L_n que torna o método LRFD mais conservador para o caso de perfis fletidos do tipo tubo é aproximadamente 3,5%, enquanto que nas outras situações de perfis fletidos é de aproximadamente 32,0%.

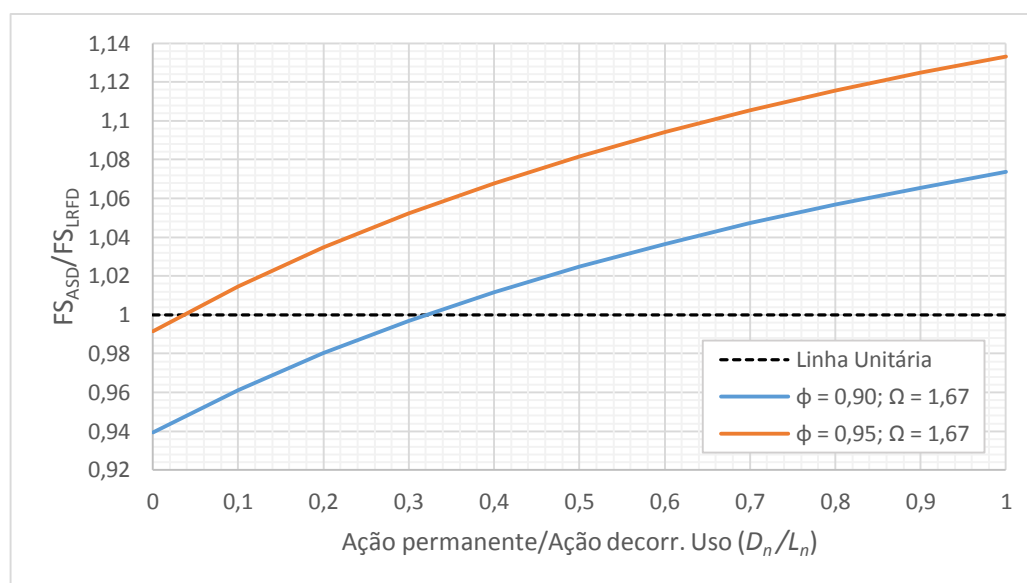


Figura 3. Comparativo entre ASD e LRFD para perfis fletidos

4 FLEXÃO COMPOSTA

Como pode-se observar nas análises anteriores, em que se avalia os esforços sendo aplicados separadamente, obtém-se intervalos de valores de D_n/L_n em que um dos métodos é mais conservador que o outro. Desta forma, podem-se comparar os diferentes tipos de esforços agindo isoladamente, assim como demonstrado na Figura 4.

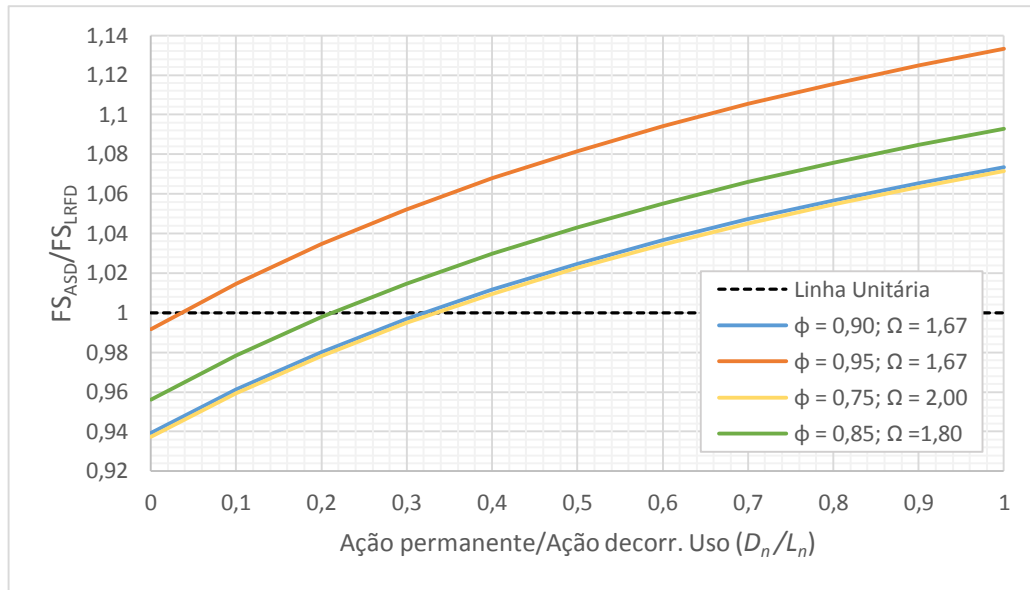


Figura 4. Comparativo entre ASD e LRFD para as diferentes solicitações agindo isoladamente

Entretanto, como dito anteriormente, para o caso da flexão composta, o desenvolvimento apresentado no início deste artigo não se mostrou válido, devido à complexidade que envolve uma análise conjunta dos esforços segundo o AISI:2016. No entanto, a ideia de considerar apenas cargas permanentes e variáveis se manteve para o desenvolvimento do estudo. Sendo assim:

$$ASD : \quad \frac{P_D + P_L}{\frac{P_n}{\Omega_c}} + \frac{M_D + M_L}{\frac{M_n}{\Omega_M}} \leq 1 \quad (7)$$

$$LRFD : \quad \frac{1.2P_D + 1.6P_L}{\phi_c P_n} + \frac{1.2M_D + 1.6M_L}{\phi_M M_n} \leq 1 \quad (8)$$

Sendo:

P_D = compressão solicitante permanente;

P_L = compressão solicitante de uso;

P_n = resistência nominal à compressão;

M_n = resistência nominal ao momento fletor;

M_D = momento solicitante permanente;

M_L = momento solicitante de uso;

Ω_c = fator de segurança tabelado pelo AISI:2016 para compressão;

Ω_M = fator de segurança tabelado pelo AISI:2016 para momento;

ϕ_c = fator de resistência tabelado pelo AISI:2016 para compressão;

ϕ_M = fator de resistência tabelado pelo AISI:2016 para momento.

Apresentado as equações propostas pelo AISI:2016 para a análise da flexão composta, considerando as Eq. (1) e (4), constrói-se conceito de “fator de segurança real” (χ_R) e “fator de resistência real” (ψ_R). Tais conceitos são explicados nas seguintes equações:

$$\psi_{XR} = \frac{1,2D_n + 1,6L_n}{X_n} \quad (9)$$

$$\chi_{XR} = \frac{X_n}{D_n + L_n} \quad (10)$$

Sendo:

X_n = resistência nominal (momento ou compressão);

ψ_{XR} = fator de resistência real para uma dada solicitação (momento ou compressão);

χ_{XR} = fator de segurança real para uma dada solicitação (momento ou compressão);

Dessa forma, fazendo as devidas substituições nas Eq. (7) e (8), tem-se:

$$\frac{\Omega_C}{\chi_{CR}} + \frac{\Omega_M}{\chi_{MR}} \leq 1$$

$$ASD : \quad \chi_{MR} \geq \frac{\Omega_M \cdot \chi_{CR}}{\chi_{CR} - \Omega_C}$$

$$\frac{\psi_{CR}}{\varphi_C} + \frac{\psi_{MR}}{\varphi_M}$$

$$LRFD : \quad \psi_{MR} \leq \left(1 - \frac{\psi_{CR}}{\varphi_C}\right) \cdot \varphi_M \quad (12)$$

A ideia de construir equações em que o fator de resistência real do momento varia em função do fator de resistência real de compressão, bem como o fator de segurança real de momento depender do fator de segurança real de compressão, é possibilitar por meio de uma análise gráfica das duas equações quem é mais ou menos conservador. Isso se deve ao fato de que para um mesmo perfil sujeito a uma mesma carga de compressão, por exemplo, a resistência ao momento será diferente dependendo do método adotado. Com isso, considerando perfis não-circulares (adotando para flexão $\varphi_M = 0,90$ e $\Omega_M = 1,67$), bem como para a compressão ($\varphi_C = 0,85$ e $\Omega_C = 1,80$):

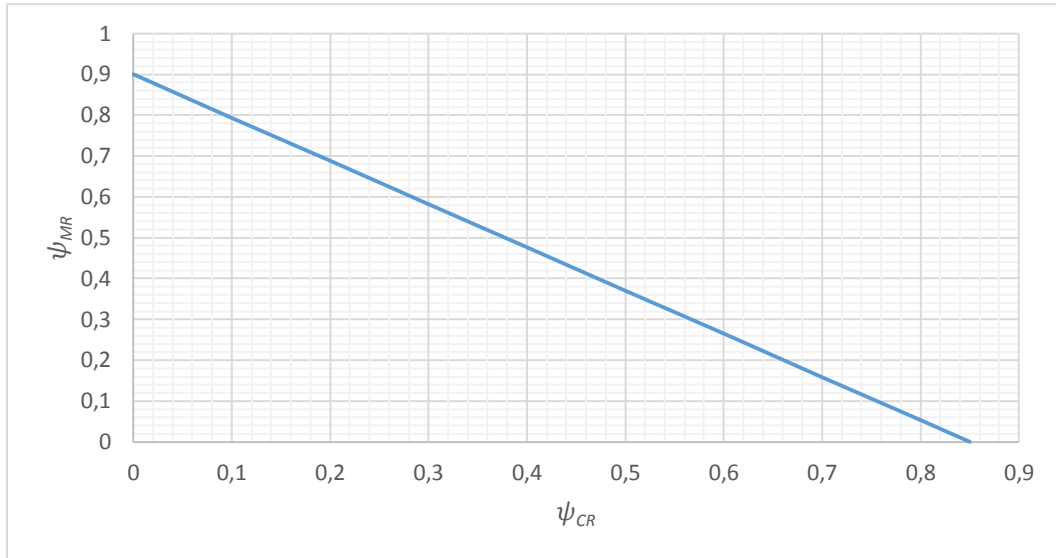


Figura 5. Flexão composta pelo método LRFD

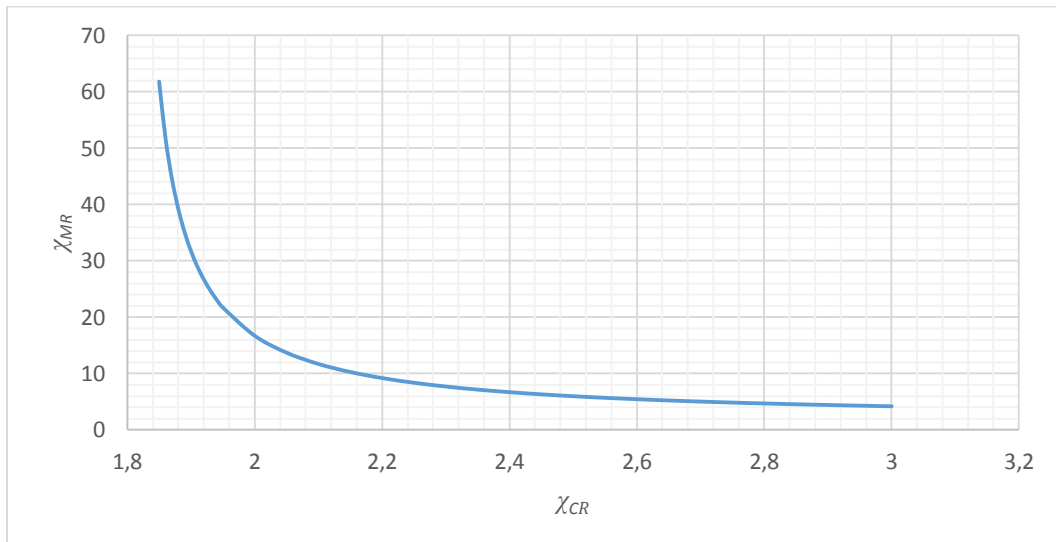


Figura 6. Flexão composta pelo método ASD

Observa-se pelos gráficos que não há como definir uma relação entre os dois métodos de forma simples e clara para se avaliar quem seria mais ou menos conservador. Dessa forma, para que fosse possível comparar ambos os métodos, decidiu-se determinar uma proporção D_n/L_n (constante para todos os tipos de esforços), de forma que fosse possível correlacionar o fator de segurança de momento real (χ_{MR}) mínimo, de acordo com as Eq. (11) e (12), para um determinado fator de segurança de compressão real (χ_{CR}) adotado para ambos os métodos. Portanto, o χ_{MR} será uma função dependendo de D_n/L_n e χ_{CR} , como descrito na Eq. (14).

Adotando-se:

$$x = \frac{D_n}{L_n} = \frac{P_D}{P_L} = \frac{M_D}{M_L} \quad e \quad y = \frac{P_n}{P_D + P_L} = \chi_{CR} \quad (13)$$

Portanto:

$$\chi_{MR} = f\left(\chi_{CR}; \frac{D_n}{L_n}\right) = f\left(\frac{P_n}{P_D + P_L}; \frac{D_n}{L_n}\right) = f(y, x) \quad (14)$$

Para se obter a relação determinada pela Eq. (14) para cada um dos métodos, calcula-se inicialmente o valor mínimo de χ_{MR} em função x e y , Eq. (13), para o método ASD, que está descrito na Eq. (15), e é uma dedução direta a partir da Eq. (11).

$$(\chi_{MR})_{ASD} = \frac{\Omega_M \cdot y}{y - \Omega_C} \quad (15)$$

Como é possível observar, o $(\chi_{MR})_{ASD}$ é independente da variável x , pois tanto a solicitação P_D quanto a P_L são indiferentes entre si dentro deste método, então o que importa é o valor de sua soma, e não cada solicitação individualmente. Entretanto o método LRFD, por possuir fatores de carga, faz com que a proporção entre as solicitações seja importante na determinação do $(\chi_{MR})_{LRFD}$. Dessa forma, analisando-se o método LRFD e sabendo que:

$$y = \frac{P_n}{P_D + P_L} = \frac{P_n}{P_L(x + 1)} = \chi_{CR}$$
$$\psi_{CR} = \frac{1,2P_D + 1,6P_L}{P_n} = \frac{P_L}{P_n}(1,2x + 1,6)$$

Tem-se:

$$y \cdot \psi_{CR} = \frac{1,2x + 1,6}{x + 1}$$
$$\psi_{CR} = \left(\frac{1,2x + 1,6}{x + 1}\right) \cdot \frac{1}{y} = \left(\frac{1,2x + 1,6}{x + 1}\right) \cdot \frac{1}{\chi_{CR}} \quad (16)$$

Analogamente:

$$\psi_{MR} = \left(\frac{1,2x + 1,6}{x + 1}\right) \cdot \frac{1}{\chi_{MR}} \quad (17)$$

Em seguida, substituindo-se a Eq. (16) na Eq. (12), pode-se determinar o valor de ψ_{MR} , que está descrito na Eq.(18).

$$\psi_{MR} = \frac{-\varphi_M}{\varphi_C} \cdot \left(\frac{1,2x + 1,6}{x + 1}\right) \cdot \frac{1}{y} + \varphi_M \quad (18)$$

Por último, igualando-se a Eq. (18) e a Eq. (17), pode se encontrar o valor de χ_{MR} para o método LRFD, que está descrito na Eq. (19).

$$(\chi_{MR})_{LRFD} = \frac{\varphi_C \cdot y \cdot (1,2x + 1,6)}{\varphi_M \cdot (\varphi_C \cdot y \cdot (x + 1) - (1,2x + 1,6))} \quad (19)$$

Com o intuito de se comparar os fatores de segurança de momento real (χ_{MR}) mínimo para um determinado fator de segurança de compressão real (χ_{CR}) adotado para ambos os métodos, e utilizando-se uma determinada proporção D_n/L_n , obteve-se:

$$\begin{aligned} \frac{(\chi_{MR})_{ASD}}{(\chi_{MR})_{LRFD}} &= \frac{\Omega_M \cdot \varphi_M \cdot (\varphi_C \cdot y \cdot (x + 1) - (1,2x + 1,6))}{\varphi_C \cdot (1,2x + 1,6) \cdot (y - \Omega_C)} \\ &= f(y, x) \end{aligned} \quad (20)$$

Para que seja plotado o gráfico da Eq. (20), definiu-se primeiro um conjunto de valores de x (D_n/L_n) fixos, e então fez-se o gráfico em função apenas no valor de y (χ_{CR}).

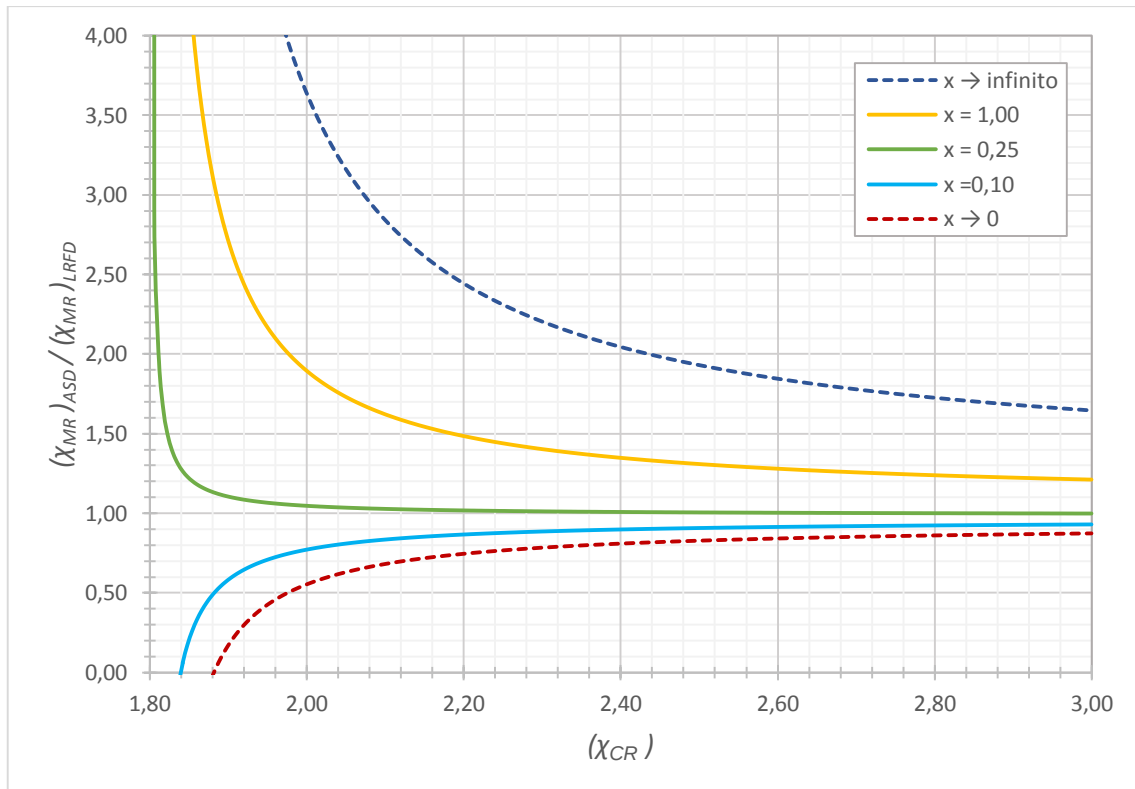


Figura 7. LRFD x ASD para flexo-compressão (com valores extremos de D_n/L_n)

A Figura 7 demonstra que, no intervalo de χ_{CR} determinado, o método ASD será mais conservador que o método LRFD no caso em que as ações permanentes são muito maiores que as de uso ($x = D_n/L_n \rightarrow \infty$), sendo para o caso contrário ($x = D_n/L_n \rightarrow 0$), o LRFD identificado como mais conservador. No entanto, para o caso de perfis de chapa dobrada, tais situações não são muito próximas do encontrado na realidade. Mesmo que as cargas permanentes sejam menores que as devido ao uso (a carga permanente costuma ser 20% da carga total, ou 25 da carga de uso, quando só houver ambos), considerá-la muito pequena é

errado, por isso foram determinados mais 3 casos as serem analisados: $x = 1,00$; $x = 0,25$; $x = 0,10$.

Entretanto, tanto os 2 casos extremos ($x \rightarrow 0$, $x \rightarrow \infty$), quanto os outros 3 casos analisados, não há como saber se um método se mantém sempre mais conservador que o outro ao longo de todos os possíveis valores de Ω_{CR} . Portanto, com intuito de confirmar isso, procurou-se, com o auxílio do software Excel 2013, identificar os valores de $(\chi_{MR})_{ASD}/(\chi_{MR})_{LRFD}$ para quando χ_{CR} tende ao infinito (Tabela 1), analisando-se os 5 possíveis valores de x destacados na Figura 7.

Tabela 1. Verificação da variação do método mais conservador para χ_{CR} tendendo ao infinito

Valores de $x = D_n/L_n$	Valores de $\frac{(\chi_{MR})_{ASD}}{(\chi_{MR})_{LRFD}}$, quando $\chi_{CR} \rightarrow \infty$
$(x \rightarrow \infty)$	1,248
1,00	1,074
0,25	0,989
0,10	0,961
$(x \rightarrow 0)$	0,940

Diante disso, é possível observar que no caso onde x é igual 0,25, o método ASD é mais conservativo para valores de χ_{CR} próximos de 1,8. Já para valores de χ_{CR} muito grande, o método LRFD se torna mais conservativo. Entretanto, dependendo do valor de x definido, um método pode vir a ser mais conservativo que o outro ao longo de todos os valores de χ_{CR} , ou seja, há situações em que as curvas nunca cruzam a linha unitária.

A última análise é construída de forma semelhante a anterior, no entanto ao invés de considerar situações extremas, as curvas são plotadas considerando valores de D_n/L_n próximos ao valor de 0,25 e aumentando-se o intervalo de valores de x e χ_{CR} a serem analisados. Sua função é apresentar o intervalo de valores de x em que os métodos oscilam quanto a consideração de qual deles é mais ou menos conservador. Com isso:

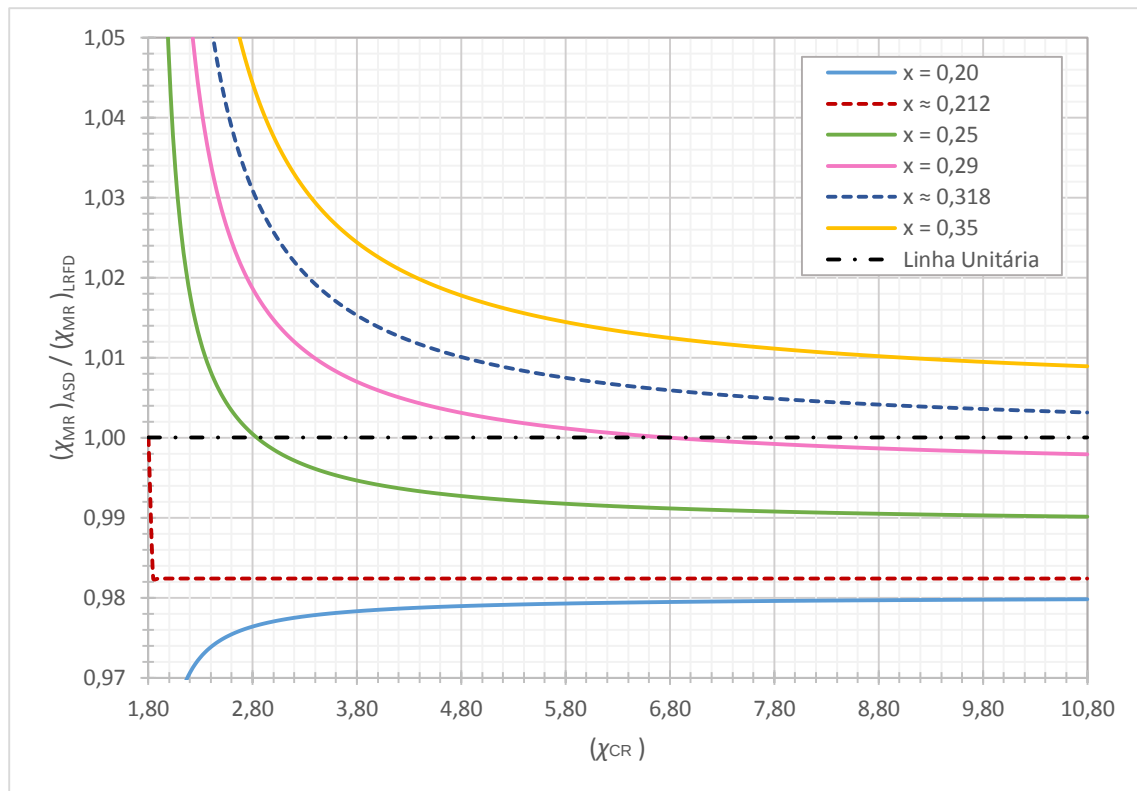


Figura 8. LRFD x ASD para flexo-compressão

Portanto, foi determinado de forma iterativa, utilizando o software Excel 2013, qual o valor de D_n/L_n que gera uma curva onde a relação χ_{MR} dos dois métodos tenda ao valor unitário, para quando o valor de χ_{CR} tende ao infinito. O valor de D_n/L_n que satisfaz tal condição é de aproximadamente 0,318. Desta forma, esse é o menor valor possível que D_n/L_n que gere uma curva onde o método ASD é sempre o mais conservador.

Da mesma forma, também foi determinado qual o valor de D_n/L_n que gera uma curva onde a relação χ_{MR} dos dois métodos tenda ao valor unitário, para quando o valor de χ_{CR} tende ao limite inferior de 1,8. O valor de D_n/L_n que satisfaz tal condição é de aproximadamente 0,212. Desta forma, esse é o maior valor possível que D_n/L_n que gere uma curva onde o método LRFD é sempre conservador.

Desta forma, é possível observar que para valores de D_n/L_n entre aproximadamente 0,212 e 0,318 nenhum dos métodos é sempre o mais conservativo que o outro. No entanto, é possível definir valores de fator de segurança de compressão real a partir do qual um método é mais conservador que outro.

5 ANÁLISE DE UM PERFIL U SIMPLES PARA VALIDAÇÃO DOS ESTUDOS DE FLEXÃO COMPOSTA

A fim de se observar a teoria apresentada, o exemplo a seguir consiste na análise de um perfil U simples 100 x 40 x 2,65 quando solicitado a flexo-compressão. A Tabela 2 resume os dados do perfil, bem como os coeficientes de segurança adotados para avaliação dos métodos.

dos métodos e as resistências nominais (P_n e $M_{n,x}$) que foram obtidas com o auxílio do software CFS 10 para um vão $l_x = 1,0$ m.

Tabela 2. Dados do Perfil

Perfil	Aço	Fy (kgf/m ²)	Ω_c	Ω_m	φ_c	φ_m	P_n (kgf)	$M_{n,x}$ (kgf.m)
Gravia, U simples 100 x 40 x 2,65	A653 SS Grade 33	23.201.000	1,8	1,67	0,85	0,9	10436,2	307,4

O objetivo do exemplo é verificar qual método se mostra mais conservativo, utilizando-se situações em que é preciso analisar simultaneamente o intervalo de χ_{CR} e D_n/L_n . Dessa forma, aproveitando-se das curvas obtidas na Figura 8, foram escolhidos dois valores de proporção de cargas $D_n/L_n = 0,25$ e $D_n/L_n = 0,29$ e valores de χ_{CR} próximos aos valores encontrados no gráfico que causam a inversão entre qual método é mais conservativo. Desta forma, adotou-se valores de esforços de compressão nominal (P_n) que gerassem os valores de χ_{CR} desejados. A partir da proporção de cargas, foram determinadas as parcelas correspondentes de cargas permanentes e sobrecargas. A seguir, foi buscado o momento fletor nominal aplicado que fizesse com que a Eq. (8) (método LRFD) assumisse seu valor unitário (de maneira iterativa) e, então, comparou-se com o resultado obtido da Eq. (7), para o método ASD. A partir da proporção de cargas, foram determinadas as parcelas correspondentes de cargas permanentes e sobrecargas.

Com isso foram determinados os valores obtidos com a equação 7 para cada caso de D_n/L_n e χ_{CR} , e por meio da comparação dos resultados obtidos entre as equações 7 e 8, determinou-se qual método é mais conservativo. A Tabela 4 resume os resultados obtidos.

Tabela 3 – Resultado da análise do perfil U simples para flexão composta

D_n/L_n	P_{total} (kgf)	P_d (kgf)	P_l (kgf)	$M_{total,x}$ (kgf.m)	$M_{d,x}$ (kgf.m)	$M_{l,x}$ (kgf.m)	χ_{CR}	ASD	LRFD	Método Mais Conservativo
								Eq. 7	Eq. 8	
0,25	3.865	773,1	3092,2	61	12,3	49,2	2,70	1,0006	1,0000	ASD
0,25	3.599	719,7	2879,0	70	14,0	55,8	2,90	0,9998	1,0000	LRFD
0,29	1.657	372,4	1284,1	132	29,6	102,0	6,30	1,0004	1,0000	ASD
0,29	1.430	321,4	1108,2	139	31,2	107,5	7,30	0,9997	1,0000	LRFD

A análise da Tabela 3 mostra que, no caso de $D_n/L_n = 0,25$, corrobora-se com a Figura 8 que para valores de χ_{CR} inferiores a aproximadamente 2,8 (no caso foi utilizado um valor de 2,7) o método mais conservativo é o ASD, pois o momento máximo aplicado que o LRFD permite é 61 kgf.m, enquanto que o limite de ASD já havia sido ultrapassado para esse mesmo valor de momento, pois o resultado da equação 7 é maior que 1. O mesmo pode ser analisado para valores de χ_{CR} superiores a aproximadamente 2,8 (no caso foi utilizado um valor de 2,9),

em que o método mais conservativo foi o LRFD, pois o momento limite para este método foi de 70 kgf·m, enquanto que o limite pelo método ASD seria ainda maior visto que o valor da equação 7 ainda não havia alcançado o valor de 1.

A Tabela 3 também mostra que, no caso de $D_n/L_n = 0,29$, os métodos mais conservativos de acordo com os valores de χ_{CR} estão de acordo com o exibido na Figura 8. A análise é análoga ao descrito na situação anterior, portanto, os resultados mostraram que para valores de χ_{CR} inferiores a aproximadamente 6,8 o método mais conservativo é o ASD, enquanto que para valores superiores é o LRFD. Os valores de χ_{CR} utilizados para fazer essa verificação foram 6,3 e 7,3.

6 CONCLUSÃO

Diante da hipótese apresentada para análise dos diferentes esforços em que os métodos LRFD e ASD dependiam da proporção das cargas permanentes e as decorrentes do uso, fora constatado que para as ações decorrentes do uso, as quais possuíam maior fator de carga, o método LRFD era mais conservador conforme estas se tornavam maior em relação as ações permanentes. Esta análise pôde ser observada para os diferentes tipos de esforços estudados, em que mesmo possuindo fatores de segurança e resistência diferente entre eles, o comportamento era semelhante, diferindo apenas a região de valores de D_n/L_n a partir do qual torna o método ASD mais conservador.

A tabela a seguir resume os intervalos de valores de D_n/L_n a partir dos quais um método é mais conservador que outro, para cada tipo de esforço analisado. É importante ressaltar que esse estudo não tem como objetivo determinar o nível de segurança de um método, mas comparar qual é o mais conservador em diferentes situações, não excluindo um método em detrimento do outro.

Tabela 4. Resumos de intervalo de valores onde cada método é mais conservativo

	Tração		Compressão	Flexão		Flexo Compressão
Intervalo de valores de D_n/L_n (x)	$\Omega = 1,67$ $\phi = 0,90$	$\Omega = 2,00$ $\phi = 0,75$	$\Omega = 1,80$ $\phi = 0,85$	$\Omega = 1,67$ $\phi = 0,90$	$\Omega = 1,67$ $\phi = 0,95$	$\Omega_c = 1,80$ $\Omega_m = 1,67$ $\phi_c = 0,85$ $\phi_m = 0,90$
$x < 3,5\%$	LRFD	LRFD	LRFD	LRFD	LRFD	LRFD
$3,5\% < x < 21,2\%$	LRFD	LRFD	LRFD	LRFD	ASD	LRFD
$21,2\% < x < 31,8\%$	LRFD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	Depende do χ_{CR}
$31,8\% < x < 32,0\%$	LRFD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	ASD
$32,0\% < x < 33,3\%$	ASD	LRFD	ASD	ASD	ASD	ASD
$33,3\% < x$	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD

REFERÊNCIAS

AISI S100-07-C, *Commentary on North American Specification for the Design of Cold Formed Steel Structural Members*.

AISI S100-07, *North American Specification for the Design of Cold Formed Steel Structural Members*.

De Paula, J.H.M. (1995), *Projeto de Perfis de Aço de Chapa Dobrada a Frio*, Publicação Interna, UnB-FT-ENC, 297p.

Hancock, G.J, Murray, T.M, Ellifritt, D.S, *Cold Formed Steel Structures to the AISI Specification*, 1st ed. Marcel Dekker, Inc, NY, USA, 398 p.

Nobre, G.J.G e Rabelo, R.J (2016) Projeto de Estruturas de Aço em Chapa Dobrada a Frio pelo Método dos Estados Limites segundo AISI/2007-LRFD, *Monografia de Projeto Final em Estruturas*, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 203 p.

Yu, W.W., *Cold Formed Steel Design*, 4th ed. John Wiley e Sons, NY, USA 491 p.