

FLAMBAGEM LATERAL DE COLUNAS ESBELTAS SOLICITADAS NO PLANO DE MAIOR INÉRCIA

Nelson Szilard Galgoul - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Antônio Figueira Pinto - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

1. RESUMO

A verificação de uma coluna esbelta de concreto armado com seção transversal simétrica, submetida a esforço axial e solicitações laterais produzindo flexão no plano de simetria, é, em princípio, um problema trivial, resolvido correntemente nos muitos escritórios de projeto. Estudos realizados por Galgoul em 1978 /1/ mostraram, contudo, que a capacidade portante da coluna supra-citada, avaliada considerando apenas o que se passa no plano de flexão, pode apresentar resultados notadamente contra a segurança, em função de uma eventual flambagem da coluna na direção transversal ao referido plano. Alertados para a existência do problema, as comissões de elaboração da norma alemã e do CEB, à época, introduziram restrições dimensionais, numa primeira tentativa de evitar sua ocorrência. Tiveram início, pouco depois em Braunschweig, Alemanha, ensaios de modelos em escala natural realizados por Kordina /2/, que viriam confirmar, na prática, os resultados apenas teóricos enunciados em /1/. O presente trabalho apresenta a evolução das restrições mencionadas acima nas normas CEB-90 /3/, EUROCODE 2 /4/, DIN 1045 /5/, NBR-6118 /6/ e NBR-7178 /7/, bem como comentários em relação a alterações futuras das mesmas, no que tange ao problema em apreço.

2. INTRODUÇÃO

Seja a coluna de concreto armado da figura 1, com seção constante, submetida a uma solicitação normal N_x , excêntrica segundo o eixo Y indicado, de modo a produzir uma deformação da coluna no plano XY. Ressalta-se o fato da coluna ser mais esbelta na direção não solicitada. Para uma excentricidade, $e_y = 0$, o momento fletor M_z será igualmente nulo, de modo que a flambagem centrada pode ser verificada, facilmente, mesmo considerando o comportamento não linear dos materiais, pela fórmula tradicional de Euler (nesse caso particular usando a rigidez tangente, que fornece uma solução limite inferior). Na medida em que e_y deixar de ter valor nulo o momento M_z , ao longo da coluna, torna-se variável em função da superposição dos efeitos de primeira e segunda ordem, fazendo com que a rigidez também o seja, pelo fato do material ter comportamento não linear (rigidez menor para as seções mais solicitadas). Essa redução de rigidez é levada em conta automaticamente numa verificação à flambagem no plano XY, mas, infelizmente, apenas para a direção correspondente ao momento M_z . A perda de rigidez na direção transversal, também decorrente das solicitações no plano XY, pode, em dadas circunstâncias, levar a coluna a flambar no plano XZ, para uma excentricidade e_y muito inferior àquela que causa a ruína da coluna por flexo-compressão ou por instabilidade no plano XY.

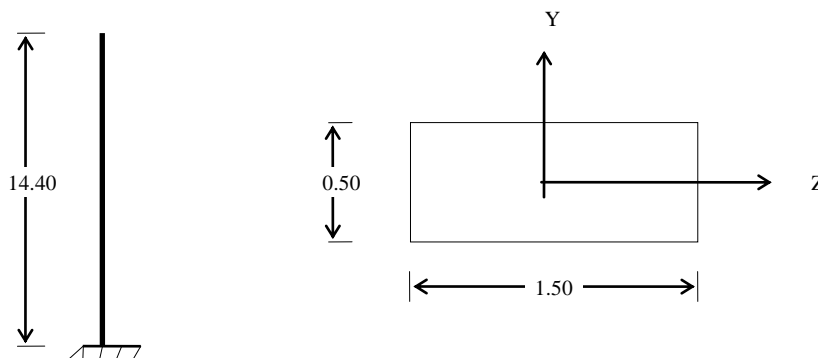


Fig. 1 - Coluna Esbelta de Concreto Armado Solicitada Apenas no Plano de Simetria

Um exemplo do que foi dito acima é apresentado na figura 2, onde são fornecidos, para a coluna da figura 1, três curvas distintas, quais sejam: A curva 1: Valor máximo de N_x resistido pela coluna numa análise tradicional no plano XY considerando a excentricidade e_y ; A curva 2: Valor máximo de N_x resistido pela coluna no plano XY para a excentricidade e_y , determinado, contudo, levando em conta a possibilidade de flambagem no plano XZ; A curva 3: N_{xd} constante igual a 2050kN, para o qual se deseja conhecer o valor máximo de e_y correspondente resistido pela coluna. O ponto A de interseção das curvas 1 e 3, com uma excentricidade de 0,79m, representa a excentricidade limite, resultante da análise de flambagem plana, para a solicitação normal N_{xd} aplicada à coluna. Já o ponto B da curva 2 relativo à mesma excentricidade, mostra a solicitação normal realmente resistida pela coluna, que é de apenas 1150kN. Assim sendo a verificação tradicional chegaria a uma carga crítica 78% maior que a real.

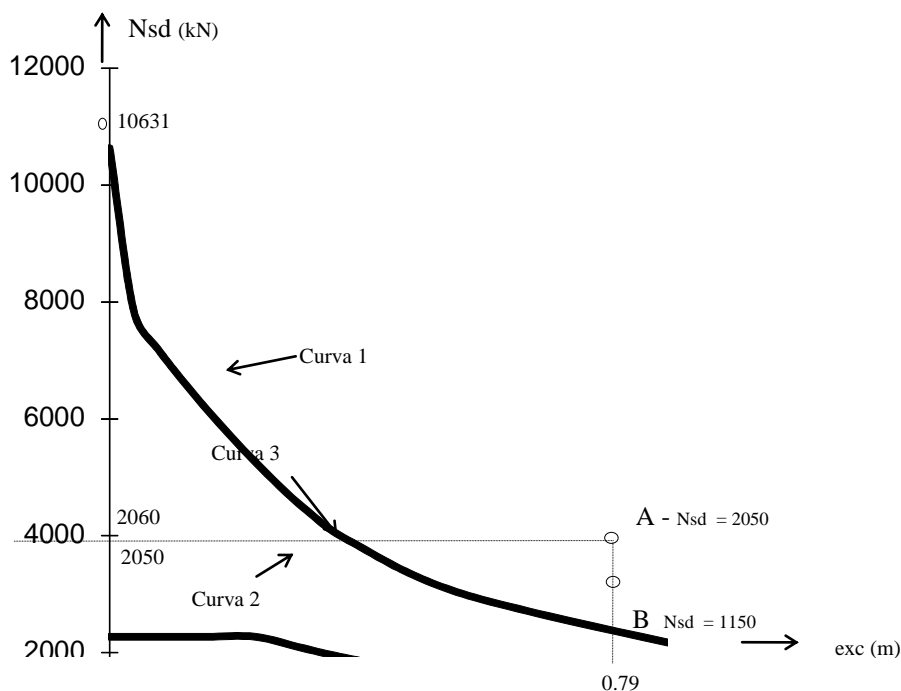


Fig. 2 - Gráfico indicando a evolução da carga crítica N_{sd} em função de e_y

Fica claro, à luz deste exemplo, que a coluna pode flambar para uma capacidade portante sensivelmente inferior àquele para a qual se poderia supor à luz de uma análise tradicional, sendo indispensável, portanto, a existência de algum critério de norma que limite a utilização de verificações planas (incluindo aqui todos os ábacos de dimensionamento à flambagem) em casos de rigezas discrepantes, nos quais a flexão se dá segundo o eixo forte.

3. OBTENÇÃO DE UMA SOLUÇÃO SIMPLES

A grande dificuldade de se estabelecer uma solução para o problema em apreço reside na quantidade de parâmetros que o influenciam. Destes os principais são: a geometria da coluna (incluindo a distribuição de armadura), a esbeltez das duas direções (incluindo as condições de engastamento) e a natureza e intensidade dos esforços em cada direção. Galgoul /1/ havia proposto, em 1978, uma solução na qual procurou agrupar os parâmetros citados acima, que acabou sendo incluída na NBR-7187 (apresentado adiante), mas que foi considerada pouco prática por Kordina, que à época presidia as comissões de flambagem, tanto do CEB como da DIN 1045. Foram propostos, portanto, limites mais simples e correspondentemente menos precisos, que são comentados no item seguinte.

4. LIMITAÇÕES PROPOSTAS EM NORMAS

4.1 DIN 1045

A primeira norma a sofrer alteração em função dos resultados da pesquisa apresentada em /1/ (conhecidos de Kordina desde meados de 1977) foi a DIN 1045, em seu item 17.4.8, onde foi incluída uma cláusula exigindo uma verificação complementar, tomando por base verificações realizadas por Olsen e Quast/8/, na qual a excentricidade accidental seria considerada, não na direção da solicitação e sim na direção mais esbelta da coluna. Para o exemplo fornecido acima com a excentricidade accidental aplicada na direção Z e admitindo-se $e_y = 0$, obtém-se uma carga crítica de 800kN, ou seja, 21% menor que aquela realmente resistida.

4.2 Código Modelo do CEB

O CEB 1978 /9/ exigia verificações muito similares às da norma DIN 1045, mas possuía, para o problema de flambagem com flexão desviada, um método de verificação proposto por Menegotto e Pinto, que fazia recair o problema espacial em dois outros planos (era restrito a colunas com seção constante apresentando dupla simetria). O método era crido sempre a favor da segurança, podendo, contudo, ser pouco econômico. Foi mostrado em /1/, entretanto, que o método de Menegotto e Pinto poderia ser fortemente contra a segurança, pelo que foi abandonado no CEB 90 /3/. Além desta modificação foram feitas mais duas em /3/, que são dignas de nota. A primeira diz respeito a colunas submetidas a flexão desviada com esforços aplicados com excentricidades (já computadas as excentricidades accidentais), próximas a um dos eixos principais. Neste caso permite-se, tal como anteriormente, que a verificação seja plana, desde que a relação das excentricidades relativas seja inferior a 0,25 (anteriormente era 0,20). A segunda, justamente como atenuante para o problema de flambagem transversal na análise plana, foi a inclusão de uma verificação complementar para a direção mais esbelta, sempre que a excentricidade relativa do eixo forte excedesse 0,20, na qual seria considerada uma altura reduzida da seção igual à altura comprimida da mesma (ver figura 3). A determinação dessa altura reduzida seria feita considerando apenas a seção comprimida, com a linha neutra correspondente obtida admitindo o comportamento linear-elástico da seção. As armaduras seriam todas consideradas nesta verificação, mesmo aquelas fora da seção de concreto reduzida. Para o exemplo fornecido acima, no qual a excentricidade relativa é de 0,53, a aplicação

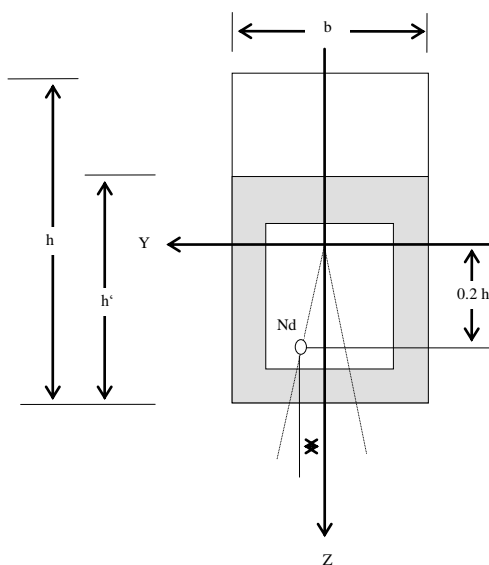


Fig. 3 - Redução da seção transversal para verificação da flambagem lateral

4.3 Eurocode 2 /4/

As restrições previstas no Eurocode 2 são as mesmas encontradas no Código Modelo do CEB 90 /3/.

4.4 NBR-6118 /6/

A norma brasileira de concreto armado para edificações não tem qualquer previsão para fazer face à redução da capacidade portante da coluna nos casos de flambagem lateral investigados em /1/.

4.5 NBR-7187 /7/

A norma brasileira de pontes em concreto armado e protendido, publicada em 1985, preconiza uma verificação da coluna à flambagem lateral pelo método proposto em /1/, segundo o qual

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

/1/ Galgoul, N. S.: Beitrag zur Bemessung von schlanken Stahlbetonstützen für schiefe Biegung mit Achsdruck unter Kurzzeit- und Dauerbelastung, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Volume 361, Berlin, 1985;

/2/ Kordina, K., Grzeschkovitz, R. e Teutsch, M.: Experimentelle Untersuchungen des Trag- und Verformungsverhaltens planmässig zweiachsig ausmittig beanspruchter schlanker Stahlbetondruckglieder, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz. Braunschweig, 1986;

/3/ CEB/FIP Model Code 1990, Comité Euro-International du Béton, Bulletin d'Information 213/214, Lausanne, 1993;

/4/ Eurocode 2, Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Edição alemã, Beton-Kalender, Ernst & Sohn, Berlin, 1995;

/5/ DIN 1045, Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung,

/6/ NBR-6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado, ABNT, Rio de Janeiro, 1965;

/7/ NBR-7187 - Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Protendido, ABNT, Rio de Janeiro, 1986;

/8/ Rafla, K.: Praktisches Verfahren zur Bemessung schlanker Stahlbetonstützen mit Rechteckquerschnitt bei schiefer Biegung mit Achsdruck, Der Bauingenieur 49, 1974, páginas 429-436;

/9/ CEB/FIP Mustervorschrift für Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton, Berlin, 1978.