Comportamento de ligações em estruturas em aço

Este artigo, premiado na 13ª Semana de Iniciação Científica da UERJ, apresenta o trabalho desenvolvido pelo aluno Rodrigo Affonso, no âmbito do Projeto de Pesquisa intitulado "Avaliação de Ligações Semi-Rígidas Segundo Recomendações do Eurocode 3". A sua publicação é fruto da parceria estabelecida entre o Programa CREA ESTUDANTE e a Faculdade de Engenharia da UERJ.

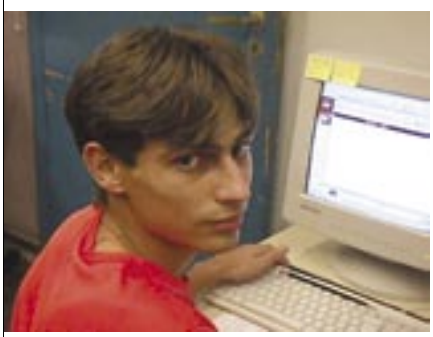
Introdução

As ligações estruturais desempenham um papel fundamental no comportamento global das estruturas de aço. Baseando-se em uma tentativa de se entender o comportamento real de uma ligação e sua influência na resistência global dos pórticos de edificações em aço, inúmeros trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos. Respaldado pelo entendimento do comportamento real das ligações, torna-se possível o desenvolvimento de novas recomendações de projeto para se avaliar de forma mais apropriada, as propriedades mecânicas das mesmas e, conseqüentemente, os procedimentos de projeto de estruturas de edifícios que considerem esta hipótese.

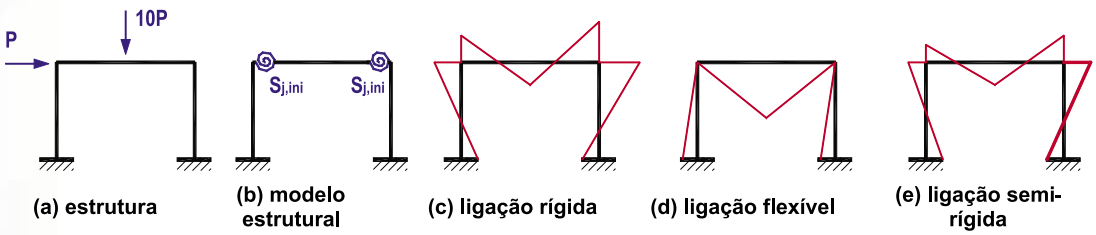
Atualmente, pela NBR8800, considera-se o comportamento das ligações viga-coluna entre duas situações extremas: rígidas ou flexíveis. Uma ligação é classificada como rígida quando os elementos estruturais, viga e coluna, sofrem a mesma rotação, ou seja, em qualquer ligação viga-coluna, a distribuição de momentos fletores ocorre de acordo com a rigidez à flexão destes elementos. O outro caso extremo considera que a viga se comporta como simplesmente apoiada, ou seja, não ocorre transmissão de momento fletor da viga para a coluna.

Entretanto, sabe-se que todas as ligações, apesar de serem classificadas como rígidas, permitem uma certa deformação por flexão. Todavia, as ligações consideradas flexíveis, possuem um certo grau de restrição desta rotação. Deste modo, para situações intermediárias, o momento transmitido será resultante da rotação relativa entre a viga e a coluna. A ligação é denominada, então, semi-rígida.

O dimensionamento de pórticos utilizando-se o conceito de ligações rígidas faz com que o momento máximo positivo atuante nas vigas do pórtico seja maior do que o calculado. Esta diferença, que também gera um alívio de solicitação nas colunas, pode levar ao colapso da estrutura em casos extremos ou, pelo menos, ao desconhecimento da segurança envolvida no projeto destas peças. Isto ocorre porque o momento de engastamento perfeito existente na viga não é totalmente absorvido pela ligação.



Rodrigo Affonso
Aluno da Faculdade de Engenharia da UERJ



Por outro lado, se o dimensionamento for executado utilizando-se os conceitos de ligações flexíveis, as colunas estarão, na realidade, sujeitas a flexo-compressão. Se por um lado, as vigas estão superdimensionadas, um colapso das colunas, ou melhor, vigas-colunas, poderá ocorrer, e mais uma vez, a segurança estrutural será desconhecida.

Como exemplo prático de projeto, na figura 1 são apresentados três diagramas de momento fletor associados a um pórtico engastado, submetido ao carregamento indicado, onde as ligações viga-coluna são consideradas flexíveis, rígidas ou semi-rígidas. Inicialmente, a utilização de ligações semi-rígidas em pórticos indeslocáveis mostra que os esforços na viga tornam-se menores. Ao refinar-se esta análise, pode-se também diminuir os tirantes utilizados no contraventamento do pórtico.

No caso de ligações semi-rígidas em pórticos deslocáveis, estas contribuem com uma parcela da rigidez necessária a estabilidade lateral do mesmo, de forma mais econômica.

As ligações representam uma parcela pouco significativa do peso total da estrutura, porém, possuem preços de fabricação e montagem elevados. Avaliando-se estes fatores, soluções que considerem a economia representada pelo uso de ligações semi-rígidas, merecem atenção especial por parte dos projetistas estruturais.

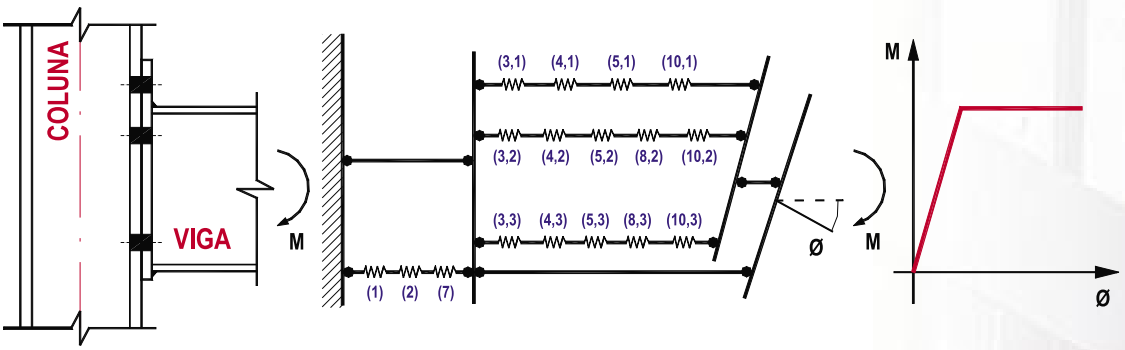
Algumas normas atuais, utilizadas para o projeto e dimensionamento de estruturas de aço, consideram que as ligações viga-coluna apresentam um comportamento semi-rígido, como por exemplo, o Eurocode 3 (parte 1.8). O dimensionamento dessas ligações, feito com base nas recomendações deste regulamento, é baseado no Método das Componentes.

Método das Componentes

Os modelos mecânicos, geralmente conhecidos como modelos de molas, são baseados na simulação da ligação através da utilização de um conjunto de componentes rígidos e flexíveis. A não-linearidade destes elementos é obtida por meio de leis constitutivas inelásticas adotadas para cada um dos elementos de mola. A caracterização das ligações viga-coluna utilizando estes modelos mecânicos é conhecida como Método das Componentes, proposto pelo Eurocode 3. Este método consiste na realização dos seguintes passos: identificação das componentes ativas da ligação viga-coluna a ser analisada; obtenção das curvas força x deslocamento de cada uma destas componentes e, em seguida, procede-se a associação destas em série e em paralelo para obtenção da curva momento x rotação global da ligação.

"Embora bastante usada em países europeus, a utilização das ligações semi-rígidas ainda encontra resistência no Brasil"

Apresenta-se, agora, na figura 2a, uma situação de projeto associada a uma ligação com placa de extremidade estendida com o respectivo modelo mecânico. Na figura 2b, cada uma das molas representa uma componente crítica na direção das respectivas linhas de parafusos que influencia tanto a resistência à flexão como também, a rigidez à rotação da ligação.



(a) ligação viga-coluna (b) modelo mecânico (c) curva M x ϕ

Depois de calculadas as resistências individuais de cada componente, com base na associação em série e em paralelo, obtém-se os valores de resistência à flexão ($M_{j,Rd}$) e rigidez inicial ($S_{j,ini}$) da ligação viga-coluna utilizados para a caracterização da curva momento versus rotação citada anteriormente, como mostra a figura 2c.

Conclusão

Embora bastante usada em países europeus, a utilização das ligações semi-rígidas ainda encontra uma certa resistência pelos projetistas de estruturas de aço no Brasil. O projeto de revisão da NBR8800 pretende considerar o comportamento semi-rígido das ligações em estruturas de aço no país.

Estudos realizados mostraram que a utilização de ligações semi-rígidas em um edifício residencial popular com quatro pavimentos, com dezesseis unidades residenciais, construído pela USIMINAS, proporcionou uma economia da ordem de 15% no peso total da estrutura considerando-se pórticos não-contraventados e mistos (utilização de "deck" metálico).

Dentro do projeto de pesquisa em desenvolvimento, o próximo passo consistirá da análise individual de algumas componentes consideradas no modelo mecânico proposto pelo Eurocode 3 que ainda apresentam alguma variação quando comparadas com resultados experimentais.

Rodrigo Affonso
Aluno de Graduação - UERJ - Faculdade de Engenharia
Departamento de Estruturas e Fundações

Luciano Rodrigues Ornelas de Lima - orientador
Professor Adjunto - UERJ - Faculdade de Engenharia
Departamento de Estruturas e Fundações

José Guilherme Santos da Silva - co-orientador
Professor Adjunto - UERJ - Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

Referências Bibliográficas

1. CHAN, S. L. and Chui, P.P.T., Non-Linear Static and Cyclic Analysis of Steel Frames with Semi-Rigid Connections. Elsevier, 2000.
2. EUROCODE 3, prEN 1993-1-8, Design of steel structures – Part 1.8: Design of joints ("stage 49 draft"), 2003.
3. JÚNIOR, O. F. B., Desenvolvimento de Sistemas Estruturais Semi-Rígidos em Aço e Mistos para Edificações Residenciais Multifamiliares. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 2001. 163p.
4. LIMA, L. R. O., Avaliação de Ligações Viga-Coluna em Estruturas de Aço Submetidas a Flexão no Eixo de Menor Inércia. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 1999. 189p.
5. LIMA, L. R. O., Comportamento de Ligações com Placa de Extremidade em Estruturas de Aço Submetidas a Momento Fletor e Força Axial. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 2003. 260p.
6. NBR 8800, Projeto e Execução de estruturas de Aço em Edifícios (Métodos dos Estados Limites), ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986, 129p.
7. -USIMINAS, "Usiteto - Solução Usiminas Para Habitação Popular", 2000.