ESTABILIDADE DE COLUNAS DE SEÇÃO VARIÁVEL EM AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA

Maria Gabriela Simões da Silva (PIC/UEM), Felipe Piana Vendramell Ferreira (Orientador), Alexandre Rossi (Coorientador). E-mail: fpvferreira@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharias / Engenharia Civil.

Palavras-chave: método dos elementos finitos; flambagem; estabilidade global.

RESUMO

A utilização de aços de alta resistência e de colunas de seção variável proporciona maior eficiência estrutural, mas torna a análise da estabilidade global mais complexa. Este trabalho avaliou numericamente, pelo Método dos Elementos Finitos no Abaqus, colunas de seção variável em aço de alta resistência. Após a validação do modelo com resultados experimentais, realizou-se um estudo paramétrico variando o comprimento, as espessuras da alma e das mesas e considerando a influência das imperfeições geométricas e tensões residuais. A resposta foi analisada por curvas carga × deslocamento, cargas máximas e configurações deformadas, permitindo avaliar a influência desses parâmetros na capacidade resistente e na instabilidade global das colunas.

INTRODUÇÃO

A utilização de aços de alta resistência associada a colunas de seção variável permite obter estruturas mais leves e eficientes, porém a variação da rigidez ao longo do comprimento torna a análise da estabilidade global mais complexa. Além da geometria e da esbeltez, imperfeições iniciais e tensões residuais podem influenciar a capacidade resistente desses elementos. Assim, este trabalho utiliza o Método dos Elementos Finitos para desenvolver e validar um modelo numérico e avaliar a influência do comprimento, da espessura da alma e das mesas na estabilidade global de colunas de seção variável em aço de alta resistência.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida pelo Método dos Elementos Finitos no software Abaqus, utilizando resultados experimentais disponíveis na literatura como referência para a construção e validação dos modelos. Foram reproduzidas a geometria das colunas de seção variável, considerando alma e mesas, as propriedades mecânicas do aço, as condições de contorno e os travamentos laterais compatíveis com o modelo experimental (TANKOVA et al., 2018).

A modelagem considerou o comportamento não linear do material, imperfeições geométricas iniciais e tensões residuais distribuídas em regiões de tração e compressão da seção. O carregamento axial foi aplicado por deslocamento controlado e a discretização foi realizada por malha estruturada. A resposta foi monitorada por deslocamentos e reações de apoio, permitindo construir as curvas carga × deslocamento. A validação considerou a comparação das cargas máximas, das curvas e dos modos de instabilidade entre os resultados numéricos e experimentais.
Após a validação, realizou-se o estudo paramétrico mantendo-se as condições numéricas do modelo e variando-se o comprimento das colunas, a espessura da alma e a espessura das mesas nas configurações C1, C2 e C3. Também foram comparados modelos com e sem tensões residuais. Para cada situação foram avaliadas as cargas máximas, as curvas carga × deslocamento e as configurações deformadas, buscando identificar a influência de cada parâmetro sobre a rigidez, a capacidade resistente e a instabilidade global.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na etapa de validação, o modelo numérico apresentou comportamento compatível com os resultados experimentais de referência, tanto em relação às cargas máximas quanto à forma das curvas carga × deslocamento e aos modos de instabilidade observados. Essa concordância permitiu utilizar os modelos validados como base para o estudo paramétrico das colunas de seção variável.
A variação do comprimento evidenciou redução da capacidade resistente à medida que as colunas se tornaram mais esbeltas. Para os menores comprimentos analisados, a configuração C3 apresentou, de modo geral, maiores valores de carga máxima em comparação às demais configurações. Com o aumento do comprimento, as diferenças entre C1, C2 e C3 tornaram-se menos acentuadas, evidenciando a crescente influência da instabilidade global no comportamento dos elementos. A figura 1 apresenta as curvas carga × deslocamento obtidas para os diferentes comprimentos.

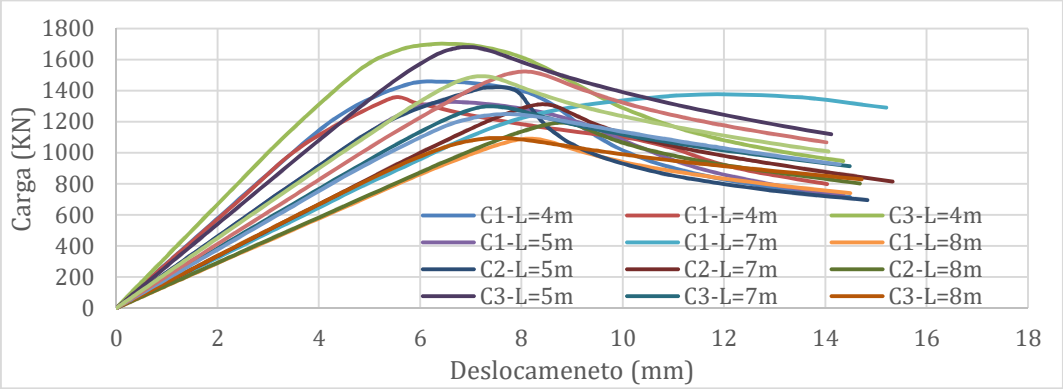


Figura 1: Variação do comprimento sem tensão residual

A espessura da alma também influenciou a resposta estrutural, porém sem apresentar uma tendência monotônica comum a todas as configurações. Em alguns casos, espessuras intermediárias resultaram em respostas superiores às obtidas para espessuras maiores, indicando que o efeito desse parâmetro depende da interação entre a geometria da seção, a distribuição de rigidez e o desenvolvimento da instabilidade global. Dessa forma, o aumento isolado da espessura da alma não implicou necessariamente aumento proporcional da carga máxima. A figura 2 apresenta a influência dessa variável nas configurações analisadas.

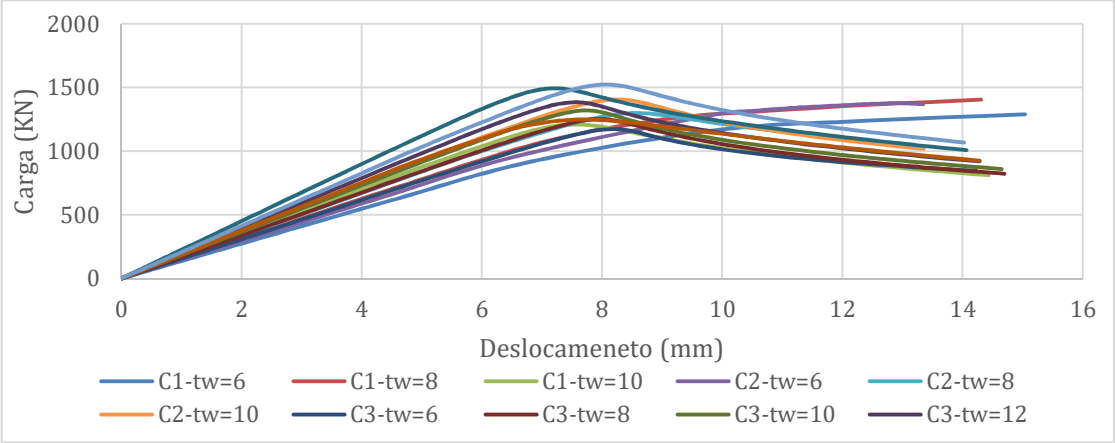


Figura 2: Variação da alma sem tensão residual

A variação da espessura da mesa apresentou comportamento mais regular. De modo geral, o aumento da espessura proporcionou maior rigidez à seção e aumento da capacidade resistente, embora tenham sido observadas particularidades entre as configurações. Esses resultados mostram que a contribuição das mesas para a estabilidade global está relacionada ao aumento da rigidez da seção transversal. A figura 3 apresenta as curvas correspondentes à variação da espessura da mesa.

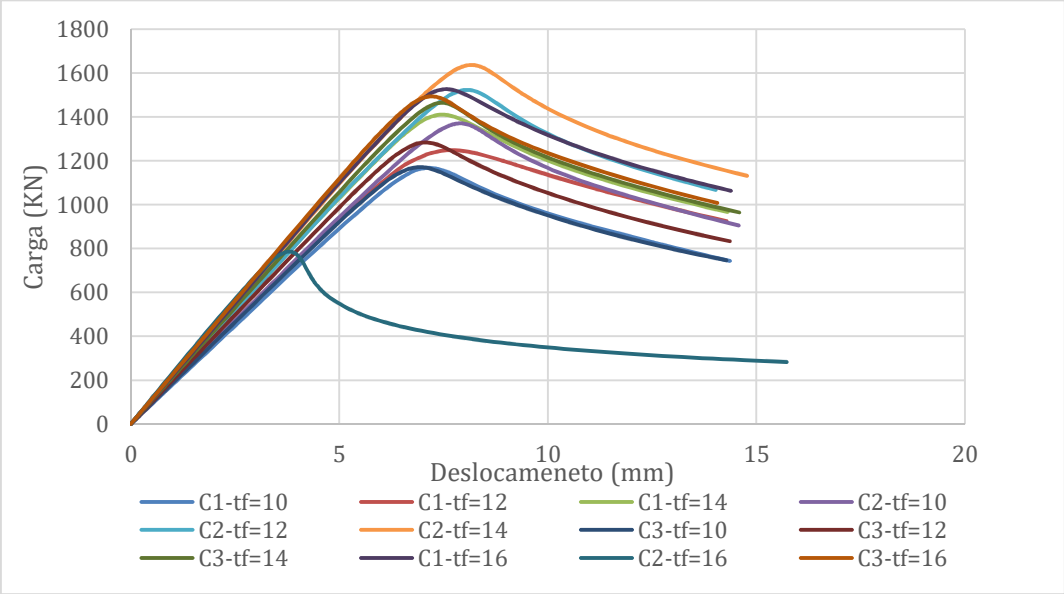


Figura 3: Variação da mesa sem tensão residual

Além dos parâmetros geométricos, avaliou-se a influência das tensões residuais. Sua consideração reduziu, de modo geral, as cargas máximas, sem alterar significativamente a forma das curvas carga × deslocamento ou o mecanismo predominante de instabilidade global. Assim, seu principal efeito foi a redução da capacidade resistente das colunas.

CONCLUSÕES

O modelo numérico validado mostrou-se adequado para representar o comportamento de estabilidade global de colunas de seção variável em aço de alta resistência, possibilitando sua aplicação no estudo paramétrico. Os resultados evidenciaram que o aumento do comprimento e, consequentemente, da esbeltez das colunas reduziu a capacidade resistente e tornou mais significativa a influência da instabilidade global. A variação da espessura da alma apresentou comportamento menos uniforme, indicando que seu efeito depende da interação entre a geometria da seção, a distribuição de rigidez e o mecanismo de instabilidade. Em contrapartida, o aumento da espessura das mesas apresentou influência mais regular, proporcionando, de modo geral, aumento da rigidez e da carga máxima resistente. A consideração das tensões residuais resultou na redução das cargas máximas, porém sem alterar significativamente a forma das curvas carga × deslocamento e o comportamento global observado. Entre as configurações analisadas, C3 apresentou, de modo geral, melhor desempenho, especialmente para os menores comprimentos. Dessa forma, os resultados demonstram que a estabilidade global das colunas de seção variável é determinada pela interação entre comprimento, esbeltez, características geométricas da seção, propriedades mecânicas e tensões residuais, reforçando a importância da consideração conjunta desses parâmetros na avaliação do comportamento estrutural.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá (UEM), ao Programa Institucional de Iniciação Científica (PIC) e ao Departamento de Engenharia Civil pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

TANKOVA, T.; MARTINS, J. P.; SILVA, L. S.; SIMÕES, R.; CRAVEIRO, H. D. Experimental buckling behaviour of tapered steel columns with I-section. Journal of Constructional Steel Research, v. 147, p. 293–312, 2018.

DASSAULT SYSTÈMES SIMULIA CORP. *Abaqus*. Providence, RI: Dassault Systèmes, [s.d.]. Software.