

INFLUÊNCIA DAS PAREDES DE VEDAÇÃO NA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO

INFLUENCE OF SEALING WALLS IN THE GLOBAL STABILITY OF ARMED CONCRETE BUILDING

Maurício Guerra¹, Mateus Flores Bordin², Sílvia Edmundo Pilz³, Marcelo Fabiano Costella⁴

¹ Especialista em Engenharia Civil, Professor de Engenharia Civil da Universidade Comunitária da Região de Chapecó.
E-mail: mguerra@unochapeco.edu.br

² Mestrando em Engenharia Civil, Faculdade Meridional IMED.
E-mail: mateus-bordin@hotmail.com

³ Mestre em Engenharia Civil, PPGTI - Universidade Comunitária da Região de Chapecó.
E-mail: silvio@unochapeco.edu.br

⁴ Doutor em Engenharia Civil, PPGTI - Universidade Comunitária da Região de Chapecó e PPGE - Faculdade Meridional IMED. E-mail: costella@unochapeco.edu.br

RESUMO

Nos últimos anos, a concepção de estruturas mais limpas, mais esbeltas e com o menor consumo de materiais tornou-se fundamental nas construções. Diante dessa necessidade, surge a análise da estabilidade global dos edifícios. As pesquisas já existentes demonstram que as paredes geram uma diminuição nos deslocamentos da estrutura e, conseqüentemente, melhoram a estabilidade global das mesmas. Assim, o presente trabalho visa a análise do comportamento de estruturas em concreto armado em um edifício de 12 pavimentos constituído por pórticos preenchidos com painéis de alvenaria por meio de modelagens numéricas e análises teóricas. Os resultados obtidos pelas análises de deformação e deslocamentos apresentaram uma tendência de aumento de rigidez estrutural e estabilidade global do edifício, quando comparado à análise e dimensionamento dos elementos que desconsideram a participação dos painéis.

Palavras-chave: Alvenaria. Pórticos preenchidos. Estruturas de Concreto. Estabilidade Global.

ABSTRACT

In recent years, the design of cleaner, leaner structures with the lowest material consumption has become fundamental in buildings. Faced with this need, the analysis of the overall stability of buildings arises. The already existing researches show in their results that the walls generate a decrease in the displacements of the structure and consequently they improve the overall stability of the same ones. Thus, the present work aims at the analysis of the behavior of structures in reinforced concrete in a 12-storey building with masonry panels filled with numerical modeling and theoretical analysis. The results obtained by the analysis of deformation and displacements presented a certain tendency of increase of structural rigidity and overall stability of the building, when compared to the analysis and dimensioning of the elements that disregard the participation of the panels.

Keywords: Masonry. Completed portals. Concrete Structures. Global Stability.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a busca pela diminuição do número de vigas e pilares na edificação tornou-se tendência na concepção de estruturas em concreto armado. Esta mudança se deve por alguns motivos, como a necessidade de diminuir mão de obra, agilizar a execução das estruturas e buscar estruturas mais limpas, que interfiram o mínimo possível na proposta arquitetônica. Conceber estruturas com tais

características só se tornou viável com o avanço tecnológico dos materiais, aliado ao avanço de teorias, softwares e análises empregadas pelos projetistas.

Devido à verticalização que os grandes centros urbanos vêm sofrendo, as edificações se encontram cada vez mais altas. Com relação a este cenário, o projeto de estruturas, a análise da rigidez e estabilidade global dos edifícios ganharam ainda mais atenção. Neste sentido, as pesquisas buscam informações para que os modelos adotados na análise representem fidedignamente o comportamento das estruturas reais, especialmente a estrutura tradicional de concreto armado com painéis de vedação constituídos por alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto.

Conforme Madia (2012), as pesquisas nessa área indicam um aumento significativo da rigidez das estruturas compostas e, conseqüentemente, a redução dos deslocamentos horizontais do edifício. Entretanto, ainda existem divergências na consideração de pórticos preenchidos em função de questões sobre o ganho real de rigidez do pórtico com o incremento do painel de preenchimento, a sua dependência em relação aos métodos executivos e as variações dos métodos para a consideração dos painéis.

Com base em tais informações, esta pesquisa busca contribuir com mais dados acerca do assunto ao analisar a estabilidade global de um edifício com e sem a presença dos painéis de alvenaria. Além disso, tem por objetivo difundir no meio técnico parte dos estudos já feitos na área, bem como métodos apresentados nas bibliografias para a consideração das alvenarias na análise do desempenho da estrutura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 1956, Polyakov realizou ensaios em modelos reduzidos de pórticos preenchidos submetidos a cargas laterais. Polyakov (1960, apud ALVARENGA, 2001), descreveu três estágios de comportamento de pórticos com preenchimento submetidos a carregamentos laterais conforme ilustrados na Figura 1:



Figura 1 – Estágios do comportamento de alvenaria de contraventamento

Poyakov (1960), com base nos resultados destes ensaios, sugeriu que o painel fosse substituído por uma diagonal comprimida (SANTOS, 2007). Diversas pesquisas foram realizadas e os resultados obtidos comprovam a contribuição significativa do painel à rigidez e resistência de pórticos preenchidos, tal como Tanaka (2011).

No método da barra comprimida, o pórtico preenchido com alvenaria é modelado como um pórtico equivalente contendo uma diagonal fictícia comprimida substituindo o painel de alvenaria. Holmes (1961, apud ALVARENGA, 2001) concluiu com este método que, no colapso, o deslocamento lateral do pórtico preenchido é significativamente menor do que no caso de pórtico sem preenchimento. Além disso, as barras do pórtico permaneceram elásticas até a carga de colapso.

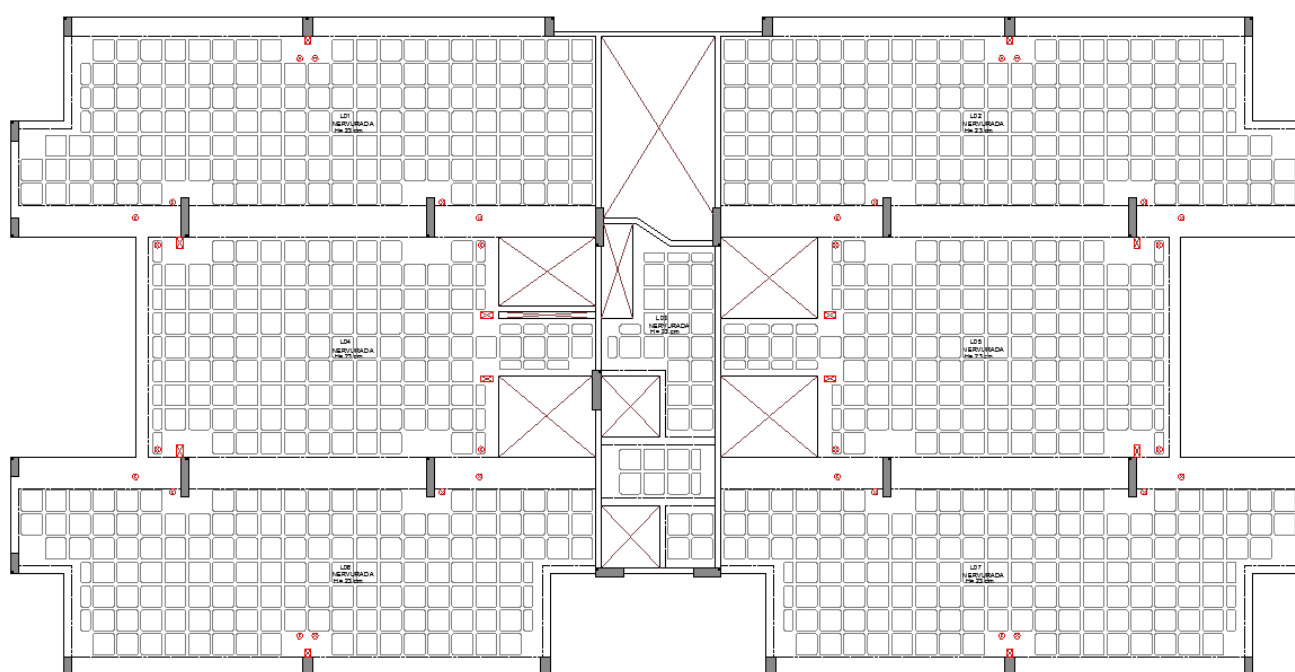
Dentre as etapas necessárias a elaboração de projetos de edifícios de concreto armado, a verificação da estabilidade global é um requisito muito importante e visa garantir a segurança da estrutura perante o estado limite último da instabilidade, situação que representa a perda da

capacidade resistente da estrutura, causada pelo aumento das deformações (ZUMAETA MONCAYO, 2011). Para realizar tal verificação emprega-se o parâmetro γ_z que, além de avaliar a estabilidade global da edificação, auxilia na estimativa dos esforços de 2º ordem.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente, realizou-se um estudo bibliográfico na área de interesse, identificando as principais técnicas e metodologias adotadas pelos autores na análise de estruturas com pórticos preenchidos por alvenaria, o qual foi apresentado de maneira sucinta nesse artigo.

Após, definiu-se o projeto a ser estudado na pesquisa, o qual é uma edificação real que será executada na cidade de Chapecó/SC, composto por 12 pavimentos, sendo 1 para uso de garagens e 11 para uso residencial. Os pavimentos possuem pé-direito de 3,06 m, totalizando uma altura total de 36,72 m. A estrutura deste edifício foi concebida em concreto armado e emprega a laje nervurada bidirecional com vigas faixas. Pode-se visualizar na Figura 2 a estrutura do pavimento tipo.



pavimento. Na Figura pode-se visualizar a metodologia a ser empregada na distribuição de cargas de vento nos pavimentos.

Com base nessa metodologia foram definidas as ações horizontais atuando na edificação na direção X (sentido positivo e negativo) e na direção Y (sentido positivo e negativo). Na tabela 1 são apresentadas as ações horizontais encontradas.

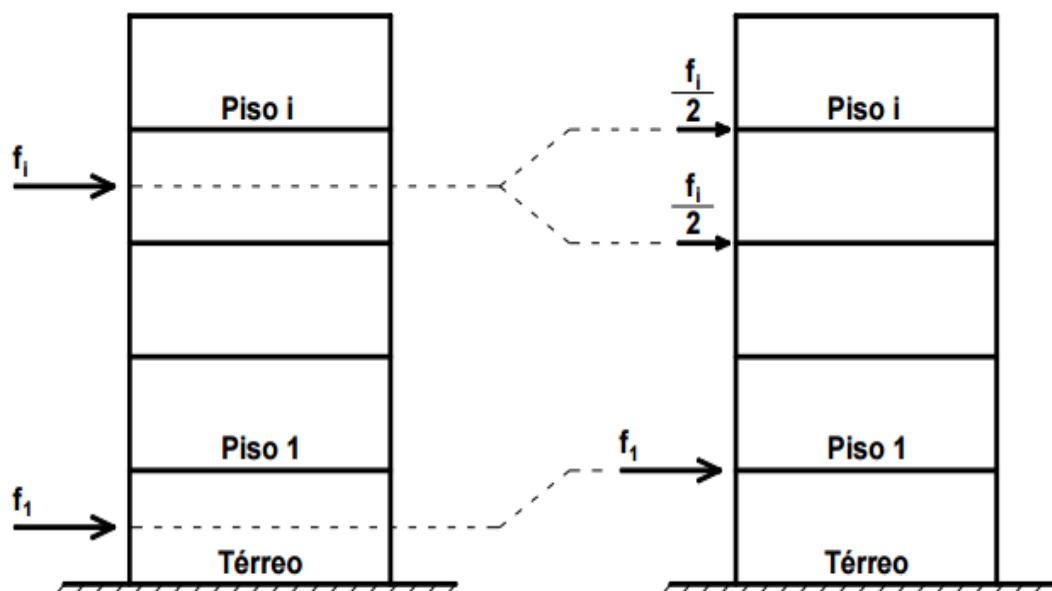


Figura 3 – Distribuição de cargas de vento

Tabela 1 – Ações horizontais

	X	Y
Força Total (kN)	594,33	1602,12

Depois de executada as fases iniciais da pesquisa, realizou-se a modelagem da estrutura com a presença de paredes e outra sem a presença de paredes utilizando o software SAP2000.

3.1. Sem paredes

Para a modelagem dos pilares e vigas da estrutura sem paredes foram empregados elementos de barra (Frame). As vigas faixas centrais e regiões maciças existentes na laje foram modeladas com elementos de placa (Shell). Na Figura é apresentada a estrutura do pavimento tipo no SAP2000, sendo que as regiões em destaque representam os elementos de placa e as linhas identificam a posição das vigas e nervuras das lajes.

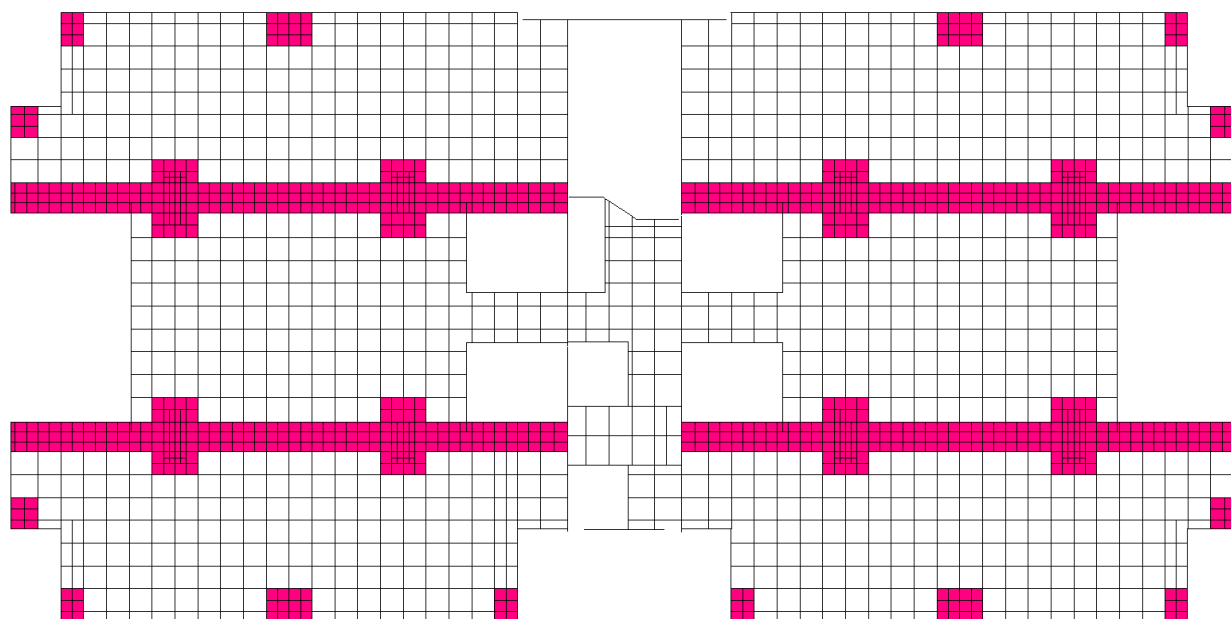


Figura 4 – Estrutura do Tipo no SAP2000

A laje nervurada empregada na edificação possui altura total de 23 cm. Para efetuar a modelagem desta laje no SAP2000 empregou-se elementos de casca para discretizar a capa da laje e elementos de barra para discretizar as nervuras. Salienta-se que a dimensão adotada para a largura da nervura foi de 8,5 cm em virtude de que este valor corresponder a largura média da nervura (figura 5).

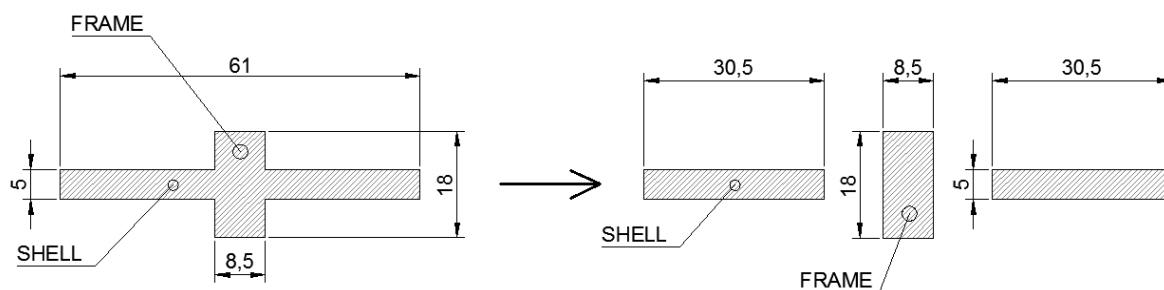


Figura 5 – Modelagem Laje SAP2000

O software SAP2000 modela os elementos de barra e placa com seus eixos coincidindo no mesmo plano. Em decorrência disso, a inércia a flexão do conjunto não atinge o valor de 16986 cm^4 , mas o valor de $4766,4 \text{ cm}^4$. Por este motivo, determinou-se um coeficiente multiplicador da inércia de 3,564, oriundo da divisão da inércia real da laje pela inércia do conjunto. Procedendo desta forma, a laje modelada atinge as mesmas características de inércia e área da laje real. Outro critério adotado na modelagem da laje é que a inércia a torção da nervura foi desprezada.

Com relação as propriedades dos materiais, considerou-se o concreto com resistência característica à compressão de 30 MPa e peso específico de 25 kN/m^3 . Embasada nestas propriedades, definiu-se o módulo de deformação do concreto conforme indicações da Norma NBR 6118 (ABNT, 2014) apresentado na equação (1).

$$E_{cs} = 0,875 * 30672,5 \text{ Mpa} = 26838,4 \text{ Mpa} \quad (1)$$

Para o modelo da estrutura considerou-se as restrições de apoio como sendo engastadas na fundação, com impedimento à rotação e à translação.

Após discretizar a estrutura no software SAP2000, foi necessário validar as respostas encontradas. Para isso, a mesma estrutura foi lançada no software TQS V19, permitindo a comparação dos resultados obtidos nos dois modelos. Após validação do modelo da estrutura discretizada no SAP2000, iniciou-se a modelagem das paredes.

3.2. Com paredes

As paredes foram modeladas utilizando elementos de placas com espessuras de 0,15 m. A ligação entre a alvenaria e os pilares/vigas foi realizada empregando elementos de ligação denominados GAP. Este elemento permite que apenas tensões de compressão sejam propagadas entre os elementos por ele ligados, sendo assim, em qualquer condição de carregamento que originar tração, a ligação automaticamente é desligada e as tensões não são propagadas entre os elementos conforme esquema apresentado na figura 6.

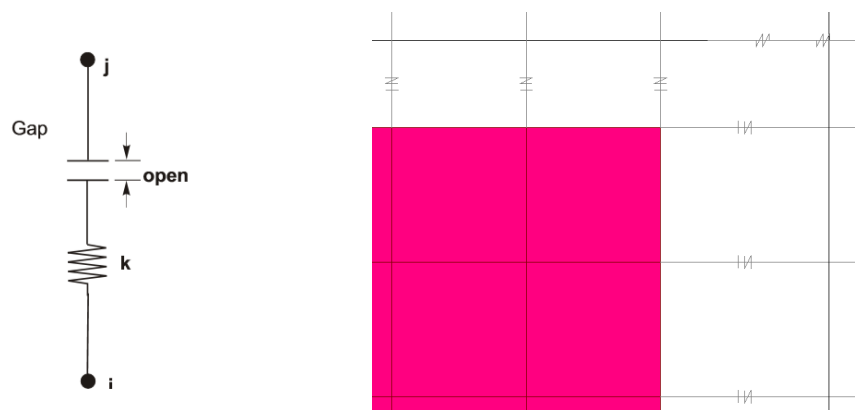


Figura 6 – Ligação entre pilares/vigas e paredes

Com o intuito de diminuir o tempo de processamento foram escolhidas apenas as paredes que preenchem pórticos. Na figura 7 são mostradas e identificadas as paredes que foram modeladas na direção horizontal (Par H) e vertical (Par V) da edificação.

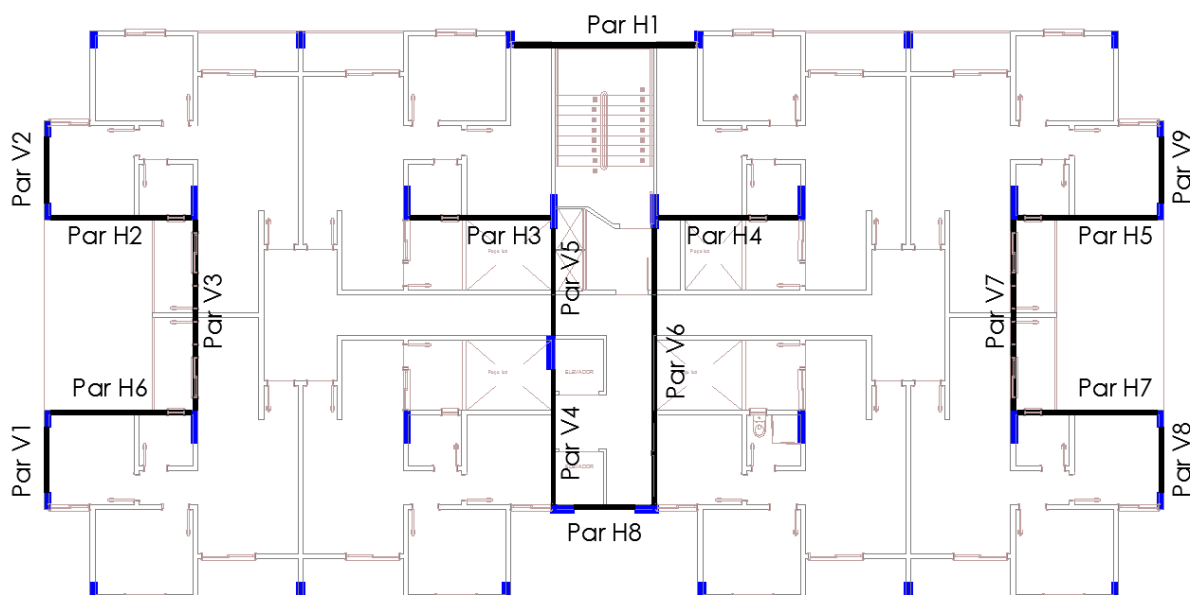


Figura 7 – Posição e nomenclatura das paredes

Salienta-se que Alvarenga (2001) estudou modelos com paredes com diferentes propriedades, permitindo assim, avaliar como a estrutura se comporta ao variar tais propriedades. Por este motivo, optou-se também em adotar nas análises 3 modelos com paredes com propriedades distintas. Na tabela 2 são apresentadas as características das paredes de cada modelo e o que os diferenciam são um aumento crescente de resistência à compressão, resistência à tração e do módulo de deformação da alvenaria.

- f_t – resistência à tração, sendo este valor assumido como $0,1f_{cm}$;
- f_{cm} – resistência média à compressão;
- E_{alv} – módulo de deformação da alvenaria;
- $\nu_{alvenaria}$ corresponde ao Coeficiente de poisson da alvenaria.

Tabela 2 – Propriedades dos Modelos com paredes

Modelo com paredes 1	$f_t = 0,26E6 \text{ N/m}^2$
	$f_{cm} = 2,6E6 \text{ N/m}^2$
	$E_{alv} = 1,75E9 \text{ N/m}^2$
	$\nu_{alvenaria} = 0,18$
Modelo com paredes 2	$f_t = 0,375E6 \text{ N/m}^2$
	$f_{cm} = 3,75E6 \text{ N/m}^2$
	$E_{alv} = 2,625E9 \text{ N/m}^2$
	$\nu_{alvenaria} = 0,18$
Modelo com paredes 3	$f_t = 0,5E6 \text{ N/m}^2$
	$f_{cm} = 5,0E6 \text{ N/m}^2$
	$E_{alv} = 3,5E9 \text{ N/m}^2$
	$\nu_{alvenaria} = 0,18$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados para os modelos com e sem a contribuição das paredes são os deslocamentos máximos no topo da edificação, os deslocamentos laterais, o coeficiente Gama Z e as tensões existentes nas paredes.

4.1. Deslocamento máximo no topo da edificação

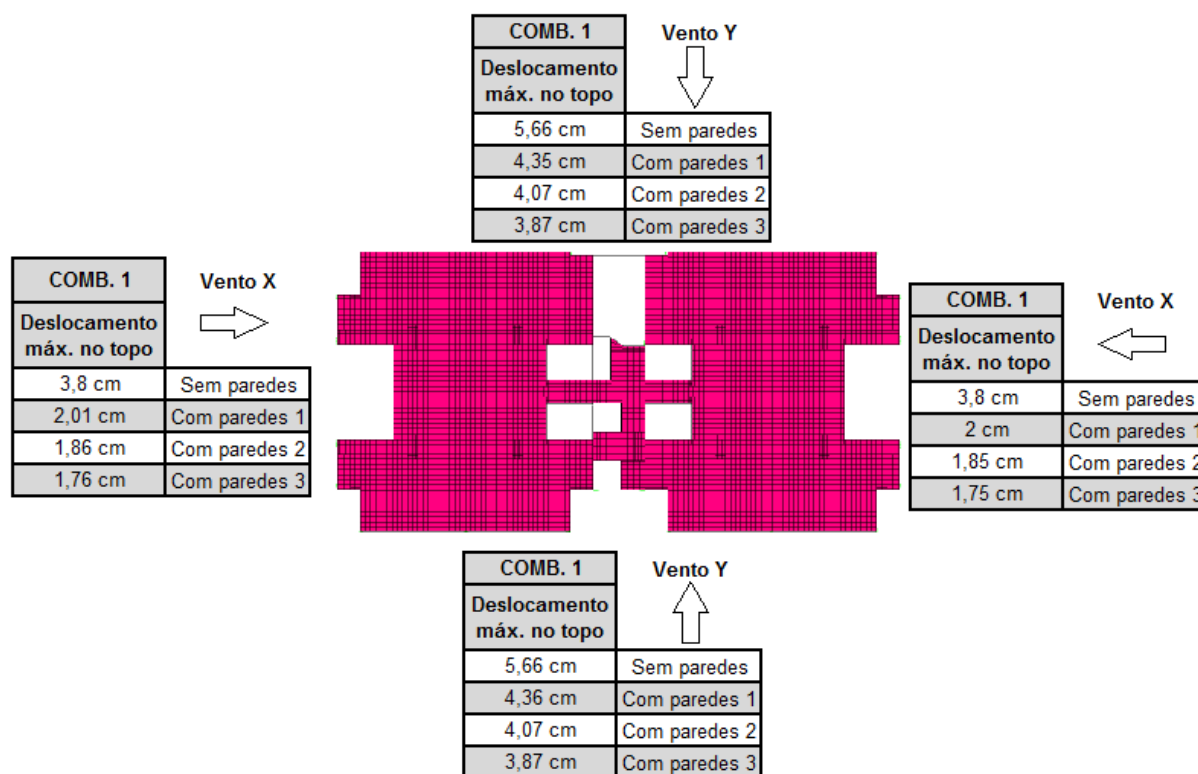


Figura 8 – Deslocamentos máximos combinação 1.

Com o intuito de analisar os deslocamentos máximos no topo da edificação, empregou-se duas condições de carregamento. A primeira combinação considera o peso próprio da estrutura somado ao vento e a segunda combinação considera uma combinação frequente de carga.

Segundo a Norma NBR 6118 (ABNT, 2014), o deslocamento limite para o movimento lateral de edifícios é $H/1700$, sendo H a altura total da edificação, considerando o deslocamento provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,3$). Considerando que a altura total do edifício é 38,22 m, conclui-se que o deslocamento limite é 2,25 cm. As figuras 8 e 9 apresentam os deslocamentos máximos no topo da edificação nas direções X e Y para as 2 combinações.

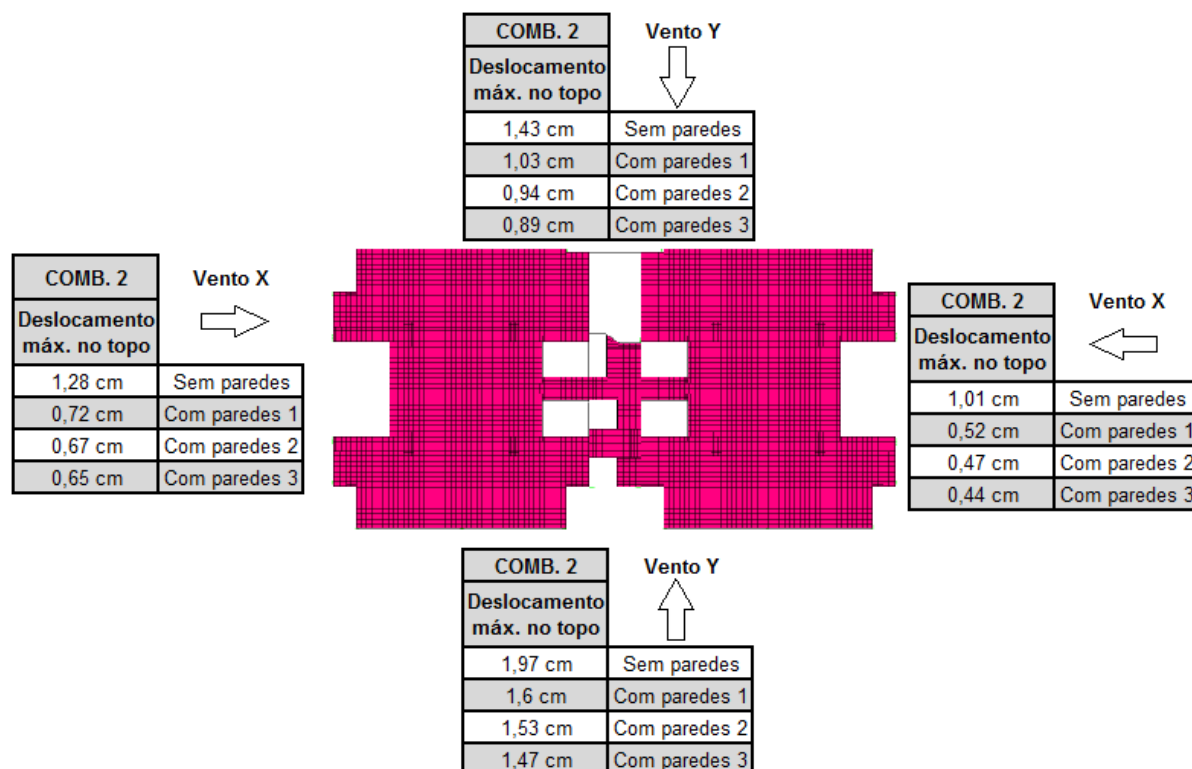


Figura 9 – Deslocamentos máximos combinação 2.

Com relação aos deslocamentos máximos encontrados no topo da estrutura, nenhum dos modelos e direções estudados superou o valor limite de deslocamento de 2,25 cm. Além disso, verificou-se que o deslocamento máximo ocorreu no modelo sem consideração de alvenaria na direção Y, o qual atingiu um valor de deslocamento de 1,97 cm.

4.2. Deslocamento laterais

Na análise dos deslocamentos laterais considerou-se as direções X e Y para as 2 combinações. As figuras 10 a 13 representam os deslocamentos ocorridos ao longo dos 12 pavimentos da edificação.

Nos gráficos de deslocamentos laterais é possível identificar, com maior clareza, a contribuição das paredes no aumento da rigidez da estrutura, que consequentemente origina menores deslocamentos laterais. A diminuição do deslocamento também foi encontrada nos resultados apresentados por Santos (2007), Mondal e Jain (2008), Dias (2009) e Madia (2012).

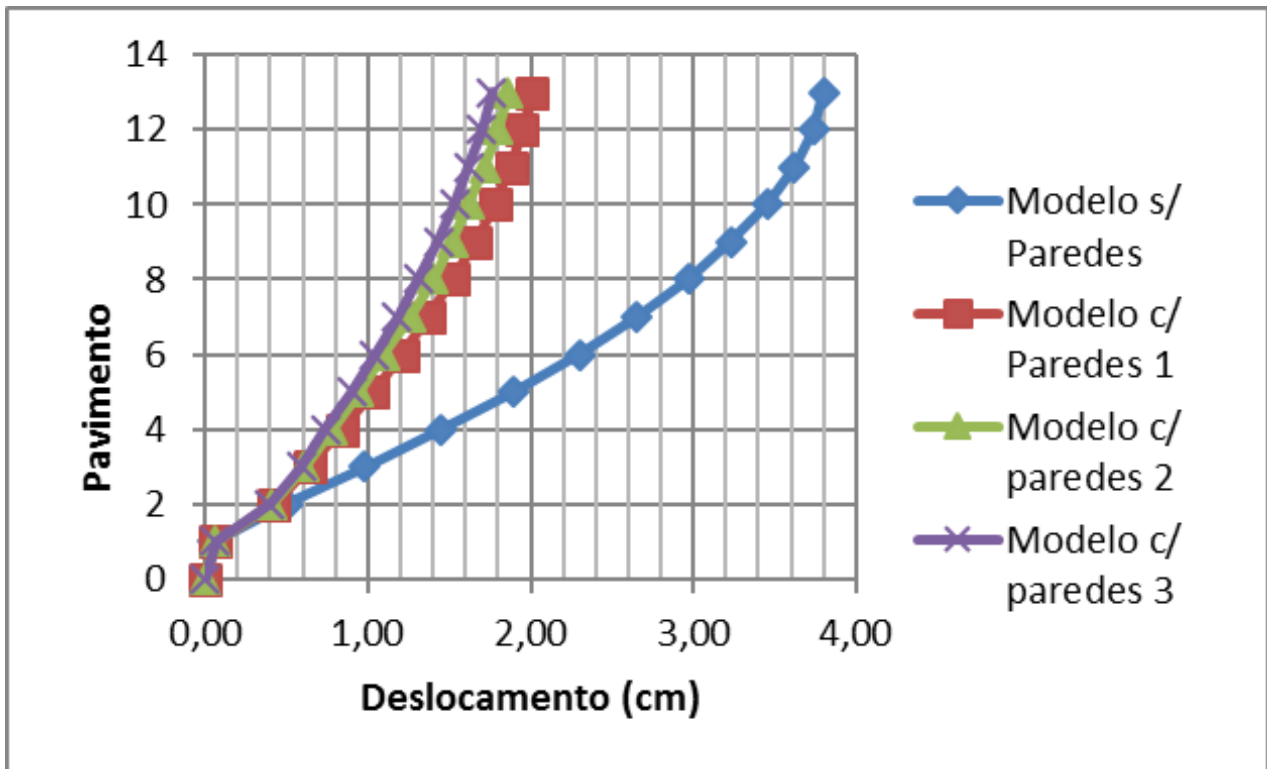


Figura 10 – Deslocamentos Laterais em X – COMB. 1.

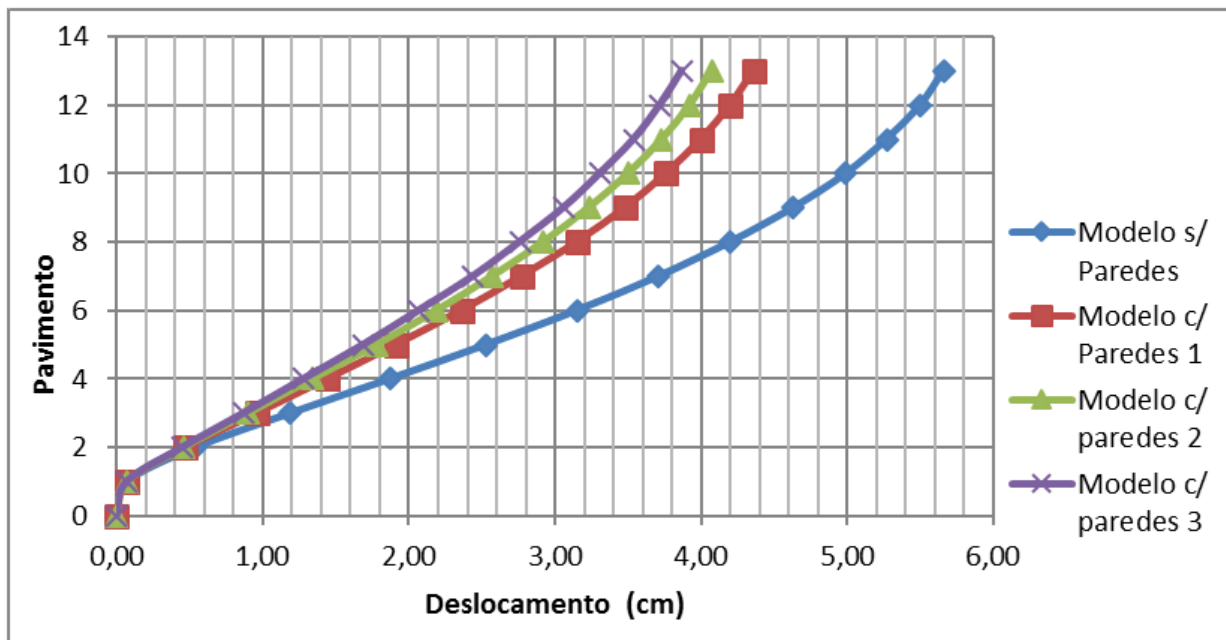


Figura 11 – Deslocamentos Laterais em Y – COMB. 1

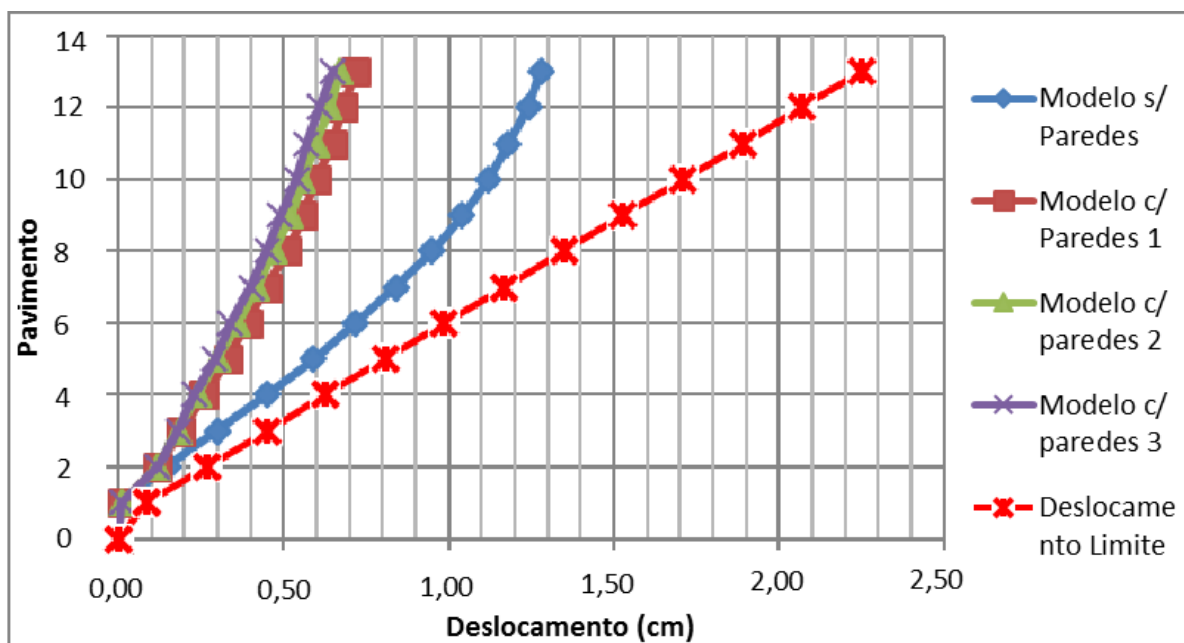


Figura 12 – Deslocamentos Laterais em X – COMB. 2

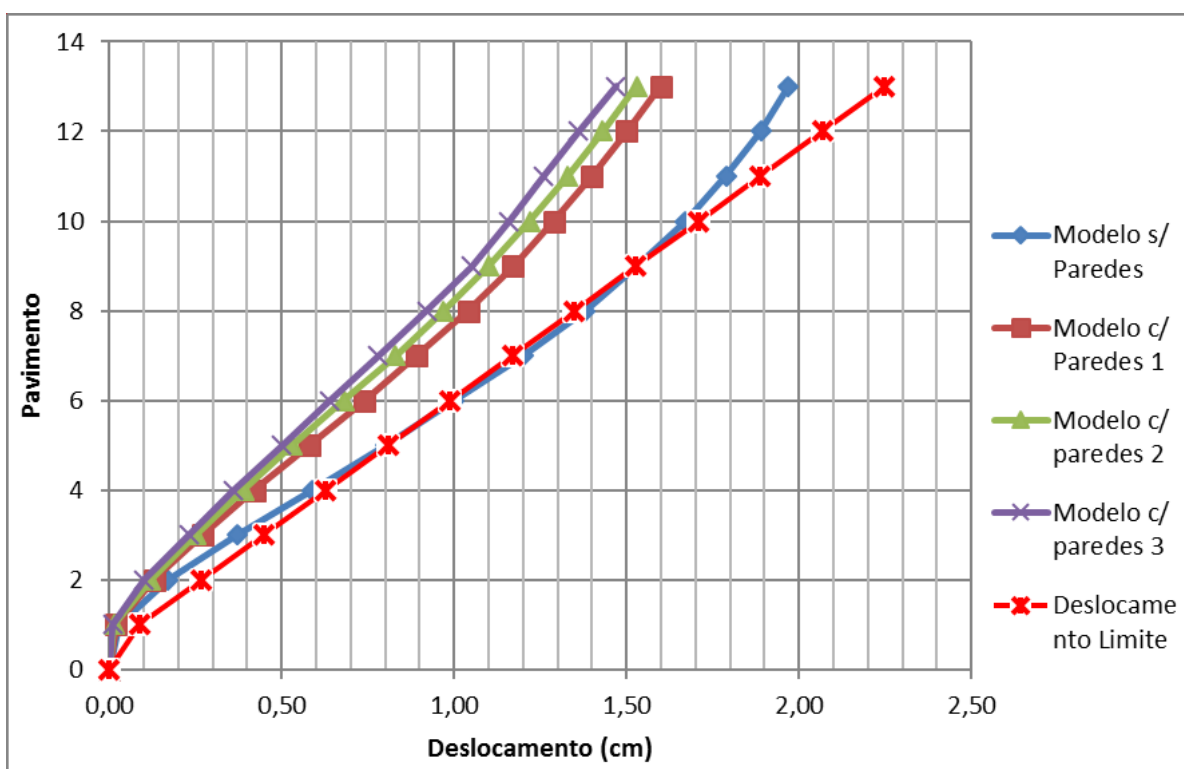


Figura 13 – Deslocamentos Laterais em Y – COMB 2

4.3. Coeficiente Gama Z

Para a análise do coeficiente Gama Z, primeiramente, analisou-se a estrutura no software TQS com a finalidade de identificar qual a combinação de carregamento seria mais desfavorável para a

estrutura, sendo esta a combinação 3. Para esta combinação são englobadas as seguintes parcelas de carga: peso próprio + permanente + paredes + acidental + 0.6 x vento.

Partindo desta combinação, determinou-se o coeficiente Gama Z nas direções X e Y para o modelo sem paredes e para o modelo com paredes. Analisando os coeficientes γ_z das direções propostas, constatou-se que o coeficiente diminuiu de 1,335 para 1,135 na direção X e diminuiu de 1,192 para 1,113 na direção Y. Menores coeficientes γ_z demonstram estruturas com menores deslocamentos em seus nós e, conseqüentemente, com menores efeitos de 2ª ordem atuando em seus elementos.

4.4. Tensões nas paredes

Neste item são apresentadas as tensões originadas nas paredes quando a ação do vento incide na estrutura. A combinação empregada nesta análise foi a COMB 1: peso próprio + ação do vento na direção. Para a análise das paredes ao longo do eixo X foi levado em conta a ação do vento na direção X e para as paredes ao longo do eixo Y foi levado em conta a ação do vento na direção Y (FFigura).

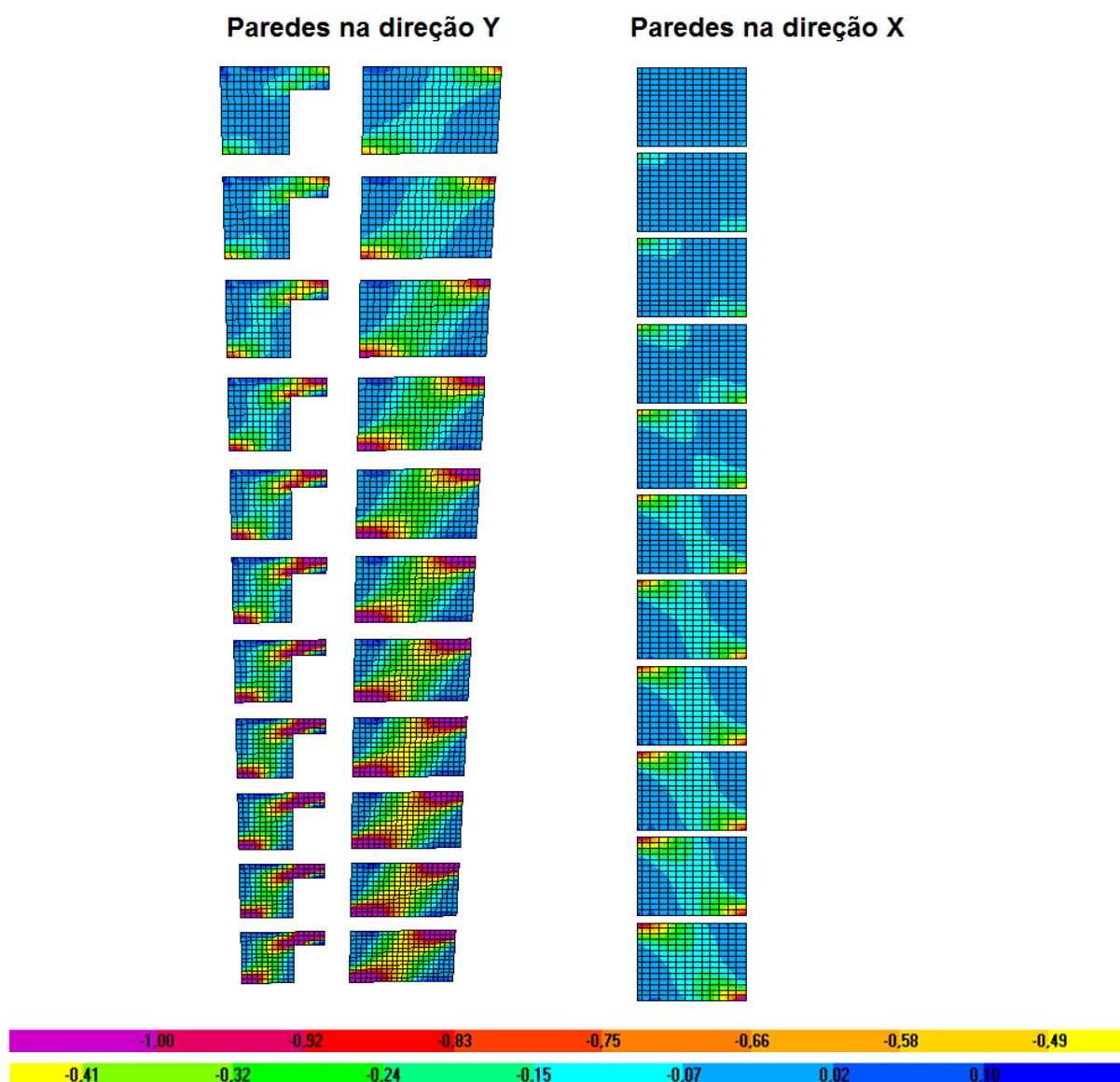


Figura 14 – Tensões nas paredes ao longo do eixo X e Y (MPa)

Com o intuito de compreender melhor as tensões originadas nas paredes, as figuras 15 e 16 apresentam as tensões no primeiro nível da estrutura onde as ações do vento são maiores.

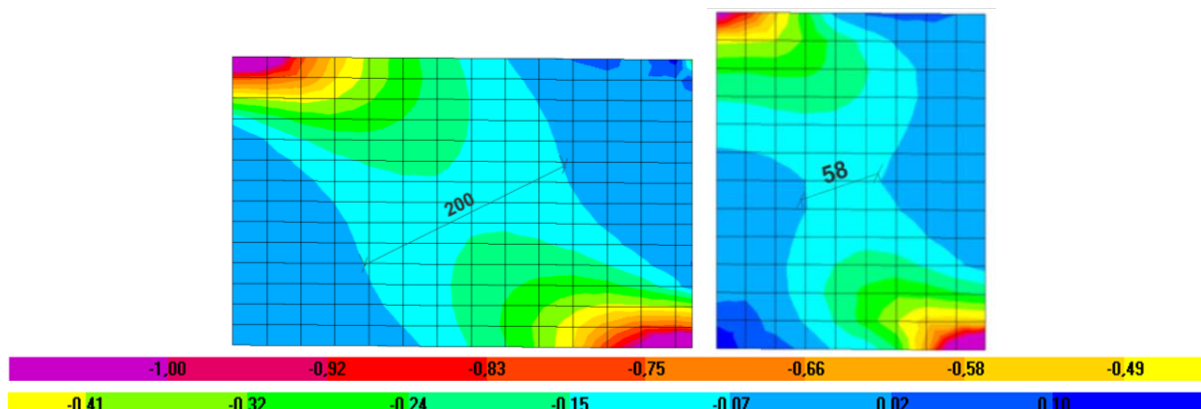


Figura 15 – Detalhamento da diagonal de tensões nas paredes ao longo do eixo X (MPa)

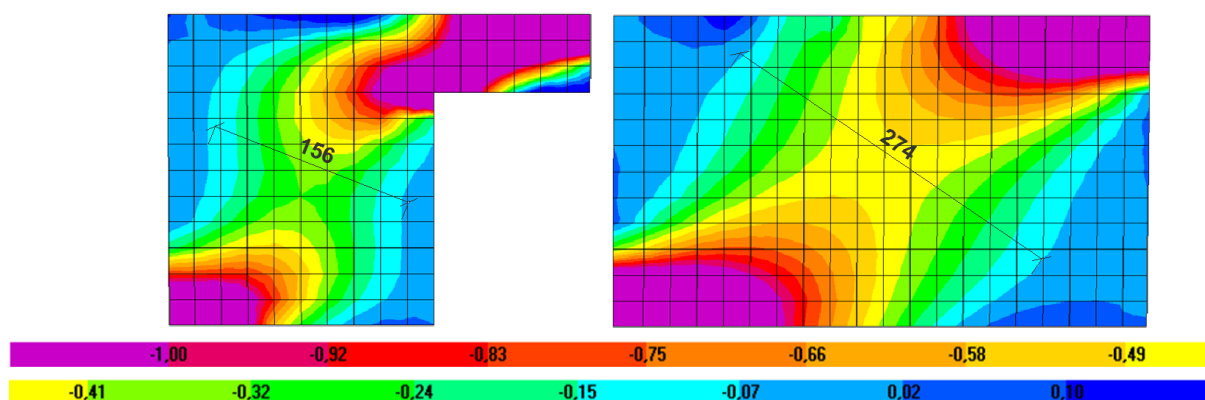


Figura 16 – Detalhamento da diagonal de tensões nas paredes ao longo do eixo Y (MPa)

Por fim, apresenta-se as tensões originadas nas principais paredes quando a ação do vento incide na estrutura. Neste tópico, as bielas comprimidas ficam bem identificadas nas paredes, sendo que as bielas com maior largura se encontram em paredes envoltas por pórticos mais rígidos. Tal conclusão condiz com a teoria da barra diagonal, apresentada na bibliografia estudada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram estudadas análises numéricas a fim de comparar os resultados de estabilidade global para o edifício em questão com e sem a consideração das alvenarias de vedação. Verificou-se que a existência das alvenarias tende a reduzir significativamente os deslocamentos e, consequentemente, geram coeficientes γz menores para a estrutura. Este resultado vem de encontro as conclusões obtidas por diversos autores que já realizaram pesquisas similares na área. Outro fator importante que confirma a teoria apresentada nas bibliografias é que as bielas com larguras mais consideráveis se encontram em paredes envoltas em pórticos mais rígidos.

No entanto, identificou-se dificuldades na modelagem de paredes de vedação nos modelos computacionais, sendo as principais a determinação das propriedades dos elementos de ligação entre a alvenaria e a estrutura e a definição das propriedades dos painéis da alvenaria. Em virtude dessas

dificuldades, deixa-se como sugestão para novas pesquisas: aprofundar a análise entre paredes e pórticos, determinar o módulo de deformação para alvenaria de vedação com blocos cerâmicos, bem como realizar a comparação do modelo estudado nesse trabalho com um modelo empregando a teoria das barras diagonais equivalentes.

6. REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R.C.S.S. **Análise teórico-experimental de estruturas compostas de pórticos preenchidos com alvenaria**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 6123 – Forças Devidas ao Vento em Edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

DIAS, E.M.B. **Comportamento estrutural de edifícios de múltiplos andares considerando as alvenarias de vedação**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MADIA, Fernando César Alvarenga Rosa. **Estudo de Pórticos Preenchidos com Alvenaria**. 2012. 142f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

MONDAL, G.; JAIN, S. K. Lateral Stiffness of Masonry Infilled Reinforced Concrete (RC) Frames with Central Opening. **Earthquake Spectra**, v. 24, n. 3, p. 701–723, Aug. 2008.

SANTOS, E.M. **Influência da alvenaria no comportamento estrutural de edifícios altos de concreto armado**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2007.

TANAKA, E. S. A. S. **Influência da alvenaria dotada de aberturas na rigidez global de um edifício**. 2011. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

ZUMAETA MONCAYO, W. J. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. 2011. 221f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.