

ESTUDO COMPARATIVO DA VERIFICAÇÃO DE RESISTÊNCIA DE PILARES COMPRIMIDOS PELA NBR 8800:2008 E EUROCODE 3

MARINA LUIZA BERNARSKI¹, LETICIA BARIZON COL DEBELLA²

¹Graduanda em Engenharia Civil, CESCAGE, Ponta Grossa-PR, marinalubernarski@hotmail.com;

²Msc, professora UEPG e CESCAGE, Ponta Grossa-PR, leticiacoldebella@hotmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: A execução de um projeto estrutural leva em consideração uma série de fatores que podem influenciar diretamente na estabilidade da estrutura, para tal se faz necessário certas verificações. Estas são impostas por normas técnicas que indispensavelmente devem ser seguidas com o intuito de garantir a segurança, evitando deslocamento laterais excessivos ou até mesmo o colapso da estrutura. No Brasil os projetos de estruturas metálicas de aço laminado a quente são regidos pela NBR 8800:2008. Na Europa é utilizado o Eurocode 3. Desse modo, o presente trabalho procurou realizar a verificação de compressão em um pilar metálico conforme propõe as diferentes normas, analisando suas divergências e coincidências. Ao final deste, foi possível observar que há grande semelhança nos cálculos realizados, porém a norma brasileira torna-se mais conservadora em razão de alguns fatores e coeficientes considerados. A norma europeia torna-se mais seletiva pois só é possível ser usada com aços e perfis europeus, além de fazer uma classificação conforme a seção transversal de cada perfil. Diferente da NBR 8800, que abrange diversos aços e perfis, além de não ser preciso cruzar informações em quadros e tabelas, tudo pode ser calculado via fórmulas.

PALAVRAS-CHAVE: Estrutura metálica, NBR 8800:2008, Eurocode 3.

COMPARATIVE STUDY OF THE RESISTANCE VERIFICATION OF PILLARS COMPRESSED BY NBR 8800: 2008 AND EUROCODE 3

ABSTRACT: The execution of a structural design takes into account a series of factors that can directly influence the stability of the structure, for which it is necessary certain checks, which are imposed by technical standards that must be followed in order to guarantee safety avoiding lateral displacement or even the collapse of the structure. In Brazil, the design of metallic structures is governed by NBR 8800: 2008, while in Europe Eurocode 3 is used. Thus, the present work sought to carry out the verification of compression in a metallic pillar as proposed by the different standards, analyzing their divergences and coincidences. At the end of this, it was possible to observe that there is a great similarity in the calculations performed, but the Brazilian standard becomes more conservative due to some factors and coefficients considered. The European standard becomes more selective because it is only possible to be used with European steels and profiles, in addition to making a classification according to the cross section of each profile. Unlike NBR 8800, which covers several steels and profiles, in addition to not having to cross information in tables and tables, everything can be calculated via formulas.

KEYWORDS: Metallic structure, NBR 8800: 2008, Eurocode 3.

INTRODUÇÃO

O uso de estruturas metálicas tem se tornado cada vez mais comum em todos os tipos de construções, entretanto, a maior aplicação ainda se encontra em construções industriais. Um ponto

favorável da utilização desse modelo de estrutura é a redução no tempo de execução, visto que as peças vêm prontas de fábrica sendo necessário somente a montagem. Ainda são consideradas algumas vantagens, como a capacidade de vencer grandes vãos e maior liberdade arquitetônica. Além disso, as estruturas metálicas são consideradas sustentáveis devido ao aço ser um material reciclável, consequentemente diminuindo os impactos ambientais.

Em um projeto estrutural cabe a um engenheiro a responsabilidade de garantir a segurança e estabilidade de toda a estrutura. Esses projetos recebem o auxílio de *softwares*, podendo assim, fazer análises dos comportamentos da estrutura considerando tais esforços, porém os projetos necessitam ser executados baseados em normas técnicas. As normas apresentam uma série de verificações necessárias para certificar-se de que a estrutura não entrará em colapso ou que haja algum deslocamento lateral, logo, a mesma impõe limites através de cálculos que permitem verificar as cargas, ações, resistências entre outras considerações relevantes.

O projeto e a execução de edificações em estruturas metálicas são regidos por normas específicas. No caso da Europa existem os Eurocodes, ou em português, Eurocódigos, que são um novo conjunto de códigos europeus de projeto estrutural para construção e obras de engenharia civil. Foram concebidos e desenvolvidos ao longo dos últimos 30 anos com a experiência combinada dos Estados membros da União Europeia, que são, indiscutivelmente, os códigos estruturais mais avançados do mundo. O Eurocode 3 (EN 1993, ou EC3) é o que trata sobre as estruturas metálicas. No Brasil, o projeto e a execução seguem regras e diretrizes por normas de responsabilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas, as NBR's. A NBR 8800 trata das estruturas metálicas e mistas, tendo esta, no ano de 2008, uma revisão e atualização com uma nova versão (BONZANINI, 2013).

Desta forma, no presente trabalho pretende-se realizar uma análise da resistência de cálculo final comparando as normas brasileira e europeia apontando as suas divergências e coincidências.

DIMENSIONAMENTO PELA NBR 8800:2008

O dimensionamento deve-se atender a seguinte condição:

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

Onde,

$N_{c,Sd}$, é a força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$, é a força axial de compressão resistente de cálculo.

A força axial de compressão resistente de cálculo de uma barra, associada aos estados-limites últimos de instabilidade por flexão, por torção ou de flexo-torção e de flambagem local, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{X * Q * A_g * f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2)$$

Sendo,

X , é o fator de redução associado à resistência à compressão;

Q , é o fator de redução total associado à flambagem local;

A_g , é a área bruta da seção transversal da barra.

O fator de redução associado à resistência à compressão, X , é dada por:

- Para $\lambda_0 \leq 1,5$

$$X = 0,658 \lambda_0^2 \quad (3)$$

- Para $\lambda_0 \geq 1,5$

$$X = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (4)$$

Onde λ_0 é índice de esbeltez reduzido, dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q * A_g * f_y}{N_e}} \quad (5)$$

N_e , é a força axial de flambagem elástica obtida através da equação:

$$N_e = \frac{\pi^2 * E * I}{(K * L)^2} \quad (6)$$

Onde,

E , é o módulo de elasticidade;

I , é o momento de inércia na seção transversal;

$K * L$, é o comprimento de flambagem por flexão do elemento. O coeficiente de flambagem K é dado conforme as condições de contorno de elementos isolados, nos quais a rotação e translação das extremidades são totalmente livres ou totalmente impedidas.

DIMENSIONAMENTO PELA EUROCODE 3

O valor de cálculo do esforço de compressão atuante N_{ed} em cada seção transversal deve satisfazer a condição:

$$\frac{N_{ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad (7)$$

O valor de cálculo do esforço normal resistente à compressão uniforme $N_{c,Rd}$, deverá ser determinado do seguinte modo:

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{m0}} \quad (8)$$

RESISTÊNCIA A ENCURVADURA

Um elemento comprimido deverá ser verificado em relação à encurvadura através de:

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (9)$$

Em que,

$N_{b,Rd}$, é o valor de cálculo da resistência à encurvadura do elemento comprimido.

O valor de resistência a encurvadura de um elemento comprimido é dado pela fórmula:

$$N_{b,Rd} = \frac{X * A * f_y}{\gamma_{m1}} \quad (10)$$

Em que,

γ_{m1} , coeficiente de segurança, resistência das seções transversais que qualquer classe.

X , é o coeficiente de redução para o modo de encurvadura relevante.

No caso de elementos solicitados à compressão axial, o valor de X , corresponde à adequada esbelteza normalizada λ , deverá ser determinado a partir da curva de encurvadura relevante, através de:

$$X = \frac{1}{\phi + (\sqrt{\phi^2 - \lambda^2})} \leq 1 \quad (11)$$

Onde,

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2)] + \lambda^2 \quad (12)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} \quad (13)$$

α , é o fator de imperfeições. Corresponde à curva de encurvadura apropriada, indicada no Quadro 6.2 e deverá ser obtido no Quadro 6.1 da EC 3.

N_{CR} , valor crítico do esforço normal associado ao modo de encurvadura elástica relevante, baseado nas propriedades da seção transversal bruta, podendo ser obtido através da equação:

$$N_{CR} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{fl}^2} \quad (14)$$

Em que,

L_{fl} , é o comprimento de flambagem do elemento.

E , módulo de elasticidade.

MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foram analisadas duas formas de cálculo sendo realizados pelas diferentes normas, brasileira e europeia. Foi realizada a verificação da resistência a compressão de um pilar metálico.

Para o estudo foi atribuído ao pilar uma altura de 6 metros, sendo ele em aço S355 com um perfil IPE 300. Tanto o aço quanto o perfil são de origem europeia, para que as análises sejam passíveis de comparação, já que a Eurocode só admite perfis e aço europeus.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos das variáveis que contemplam a formulação da resistência a compressão são mostrados na tabela 01 abaixo:

Tabela 01 – Resultados obtidos através das normas.

	NBR 8800	EC3	Erro (%)
N_{ex} (kN/m)	4.813,08	4.813,08	0
N_{ey} (kN/m)	347,74	347,74	0
λ_0	2,32	2,34	0,85
X	0,16	0,16	0
$N_{c,Rd}$ (kN)	272,25	305,6	10,91

Conforme é exibido na tabela 01, é evidente que as cargas críticas de flambagem, N_{ex} e N_{ey} , apresentaram resultados iguais, pois são calculadas da mesma maneira em ambas normas. O fator de redução associado à resistência a compressão também foi obtido o mesmo valor. Na norma europeia o valor de X é obtido com apenas uma fórmula, diferente da norma brasileira onde é calculado o valor do índice de esbelteza reduzido λ_0 e o mesmo definirá qual fórmula deverá ser utilizada. Além dos cálculos, X pode ser obtido através da curva de flambagem em relação ao índice de esbelteza, esse método é encontrado nas duas normas.

O índice de esbelteza apresentou uma diferença de 0,02, sendo da norma europeia o valor mais alto. A diferença é encontrada na NBR 8800, onde é considerado um fator de flambagem local (Q).

Esse fator pode variar de 0 a 1,0 sendo obtido através das relações de comprimento e espessura da mesa e alma do perfil.

Percebe-se a maior diferença entre valores na resistência de cálculo final com quase 11% de erro. A norma brasileira apresentou um valor inferior, pois fez a consideração do fator de flambagem local (Q), não levada em conta pela EC3. Além disso, ambos cálculos da resistência são divididos por um coeficiente de ponderação das resistências, sendo considerada pela norma europeia um coeficiente de 1,0 e a norma brasileira sendo mais conservadora usando 1,1.

Os cálculos de flambagem realizados pela NBR estão inseridos no mesmo item da verificação da resistência a compressão, sendo feitas as duas verificações, resistência e flambagem, em um mesmo cálculo. A norma europeia é calculada em dois itens diferentes, sendo que o cálculo da resistência leva em conta somente a tensão de compressão. Para serem realizadas as verificações de flambagem, devem ser feitos os cálculos de resistência a encurvadura, que indispensavelmente deve ser verificada para ser uma análise mais rigorosa. Embora as formas de cálculo sejam semelhantes, a norma europeia ainda faz uma classificação de perfis separando em 4 classes conforme a seção transversal do perfil, diferente da norma brasileira que é de forma generalizada, sem classificações. Outra diferença encontrada está em que a EC3, necessariamente deve ser usada com perfis europeus, visto que todos os quadros, ábacos e tabelas possuem informações de perfis europeus. Já a NBR não contém informações de perfis, sendo possível realizar o cálculo de qualquer modelo seja ele europeu ou brasileiro.

CONCLUSÃO

No estudo foi realizado um comparativo entre normas técnicas, NBR 8800 e Eurocode 3, sendo normas brasileira e europeia respectivamente. A análise teve o intuito de avaliar a resistência final de compressão de um pilar metálico. Através da tabela 01, foi possível verificar cada variável presente no cálculo da resistência e avaliar um a um.

De modo geral a verificação é realizada de uma forma semelhante, apesar da Eurocode não considerar a flambagem no cálculo da resistência a compressão. No item que se refere a flambagem, é o que mais representa, comparativamente, o dimensionamento brasileiro. A NBR é mais abrangente pelo fato de não se referir a perfis e aços específicos, diferente da norma europeia que se torna mais seletiva.

Com base nos resultados obtidos e análises comparativas realizadas, conclui-se que a norma brasileira é a mais conservadora, apesar de ser uma norma que possa atender qualquer tipo de perfil, ela faz o uso de fatores que pela EC3 não são considerados, além de que é utilizado um coeficiente de ponderação superior quando comparada com o coeficiente usada pela norma europeia.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Pedro Miguel Nunes de. Dimensionamento de estruturas metálicas segundo o Eurocódigo 3. 2012. 176 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa, Fernando Pessoa, 2012.

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

BONZANINI, Felipe Augusto. Estudo comparativo entre o dimensionamento de estrutura metálica feito pela NBR 8800:2008 e pelo Eurocode 3. 2013. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2013.

COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. EUROCÓDIGO 3: Projeto de estruturas de aço. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. Parte 1-5: Estruturas constituídas por placas. Versão traduzida para o português. Bruxelas, 2005.