



NUMERICAL ANALYSIS OF SHEAR-WALL ELEMENTS IN TALL BUILDINGS STRUCTURES.

André de Figueiredo Stabile

Petrus Gorgônio Bulhões da Nóbrega

Selma Hissae Shimura da Nóbrega

andrestabile1@hotmail.com

nobrega@ufrnet.br

spnobrega@ufrnet.com.br

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Campus Universitário, Lagoa Nova 59072-970 Natal-RN Brasil

Abstract. *In recent decades, the high density of urban centers which are horizontally saturated leads to an increasing necessity of tall buildings. To construct such structures and to guarantee their lateral stability, it is essential to use suitable bracing structures to support lateral loads like wind and seismic actions. Frames, structural walls and shear-walls are examples of these structures. Shear-walls are highlighted due to their significant cross section dimensions inside the building. It is important to determine the lateral load portion which acts in each one of these structural elements, especially because they are working in an associated way. In this context, the main focus of this paper, developed as an undergraduate level research, is the implementation of a didactic computational code based on the Finite Element Method in order to analyze bracing structures (specially, shear-walls), that can be easily used in undergraduated courses, despite of many commercial softwares available, more complex to use considering the students. In order to evaluate the didactic code, simple buildings composed by frames, structural walls and shear-walls submitted to lateral loads distributed along its height are considered and the results are compared with those obtained by a commercial code for structural analysis.*

Keywords: *Shear-walls, Structural analysis, Finite element method*

INTRODUÇÃO

Para a construção de edifícios altos e garantia de sua estabilidade lateral é imprescindível o uso de estruturas adequadas de contraventamento, a fim de suportar as ações laterais como as geradas pelo vento ou sismo. Como exemplo destas estruturas, destacam-se os pórticos, as paredes estruturais e os pilares-parede (Wight; MacGregor, 2009). Estes últimos merecem destaque, devido às suas dimensões geométricas no interior da estrutura.

O processo de análise dos pilares-parede isolados, no entanto, não é simples devido às forças de interação que surgem em decorrência de sua associação com os demais subsistemas estruturais, especialmente os pilares. A determinação das frações das ações laterais absorvidas por estes elementos requer a utilização de programas computacionais para análise estrutural e avaliações tridimensionais, por vezes complexas. Embora atualmente existam diversos programas que possam realizar esta análise, sua disponibilidade para os alunos de graduação é relativamente restrita, requerendo uma capacidade teórica ainda em desenvolvimento.

Neste contexto, este artigo mostra os resultados de análises obtidas por meio de um código computacional desenvolvido em nível de Iniciação Científica, baseado em Bathe (1996), o qual subdivide a estrutura tridimensional em subestruturas planas, segundo as direções ortogonais, sendo sua compreensão mais adequada aos alunos de graduação. Para a sua validação, confrontam-se os resultados com os apresentados pelo sistema profissional CAD/TQS, muito utilizado no projeto de estruturas de concreto armado. Ressalta-se que em função da limitação de páginas deste artigo, serão omitidas diversas referências bibliográficas existentes e maiores detalhes acerca da sua formulação e de sua implementação.

1 ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DE CONTRAVENTAMENTO

O método de cálculo das estruturas de contraventamento escolhido é apresentado de forma detalhada em Araújo (2014) e foi, por ele, nomeado de “Método Rigoroso” por considerar as forças de interação necessárias à compatibilização dos deslocamentos horizontais decorrentes do comportamento distinto dos diferentes elementos estruturais (pórticos, paredes-estruturais ou pilares-parede) presentes na edificação. A ideia básica é associar as informações referentes de todos os painéis de contraventamento a um único pilar fictício, localizado na origem de um sistema global de referência $x-y$. Como os painéis podem estar rotacionados em relação ao sistema global, associa-se a cada um deles um sistema local $s-r$ orientado segundo as direções principais da seção transversal.

As equações diferenciais de equilíbrio descritas pelas Eqs. (1) a (3) dependem do tipo de painel: (i) para pilares-parede, considera-se a flexão segundo as direções s e r , e a torção com empenamento, sendo a rigidez equivalente ao cisalhamento K_s nula; (ii) para paredes estruturais, despreza-se a rigidez flexional segundo a direção perpendicular à de seu próprio plano, sendo relevante somente a flexão segundo a direção s , com K_s nula; e, finalmente, (iii) para os pórticos, utiliza-se somente a rigidez ao cisalhamento K_s calculada para cada pavimento, ou seja, considera-se EI_s nulo.

$$EI_s u_s'''' - K_s u_s'' = q_s \quad (1)$$

$$EI_r u_r'''' = q_r \quad (2)$$

$$E C_w \theta'''' - G J \theta'' = m_{rs} \quad (3)$$

onde: u_i'' , u_i'''' , θ'' e θ'''' são as derivadas de 2ª e 4ª ordem dos deslocamentos na direção i e rotações dos painéis em relação a z ; E e G são os módulos de elasticidade longitudinal e transversal, respectivamente; I é o momento de inércia; J é a constante de torção de Saint-Venant; C_w é a constante de empenamento da seção transversal; K_s é a rigidez ao cisalhamento equivalente; q_i são as forças atuantes nos painéis; e m_{rs} representam os momentos gerados pelas forças q_i .

Utiliza-se o Método dos Elementos Finitos para resolver numericamente o sistema de equações diferenciais considerando o acoplamento de todos os painéis estruturais no pilar fictício. A hipótese de comportamento rígido das lajes garante que os deslocamentos sejam os mesmos para qualquer estrutura de contraventamento, considerando o mesmo nível. Desta forma, de posse das matrizes de rigidez dos painéis e conhecendo-se os deslocamentos em cada pavimento, é possível determinar os esforços internos de cada subestrutura e, conseqüentemente, as forças atuantes em cada pavimento.

2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Como aplicação do código elaborado, propõe-se o exemplo didático de um edifício com 15 pavimentos e pé-direito de 4.0 m apresentando as configurações de pavimento-tipo ilustradas na Fig. 1: (a) edifício composto por pórticos – modelo A; (b) edifício com pórticos, parede estrutural e pilar-parede em formato U, extraído de Araújo (2014) – modelo B; e (c) mesmo edifício com pilar-parede de seção transversal U enrijecido – modelo C. As vigas e pilares possuem dimensões 20 x 60 cm e 20 x 50 cm, respectivamente, e forças concentradas laterais F_x de 40 kN são aplicadas nos pavimentos-tipo e 20 kN, na cobertura.

A validação do código foi realizada a partir dos resultados dos modelos, confrontando-os com os obtidos pelo uso do sistema CAD/TQS, versão 18.18.

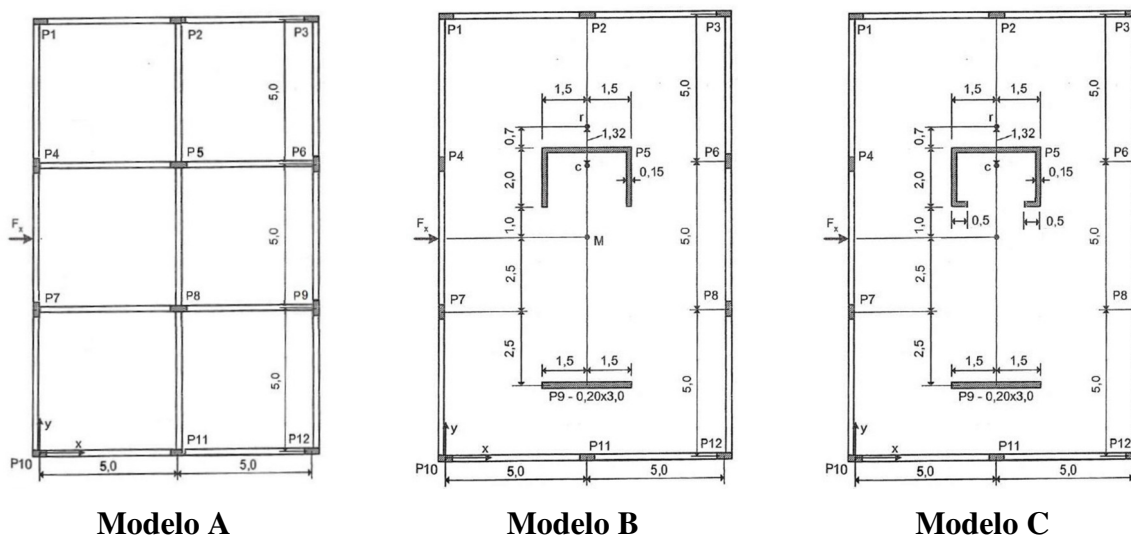


Figura 1 – Modelos de pavimentos-tipo analisados. Unidades em metros Adaptado de Araújo (2014)

3 RESULTADOS

Como dados de saída tem-se os deslocamentos nodais horizontais, verticais e angulares, os esforços internos (cortante, momentos fletores e torsões) e as parcelas de forças atuantes em cada pavimento dos painéis estruturais. A fim de apresentar os resultados de forma concisa, dada a limitação de espaço do artigo, apenas os deslocamentos máximos u_x (no topo dos edifícios) e as forças F_x (no nível térreo) serão mostrados. Na Tabela 1, tais valores decorrentes do código são acompanhados daqueles obtidos no sistema CAD/TQS, assim como as diferenças das respostas. A Fig. 2 exemplifica um dos modelos tridimensionais e o modelo de barras correspondente utilizado na análise. Destaca-se que foi adotado o “Modelo IV”, que considera apenas o pórtico espacial (vigas e pilares) de forma integrada, sem as lajes.

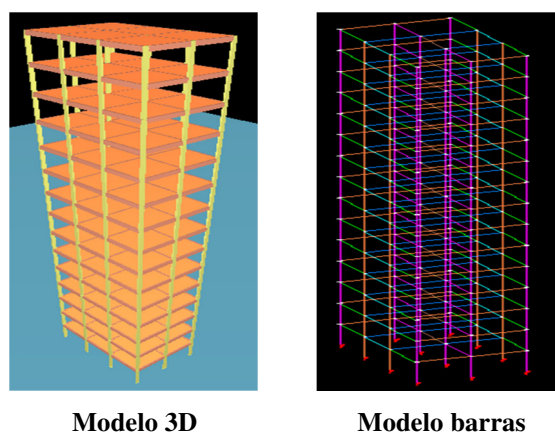


Figura 2 – Imagens do sistema CAD/TQS

Tabela 1 – Resultados da análise dos modelos A, B e C. e comparação com o TQS.

Modelo	Parâmetro	Código	TQS	Diferença (%)
A	F_x em P4-P5-P6	99.2 kN	106.7 kN	-7.0
	F_x em P10-P11-P12	190.8 kN	184.3 kN	+3.5
	u_x para P5	0.1337 m	0.1767 m	-24.3
B	F_x em P5	320.0 kN	333.7 kN	-4.1
	F_x em P9	200.2 kN	167.3 kN	+19.7
	F_x em P10-P11-P12	37.4 kN	36.0 kN	+3.9
	u_x para P5	0.140 m	0.140 m	0.0
C	F_x em P5	351.0 kN	347.2 kN	+1.1
	F_x em P9	174.0 kN	164.9 kN	+5.5
	F_x em P10-P11-P12	34.0 kN	31.0 kN	+9.7
	u_x para P5	0.134 m	0.136 m	-1.5

Para o modelo A, as forças horizontais F_x (nível térreo) para cada alinhamento de pórticos $P1-P2-P3 = P10-P11-P12$ e $P4-P5-P6 = P7-P8-P9$ são iguais devido à simetria e com aproximações muito satisfatórias entre o código e o TQS (ocorrendo uma leve mudança na distribuição das forças). Já o deslocamento horizontal u_x apresenta uma diferença relativamente elevada (24%). Isto porque o código elaborado compatibiliza os deslocamentos por pavimentos, forçando-os a ser exatamente iguais para cada um dos subsistemas; enquanto o TQS executa uma análise tridimensional, com critérios distintos e específicos para estruturas de concreto armado, especialmente os parâmetros de flexibilização das ligações, gerando deslocamentos ligeiramente diferenciados para cada pilar, em cada nível.

No modelo B, a soma dos esforços em P5 e P9 resulta em uma diferença de apenas 3,8%, o que é bastante aceitável pela desigualdade dos modelos. Todavia, o código transferiu para o P9 uma parcela quase 20% maior que a atribuída pelo TQS ao mesmo elemento. Para os deslocamentos do P5, a concordância foi absoluta.

Com relação ao modelo C, a concordância é absolutamente aceitável tanto para as forças quanto para o deslocamento, sendo as diferenças decorrentes em função da natural distinção entre modelos (tridimensional x pilar único fictício).

4 CONCLUSÕES

O código elaborado fornece os deslocamentos em cada pavimento, os esforços internos (cortante, momentos fletor e torsor) e as forças atuantes em cada nível com a metodologia baseada no processo de Araújo (2014) e no Método dos Elementos Finitos, possibilitando a determinação das parcelas da força lateral atuantes sobre cada um dos elementos de contraventamento. Esta forma de análise é mais compreensível para os alunos de nível de graduação, contexto da pesquisa em relação a qual este código foi desenvolvido. Os resultados dos diversos modelos são todos satisfatórios, quando comparados aos do sistema CAD/TQS, podendo as diferenças ser atribuídas pelas desigualdades inevitáveis dos métodos de cálculo (análise tridimensional ou não, flexibilização das ligações, dentre outros aspectos).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFRN pela concessão da bolsa PIBIC-UFRN.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. M. C., 2014. *Curso de Concreto Armado* – Rio Grande: Dunas. v.4, 4ª ed.
- BATHE, K. J., 1996. *Finite Element Procedures*. Prentice-Hall.
- WIGHT, J. K.; MACGREGOR, J. G., 2009. *Reinforced concrete: mechanics and design*, 5th ed.