

ANÁLISE TEÓRICA DA CARGA MÁXIMA EM COLUNAS SUBMETIDAS À FLEXO-COMPRESSÃO NORMAL

JOSÉ ANCHIÊTA DAMASCENO FERNANDES NETO^{1*}

¹ Graduando em Engenharia Civil, UESPI, Teresina-PI. Fone: (86) 99427-4824,
anchietafernandes28@hotmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Amplamente utilizadas nas mais diversas obras da construção civil, as colunas exercem papel importante quando se diz respeito à resistência mecânica de uma estrutura. Tais elementos quando submetidos a esforços excessivos de compressão, a imperfeições geométricas ou acidentais, podem sofrer uma deflexão lateral, evidenciando o fenômeno de flambagem. Uma das principais consequências do fenômeno é a redução na capacidade de resistir aos esforços solicitantes. O objetivo do estudo foi realizar uma análise teórica da carga máxima que essas colunas podem suportar quando submetidas a diferentes condições de esbeltez e excentricidade, e equiparar ao carregamento máximo suportado por colunas ideais, sem nenhuma imperfeição.

PALAVRAS-CHAVE: Colunas, flambagem, excentricidade, carga máxima.

THEORETICAL ANALYZE OF THE MAXIMUM LOAD IN COLUMNS SUBJECTED TO FLEXURAL COMPRESSION

ABSTRACT: Largely used in several kinds of buildings, columns have an important role when it concerns to the mechanical strength of a structure. These elements, when subjected to excessive compression stress, geometrical or accidental imperfections, may undergo a lateral deflection, showing the buckling phenomenon. One of the main consequences of this phenomenon is the reduction of the ability to withstand internal forces. The aim of this study was to analyze theoretically the maximum load supported by columns when subjected to different conditions of slenderness and eccentricity, and equate to the maximum load supported by ideal columns, without any imperfection.

KEYWORDS: Columns, buckling, eccentricity, maximum load.

INTRODUÇÃO

Componentes essenciais para o funcionamento de uma estrutura, as colunas tem entre suas principais funções, a de receber os esforços de vigas e lajes, e transmiti-los às fundações. Segundo Hibbeler (2010), são elementos estruturais compridos e esbeltos sujeitos a uma força de compressão axial. Para a análise e dimensionamento desses elementos, é imprescindível que se faça uma avaliação do fenômeno da flambagem, caracterizado pelo deslocamento lateral da estrutura, e intimamente ligado à redução na capacidade de carga da mesma. Segundo Gere (2009), o famoso matemático Leonhard Euler (1707-1783), foi a primeira pessoa a investigar a flambagem de uma coluna elástica ideal, e determinar a carga axial máxima que a coluna pode suportar quando está na iminência de sofrer o fenômeno, denominada carga crítica, P_{cr} (Hibbeler, 2010).

Uma das características da coluna ideal proposta pela flambagem de Euler é que a aplicação do carregamento seja feito através do centróide da seção transversal da coluna, caracterizando um carregamento centrado. Na prática, carregamentos centrados são praticamente impossíveis de se obter, pois o efeito das imperfeições no processo de fabricação, e nas ligações com outros componentes estruturais, provoca um desalinhamento na aplicação do carregamento, de modo que o mesmo seja

aplicado com certa excentricidade (e) medida a partir do eixo da coluna. O desaprumo na aplicação da força promove o surgimento de uma carga momento, adquirindo de agora em diante, uma coluna submetida à flexo-compressão. O trabalho em questão tem como objetivo, apresentar uma análise da carga máxima suportada por uma coluna quando submetida à flexo-compressão decorrente de excentricidades acidentais, e comparar com a força máxima suportada pelo elemento, se o mesmo fosse sujeito ao carregamento centrado proposto por Euler. Na figura 1, pode-se observar o arranjo da carga centrada provocando o esforço de compressão, e a flexão devido à carga momento.

Figura 1: Coluna submetida à carga excêntrica

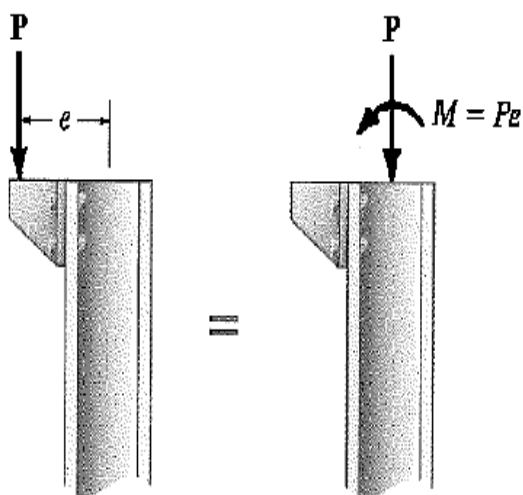
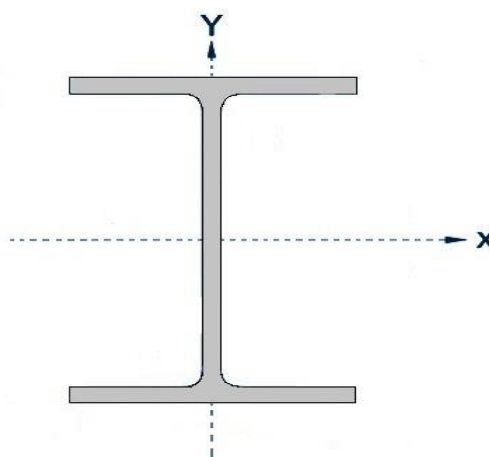


Figura 2: Perfil laminado W200 X 46,1



Fonte: Hibbeler (2010)

Fonte: Autor (2015)

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, tomou-se como referência o perfil estrutural Gerdau W200 x 46,1, observado na figura 2. Será analisada uma coluna com ambas as extremidades rotuladas, de aço ASTM A 572 grau 50 com alta resistência mecânica, módulo de elasticidade $E = 210$ GPa, e tensão de escoamento $\sigma_y = 345$ MPa. A coluna será verificada para diferentes combinações entre o índice de esbeltez (λ), e a excentricidade atuante, considerando a flexão em torno de apenas um dos eixos transversais. Inicialmente, analisou-se o carregamento máximo suportado pela coluna ideal com carga centrada suposta por Euler, assim sendo $P_{m\acute{a}x} = \pi^2 EA / \lambda^2$ um arranjo da fórmula do carregamento crítico apresentado pelo mesmo, tendo A como a área da seção transversal do perfil, E o módulo de elasticidade do material, e λ o índice de esbeltez do elemento.

A análise da coluna quando submetida a excentricidades ao longo do seu eixo será feita a partir da fórmula da secante, $\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left(\frac{\lambda}{2} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right) \right]$, em que $\sigma_{m\acute{a}x}$ é a tensão máxima na coluna, e é a excentricidade, c a distância a partir do eixo até o ponto extremo do lado em que a flexão irá ocorrer, P a carga máxima suportada pelo elemento, e r o raio de giração da seção, definido como $r = \sqrt{I/A}$, onde I é o momento de inércia em torno do eixo que irá sofrer flexão. Segundo Gere (2009), A fórmula em questão fornece a tensão de compressão máxima na coluna submetida a um carregamento axial excêntrico. Assumindo que trabalharemos dentro do limite elástico do material, podemos encontrar a carga máxima suportada pelo elemento estrutural, admitindo que $\sigma_y = 345$ MPa é a máxima tensão resistida no regime elástico. Uma vez que a fórmula da secante é transcendental, não sendo prático deduzir uma fórmula para o carregamento P , podemos resolver a equação utilizando métodos numéricos em cada caso (Gere, 2009). Este trabalho não tem o propósito de detalhar a demonstração das fórmulas de Euler e da secante para colunas, mas utilizar-se de tais para analisar o fenômeno de flambagem nos elementos. Os procedimentos para detalhamento das fórmulas podem ser encontrados em Gere (2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o cálculo da carga máxima suportada pela coluna, empregou-se índice de esbeltez variável entre 20 e 200, e seis diferentes valores para a excentricidade. Os valores utilizados para o índice de esbeltez, excentricidade, bem como os resultados de carregamento máximo obtidos, são indicados na Tabela 1, a seguir.

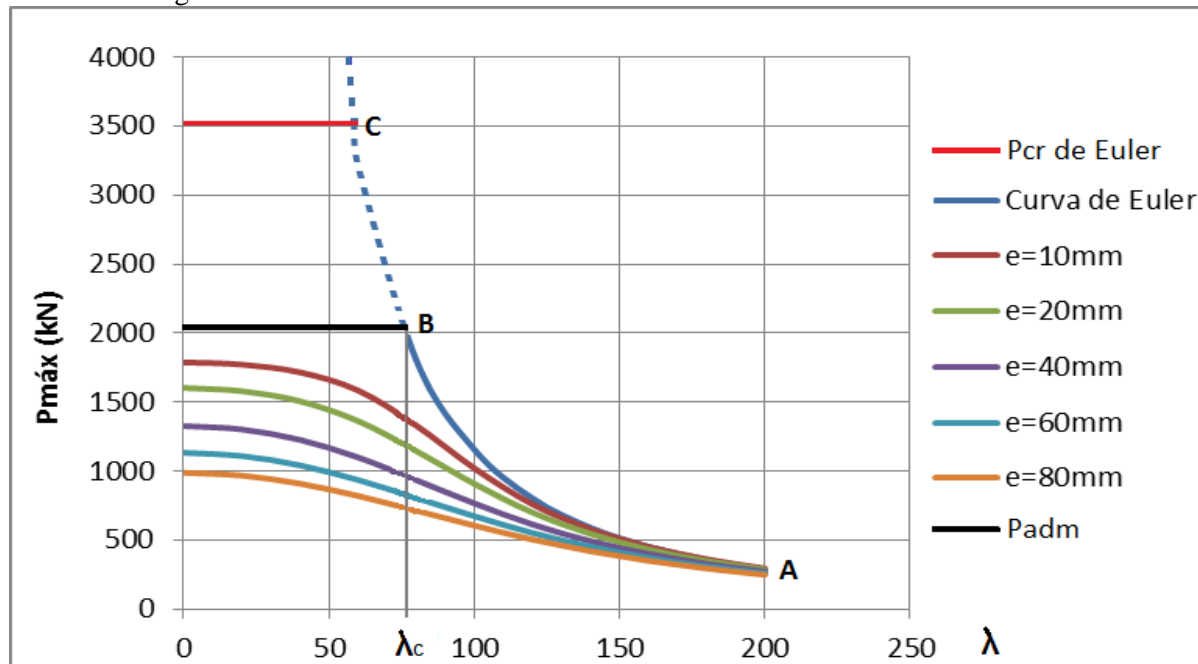
Tabela 1: Carga máxima suportada pela coluna (em KN)

λ	$e = 0$	$e = 10\text{mm}$	$e = 20\text{mm}$	$e = 40\text{mm}$	$e = 60\text{mm}$	$e = 80\text{mm}$
20	30363,8	1772,0	1580,0	1302,5	1110,0	968,0
40	7591,0	1716,0	1506,6	1227,0	1042,5	909,7
60	3373,8	1584,8	1363,3	1099,9	936,3	820,5
80	1897,7	1331,5	1146,6	935,8	806,0	713,7
100	1214,6	1020,6	908,4	766,7	673,8	605,6
120	843,4	760,8	700,6	614,2	552,5	504,8
140	619,7	578,9	545,6	493,1	452,6	419,9
160	474,4	452,0	432,4	399,6	372,8	350,3
180	374,9	361,4	349,2	328,0	309,9	294,2
200	303,6	295,1	287,1	272,9	260,4	249,3

Fonte: Autor (2015)

Expressando os resultados numéricos encontrados, em um diagrama que relaciona a carga máxima com o índice de esbeltez, para os diferentes valores de excentricidade, obtemos as curvas seguintes.

Gráfico 1: Carga máxima x índice de esbeltez



Fonte: Autor (2015)

No diagrama, a curva de Euler representa a coluna ideal com carga centrada ($e = 0$), enquanto que, as colunas submetidas à flexo-compressão normal são mostradas através do conjunto de curvas para diferentes valores de excentricidade. O gráfico nos mostra que a resistência de uma coluna com carga excêntrica é reduzida consideravelmente com o crescimento do índice de esbeltez, e que essa

resistência ainda é inversamente proporcional à excentricidade, sendo menor à medida que os valores de e aumentam.

A carga admissível da coluna foi encontrada multiplicando-se a tensão de escoamento (σ_y) do material, pela área da seção transversal do perfil que a compõe. O índice de esbeltez correspondente à carga admissível é chamado de índice de esbeltez crítico (λ_c) e pode ser encontrado através do arranjo da fórmula do carregamento crítico mostrado anteriormente. Observando a coluna ideal nota-se que a mesma flamba ainda no regime elástico para valores de λ maiores que o índice de esbeltez crítico. Para valores inferiores ao índice crítico, a coluna flamba inelasticamente, proposição reforçada pelo valor de P_{cr} encontrado para a coluna ideal analisada (acima do valor da carga admissível). Para flambagem no regime inelástico será necessário uma análise mais detalhada da curva de Euler nesse intervalo, tal análise não será feita no presente trabalho. Com isso, verificou-se que a curva de Euler representada no gráfico, é válida apenas no trecho AB, em que a carga está abaixo da carga de escoamento (P_{adm}) do material.

CONCLUSÕES

Diante da análise feita, verificou-se que à medida que o índice de esbeltez da coluna aumenta, a mesma tem sua capacidade de carga reduzida significativamente, portanto, sendo notável uma maior estabilidade naqueles membros curtos e pouco esbeltos. Em contraposição, o efeito da excentricidade é relativamente maior para colunas curtas, tendo uma redução na resistência de colunas sujeitas a altos valores de excentricidade.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. C. B.; LAVALL, A. C. C. Influência das tensões residuais na resistência de pilares de aço considerando a análise avançada com plasticidade distribuída. Revista Escola de Minas, v.60, n.2, p.391-399, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- BERNARDI, Rodrigo. Investigação numérica de flambagem em elementos esbeltos de perfis metálicos. Monografia de conclusão de curso. Ijuí: UNIJUÍ, 2007. 80p.
- GERDAU. Perfis estruturais Gerdau – Tabela de bitolas. 2015. Disponível em: <http://www.comercialgerdau.com.br>. Acesso em: 19 de julho de 2015.
- GERE, J. M. Mecânica dos materiais. 1.reimp. da 1.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 698p.
- HIBBELER, R. C. Resistência dos materiais. 7.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 641p.
- LIMA, N. W. B. Ferramenta numérica para o estudo da flambagem de colunas. Monografia de conclusão de curso. Mossoró: UFERSA, 2013. 64p.