

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO POSICIONAMENTO DO NÚCLEO RÍGIDO EM ESTRUTURAS DE AÇO: ESTUDO DE CASO

Erasmu A. B. Silva

Aline S. R. Barboza

Ayslan D. A. Santos

erasmo.pe@gmail.com

aline@lccv.ufal.br

ayslan360@hotmail.com

Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas

Avenida Lourival de Melo Mota – Cidade Universitária – Maceió, 57072-970, Alagoas, Brasil

Abstract. One of the main ways of stiffening tall buildings or formed by slender profiles, case of multi-storey steel buildings, are based on the introduction of the concrete core, capable of resisting both vertical and horizontal efforts. Generally, this bracing subsystem is positioned around the service core in the central regions of the building. However, architectural proposals occasionally lead to asymmetry of the plant core, a factor that influences the capability of the structure to withstand lateral efforts, and to the appearance of torsion. This work proposes the analysis of displacements, distribution of efforts and overall stability of models of a twelve-story steel structure, with the indicated variations: 1) center of gravity of the coincident concrete core and structure; 2) shear center of the concrete core coinciding with the center of gravity of the structure; 3) asymmetric concrete core in relation to the two axes. The models were analyzed in the SAP2000 finite element software, where the efforts were obtained in the metallic profiles in linear and geometrically non-linear analysis by the process P-delta process and displacements used to calculate second order efforts through the Effort Amplification Method Applicants. For verification of the core and calculation of the coefficient γ_z was used the TQS software. It was concluded that the core positioning influences the torsion efforts, which become more accentuated by the increasing distance from the shear center to the action resulting from the lateral loads. For the building under analysis, the greatest variation of second-order efforts occurred in the Amplification Method of the Requester Efforts, but did not show considerable variations through the P-delta analysis process and the enhancement method γ_z coefficient. The difference of efforts between the models was basically die to the geometric distribution generated by the positioning of the concrete core.

Keywords: Steel structures, Concrete core, Second order analysis

1 Introdução

Em função da alta resistência do material, os perfis estruturais em aço possuem áreas de seções reduzidas se comparadas as usuais de concreto armado, resultando em estruturas esbeltas e flexíveis, e, portando, mais propensas a deslocamentos resultantes da ação dos ventos. Em edifícios de múltiplos pavimentos de aço, o subsistema de contraventamento assume a função de aumentar a rigidez da estrutura, tornando-a resistente as solicitações horizontais.

Edifícios com núcleo rígido devem ser avaliados quando à ocorrência de torção, principalmente porque em seções normalmente adotadas, em formato de C, o centro de cisalhamento do núcleo não coincide com o centro geométrico. Dessa forma, o posicionamento do núcleo de rigidez interfere nos esforços de torção pelos quais a estrutura é solicitada e reflete nos deslocamentos totais e interpavimentos.

Nesse contexto, faz-se necessário o estudo do posicionamento do núcleo rígido em estruturas de aço quanto a estabilidade global, visto o seu papel de importância na diminuição dos deslocamentos e efeitos de segunda ordem.

2 Objetivos

Este trabalho busca avaliar a influência do posicionamento do núcleo rígido em estruturas de aço em relação aos esforços atuantes e classificação da sensibilidade a deslocamentos laterais. São objetivos específicos avaliar a estabilidade global dos modelos através dos coeficientes γ_z , B_2 e processo de análise P-delta; avaliar a distribuição de esforços nos diferentes modelos e realizar uma análise comparativa dos métodos de obtenção de esforços de segunda ordem.

3 Metodologia

Os modelos foram analisados no software SAP2000 onde obteve-se os esforços solicitantes e deslocamentos necessários para verificação dos perfis metálicos e classificação quanto a deslocabilidade através do P-delta e B_2 ; e no software TQS, usado para o dimensionamento do núcleo rígido e obtenção do parâmetro γ_z .

O modelo 1 foi verificado quanto aos estados limites último e de serviço, e os perfis resultantes foram adotados para os demais modelos.

Avaliou-se, em cada modelo, os deslocamentos laterais, a distribuição de esforços e a classificação da estrutura quanto a deslocabilidade através dos coeficientes γ_z , B_2 , e em relação à razão de deslocamentos de segunda ordem obtidos através do processo de análise P-delta e deslocamentos de primeira ordem.

Avaliou-se ainda a variação de esforços resultantes das análises de segunda ordem em relação à de primeira nos elementos mais solicitados em cada modelo.

4 Modelagem Numérica

O edifício em estudo possui 12 pavimentos de geometria quadrada, com dimensões de 15 x 15 metros, cujo sistema estrutural é formado pela associação de pórticos rígidos ao núcleo de rigidez em forma de C com 3 x 3 metros e paredes de 20 centímetros de espessura. A vinculação externa das colunas foi definida como engastadas na base. Adotou-se o subsistema de lajes maciças armadas em duas direções com 20 centímetros de espessura.

Analisou-se os modelos do edifício nos quais:

- 1) o centro de gravidade do núcleo e da estrutura de aço coincidentes;
- 2) o centro de cisalhamento do núcleo coincidente com o centro de gravidade da estrutura de aço;
- 3) o núcleo rígido totalmente excêntrico.

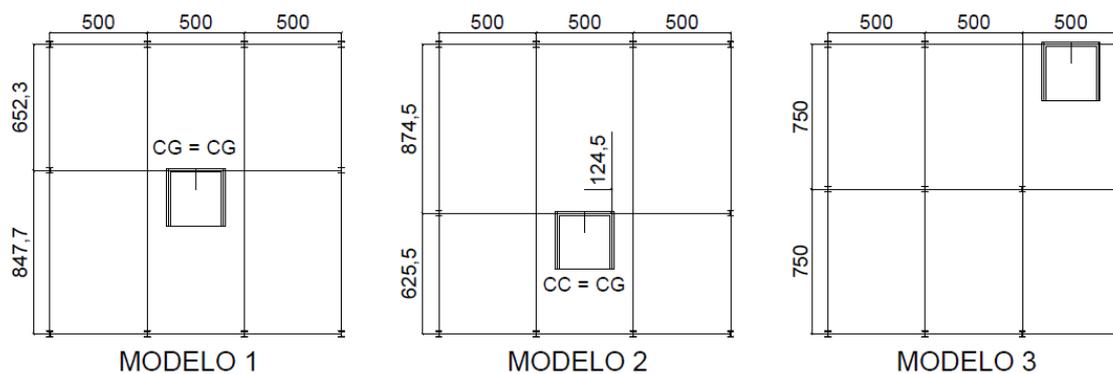


Figura 1. Modelos

Para os pilares e vigas metálicas foram adotadas o aço de baixa liga e alta resistência mecânica ASTM 572 Grau 50, cujas características são encontradas na NBR 8800 [1]. As propriedades do concreto foram adotadas conforme a NBR 6118 [2], correspondentes à resistência de 30 MPa.

Adotou-se um carregamento distribuído sobre a laje de 1,5 kN/m² em consideração as cargas permanentes. Sobre as vigas, adotou-se um carregamento devido à alvenaria de 3,20 metros em bloco furado de 15 centímetros de largura e peso específico de 12 kg/m³. Adotou-se, por simplificação, um carregamento uniforme distribuído sobre a laje de 1,50 kN/m², compatível com o recomendado para a classe de dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro. Sabe-se, no entanto, que em um projeto real, o carregamento seria distribuído de acordo com função dos cômodos, incluindo cargas distribuídas nos corredores, escadas e terraços. Conforme a NBR 6120 [3], considerou-se a redução da sobrecarga de utilização na verificação dos pilares. O carregamento horizontal devido a ação do vento foi definido de acordo com a NBR 6123 [4], com velocidade básica de 30 m/s, equivalente a uma edificação em Maceió, em um terreno plano cuja superfície é lisa e de grande dimensão.

As combinações foram determinadas pela NBR 8681 [5] para cada uma das quatro direções ortogonais de ação do vento, com e sem redução de carregamento acidental. As combinações de estados limites últimos analisadas são apresentadas na Tabela 1. Para verificação dos estados limites de serviços foram adotadas as combinações frequentes.

Tabela 1. Combinações para verificação dos estados limites últimos

$1,4 (\text{peso próprio} + \text{permanente}) + 1,4 \text{ acidental} + 1,4 (0,6 \text{ vento})$
$1,4 (\text{peso próprio} + \text{permanente}) + 1,4 (0,7 \text{ acidental}) + 1,4 \text{ vento}$

Os pilares e vigas metálicas do Modelo 1 foram pré-dimensionadas a partir de áreas de influência e previsão de carregamentos gravitacionais, o que resultou no perfil CS 350 x 153 para os pilares, e VS 350 x 39 para as vigas, também adotados para os demais modelos.

Modelou-se o edifício no software de elementos finitos SAP2000, onde adotou-se o elemento de barra (frame) para as vigas e pilares e elementos de áreas (shell) para as lajes e núcleo rígido. Aplicou-se o recurso constraint, rigid diaphragm para similar o efeito de diafragma rígido, em que é impedida a flexão em seu plano através da ligação entre os nós por links rígidos no plano da laje. Definiu-se uma barra para cada elemento estrutural, totalizando 106 barras. As lajes foram discretizadas por elementos de área de 0,4 x 0,4 metros, e o núcleo, por elementos de 0,3 x 0,35 metros, totalizando 21 180 elementos de área.

Após a verificação dos perfis metálicos, os modelos foram analisados no TQS, onde foi verificado a capacidade resistente do núcleo. Adotou-se o modelo de cálculo VI, cujo diferencial é a incorporação da laje ao pórtico especial. O Sistema CAD/TQS permite considerar de maneira aproximada a rigidez a flexo-torção dos núcleos rígidos, modelado através de uma malha de barras que representam as seções discretizadas e permitem o cálculo aproximado da inércia a torção equivalente [6].

Os perfis encontrados se mostraram adequados à solicitação após verificação dos estados limites últimos e de serviço dos perfis metálicos e núcleo rígido no Modelo 1.

5 Resultados e discussões

5.1 Deslocamentos Laterais no Topo dos Pilares

Observou-se que o menor deslocamento foi obtido no Modelo 2, em que o centro de cisalhamento do núcleo é posicionado sobre o centro de gravidade da estrutura; e o maior, no Modelo 3, de maior assimetria.

Tabela 2. Deslocamentos laterais no topo dos pilares

Modelo	Deslocamento de Topo (cm)	Combinação
1	1,73	<i>peso próprio + permanente + 0,4 acidental + 0,3 vento 270°</i>
2	1,59	<i>peso próprio + permanente + 0,4 acidental + 0,3 vento 90°</i>
3	3,33	<i>peso próprio + permanente + 0,4 acidental + 0,3 vento 180°</i>

Apesar da força resultante atuar sobre o centro de cisalhamento no Modelo 2, ocorreram deslocamentos relativos no mesmo pavimento, maiores nos pórticos mais distantes do centro de cisalhamento. Como a rigidez do núcleo representa uma grande parcela da rigidez do edifício, o braço de torção gerado neste modelo é menor, resultando em menores deslocamentos relativos entre os pórticos no pavimento.

5.2 Distribuição de Esforços Solicitantes Máximos

De maneira geral, os elementos mais solicitados são aqueles que suportam a maior parcela de carregamento gravitacional, mesmo que a área de influência de carregamentos laterais seja menor em relação aos elementos paralelos. Os valores máximos das vigas foram obtidos nos apoios, nos casos de vento que contribuíram para maior momento negativo nestes pontos. Observa-se que o Modelo 3, de maior assimetria do núcleo em relação ao centro de gravidade da estrutura metálica, apresentou os maiores esforços solicitantes.

Tabela 3. Esforços solicitantes máximos

Modelo	Viga		Pilar		
	M_x (kNcm)	V (kN)	N (kN)	M_x (kNcm)	M_x (kNcm)
1	-16356,7	-90,9	-3704,6	17902,6	9045,5
2	-20015,6	-122,3	-2871,4	-24198,4	9570,2
3	-21121,2	-130,2	-5729,5	25314,2	-14759,8

5.3 Classificação Quanto a Sensibilidade a Deslocamentos Laterais

Em relação ao coeficiente γ_z , apenas o Modelo 3 foi classificado como de nós móveis ($> 1,10$), de acordo com a NBR 6118 [2]. O coeficiente B_2 e a razão de deslocamentos obtidos através do P-delta classificam os três modelos como média deslocabilidade, caso em que é necessário a diminuição da rigidez axial e flexional para 70% do valor original, segundo a NBR 8800 [1].

Tabela 4. Classificação quanto a deslocamentos laterais

Modelo	γ_z	B_2	P-delta
1	1,09	1,15	1,22
2	1,09	1,15	1,07
3	1,17	1,27	1,29

5.4 Esforços de Segunda Ordem

A Tabela 5 apresenta a variação dos esforços solicitantes obtidos pelas análises de segunda ordem em relação aos esforços de primeira ordem com consideração da imperfeição de material. Observou-se que não houve variação considerável nos esforços solicitantes. As maiores variações foram obtidas pelo Método de Amplificação de Esforços Solicitantes.

Tabela 5. Variação devido aos esforços de segunda ordem

Modelo	Viga						Pilar								
	ΔM_x (%)			ΔV (%)			ΔN (%)			ΔM_x (%)			ΔM_y (%)		
	γ_z	B_2	P- Δ	γ_z	B_2	P- Δ	γ_z	B_2	P- Δ	γ_z	B_2	P- Δ	γ_z	B_2	P- Δ
1	0,0	4,2	2,3	0,0	3,6	2,0	0,0	6,5	0,2	0,0	3,5	1,7	0,0	24,2	1,6
2	0,0	3,4	1,4	0,0	3,0	1,2	0,0	2,5	0,2	0,0	3,3	1,3	0,0	-34	2,0
3	1,2	-0,7	3,4	1,0	-0,6	2,9	0,0	-0,4	0,1	0,7	-6,7	0,2	0,8	15,1	1,2

6 Considerações Finais

Este trabalho analisou a influência do posicionamento do núcleo rígido em um edifício de 12 pavimentos estruturado em aço, em relação a variação de esforços e deslocamentos.

O edifício apresentou maiores deslocamentos laterais quando imposto a assimetria do núcleo nos dois eixos, gerando deslocamentos relativos nas duas direções e variação nos parâmetros de estabilidade nos pórticos do pavimento para valores maiores conforme maior a distância do ponto de torção. Apesar disso, não houve variação significativa nos esforços obtidos pela análise P-delta e pelo coeficiente B_2 .

Diante dos resultados apresentados, faz-se necessário o estudo de diferentes geometrias, cargas, variação do número de pavimentos e a devida comparação com métodos rigorosos para melhor avaliação dos métodos simplificados para o sistema com núcleo rígido.

Conclui-se que ao posicionar o centro de cisalhamento do núcleo no centro de gravidade da estrutura reduz-se o efeito de torção, e os deslocamentos totais e relativos no pavimento, mas não impede a estrutura de torcer; para isso, o pavimento deverá ter rigidez simétrica em relação ao ponto de aplicação das resultantes laterais.

Agradecimentos

Aos meus orientadores Prof^a Dr^a Aline Barboza e Eng. Civil Ayslan Santos, pelos conhecimentos transmitidos.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. (NBR 8800:2008). Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – procedimento. (NBR 6118:2014). Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. (NBR 6120:1980). Rio de Janeiro, RJ, 1980.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Forças devido ao vento em edificações. (NBR 6123:1988). Rio de Janeiro, RJ, 1988.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ações e segurança nas estruturas. (NBR 8681:2003). Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- [6] TQS INFORMÁTICA. Modelo VI. <<http://www.tqs.com.br/v16/destaques/modelo-vi-projeto-estrutural>>. Acesso em: 8 de março de 2019.