

CONTRIBUIÇÃO DA ALVENARIA, LAJES E TRECHOS RÍGIDOS NA ANÁLISE DE DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS EM PÓRTICOS PLANOS

Mateus Brutti Pedó¹; Sílvio Maurício Beck²; Augusto F. Strieder³; Priscila Henke⁴; Sabiana Gilsane Mühlen dos Santos⁵;

¹ Integrante do projeto, Engenheiro Civil, mateuspedó@hotmail.com

² Orientador do projeto, Prof. Me. Engenheiro Civil, beck.sm@hotmail.com

³ Integrante do projeto, Acadêmico de Engenharia Civil, augustrieder@gmail.com

⁴ Integrante do projeto, Acadêmica de Engenharia Civil, priscilahenke@hotmail.com

⁵ Integrante do projeto, Acadêmica de Engenharia Civil, sabianavonmuhlen@gmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta uma estrutura analisada através de pórticos planos, onde são comparados os resultados de deslocamento horizontal quando se leva em consideração a alvenaria atuando de forma estrutural e também a consideração de trechos rígidos presentes nas ligações entre pilares e vigas. Dentre as ações horizontais, aplicou-se a ação do vento. Com isso, na metodologia, foram realizados os casos propostos, sendo também desenvolvido um pórtico plano associado, onde todos os pórticos que compõem a estrutura atuam juntos, ligados por barras birrotuladas, representando as lajes. O software utilizado para tais análises foi o Ftool, versão 3.0 (Ftool, 2012), sendo que os resultados obtidos comprovam que os conceitos estudados contribuem para a diminuição dos deslocamentos horizontais da estrutura, em especial a alvenaria, quando representada por barras diagonais equivalentes.

Palavras chave: Pórticos Planos; Pórticos Preenchidos; Trechos Rígidos.

Abstract

This work presents a structure analyzed through flat porticoes, where the results of horizontal displacement are compared when structural masonry is taken into account, as well as the consideration of rigid sections present in the connections between columns and beams. Among the horizontal actions, the wind action was applied. Thus, in the methodology, the proposed cases were carried out, and an associated planar portico was also developed, where all the porticos that make up the structure act together, connected by birrotulated bars, representing the slabs. The software used for such analyzes was Ftool, version 3.0 (Ftool, 2012), and the results obtained prove that the concepts studied contribute to the reduction of the horizontal displacements of the structure, especially the masonry, when represented by equivalent diagonal bars.

Keywords: Planes; Filled Porches; Rigid Excerpts.

.Introdução

No ramo da engenharia civil, o projeto estrutural trata-se de uma das etapas mais importantes para a realização de uma edificação em concreto armado que atenda a todas às necessidades de utilização para as quais ela será construída.

Segundo a NBR 6118 (2014), o objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações de estados limites últimos e de serviço.

Com o avanço tecnológico e a necessidade de aprimoramento que o mundo atual nos impõe, os métodos para análise estrutural estão cada vez mais precisos e, mesmo com a notável dificuldade de reproduzir o real comportamento de uma estrutura através de cálculos e simulações computadorizadas, a tendência é que as simplificações de cálculos e a decomposição da estrutura em partes sejam cada vez menos utilizadas, dando lugar aos métodos mais realistas, em que a análise estrutural é feita de forma mais globalizada.

Existem diversos modelos estruturais desenvolvidos para reproduzir o comportamento de uma estrutura, sendo que todo o sistema computacional destinado à elaboração de projetos estruturais adota um desses modelos para calcular os esforços e deslocamentos da estrutura a ser analisada.

Desta forma, deve-se conhecer as peculiaridades e limitações que certos modelos estruturais possuem em relação aos outros, para que se possa escolher o mais indicado para a estrutura em questão, sendo que alguns apresentam melhores resultados e recursos para cada análise de esforço, evitando superdimensionamentos.

Torna-se muito importante uma análise estrutural bem modelada, onde é considerado o máximo de elementos e ações em que nela atuam, sendo que conceitos que muitas vezes não são considerados de forma estrutural, podem atuar com essa finalidade, visando desta forma evitar equívocos que podem ser cometidos ao se analisar uma estrutura de modo isolado. Assim, objetivou-se analisar uma determinada estrutura de forma a aplicar-se diferentes conceitos que podem interferir no comportamento do pórtico plano.

Metodologia

Com o intuito de analisar uma estrutura considerando trechos rígidos, lajes e alvenaria de contraventamento atuando no pórtico serão realizados os seguintes estudos:

- Pórtico plano para referência: análise com a utilização dos elementos básicos da estrutura: pilares e vigas;
- Pórtico plano com contribuição da alvenaria (pórtico preenchido);
- Pórtico plano considerando trechos rígidos na ligação entre pilares e vigas;
- Pórtico plano com lajes atuando como diafragma rígido.
- Pórtico plano levando em consideração trechos rígidos, a contribuição da alvenaria e lajes atuando como diafragma rígido.

O programa Ftool, versão 3.0 (Ftool, 2012) será o software utilizado para a realização desses estudos, visando sempre a análise e comparação dos deslocamentos horizontais encontrados nesses diferentes casos. Para a realização das análises propostas para esse estudo, será utilizado um edifício residencial de oito pavimentos, localizado na cidade de Santo Ângelo-RS, Brasil.

Cálculo das Ações Verticais

- **Peso Próprio:** Para o cálculo do peso próprio da estrutura, serão considerados os seguintes valores retirados da NBR 6120 (1980) conforme tabela 1:

Tabela 1 - Valores para cálculo do peso próprio da estrutura

Elemento	Material	Peso Específico (KN/m ³)
Estrutura (pilares, vigas e lajes)	Concreto Armado	25
Paredes	Tijolo Maciço	18
Argamassa de Regularização	Cimento e areia	21
Pisos e Revestimentos	Lajotas Cerâmicas	18
Revestimento Parede	Cal, Cimento e Areia	19

Fonte: Pedó, 2014

- **Carga Acidental:** As cargas acidentais a serem consideradas atuando nos pavimentos do edifício estão evidenciadas na tabela 2, conforme NBR 6120 (1980):

Tabela 2 - Valores para cálculo da carga acidental na estrutura

Local	Carga (KN/m ²)
Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
Despensa, área de serviço e lavanderia	2,0
Escadas, corredores com acesso ao público	3,0

Fonte: Pedó, 2014

Cálculo das Ações Horizontais

- **Ação do Vento:** Como trata-se de um prédio localizado na cidade de Santo Ângelo, conforme mapa das isopletras a velocidade básica do vento (V_0) é de 45 m/s.

Ao considerar o terreno como sendo plano ou fracamente acidentado, obtém-se o valor do fator topográfico, sendo $S_1 = 1,0$. O fator é obtido levando-se em conta as seguintes características do terreno e da edificação:

a) **Rugosidade:** Categoria IV (terreno localizado no centro de uma cidade pequena, coberto por obstáculos com cota média de 10 m).

b) **Dimensões da edificação:** Classe B (edificação com maior dimensão horizontal ou vertical entre 20 e 50 m).

Sendo que o valor de S_2 varia conforme a altura de cada pavimento onde será aplicada a carga do vento. Como se trata de um edifício residencial, o fator estatístico (S_3) se enquadra no Grupo 2 da norma vigente, tendo seu valor igual a 1,0.

Já o coeficiente de arrasto é obtido através do ábaco presente na NBR 6123 (1988), sendo que leva em consideração a largura, comprimento e altura do edifício, resultando no valor de 1,25.

Com esses dados, obteve-se os valores da ação do vento na estrutura, mostrados na tabela 3.

Tabela 3 - Ação do vento na estrutura

Z	q (N/m ²)	Pórtico 1 (L = 4,188 m)			Pórtico 2 (L = 6,237 m)			Pórtico 3 (L = 6,475 m)		
		q (KN.m)	Ca.q	h = 2,8 m (KN)	q (KN.m)	Ca.q	h = 2,8 m (KN)	q (KN.m)	Ca.q	h = 2,8 m (KN)
2,80	716,99	3,00	3,75	10,51	4,47	5,59	15,65	4,64	5,80	16,25
5,60	726,45	3,04	3,80	10,65	4,53	5,66	15,86	4,70	5,88	16,46
8,40	834,67	3,50	4,37	12,25	5,20	6,51	18,22	5,40	6,75	18,91
11,20	875,88	3,67	4,59	12,84	5,46	6,83	19,12	5,67	7,09	19,85
14,00	918,08	3,85	4,81	13,45	5,73	7,16	20,04	5,94	7,43	20,80
16,80	983,25	4,12	5,15	14,41	6,13	7,67	21,46	6,37	7,96	22,28
19,60	1016,68	4,26	5,32	14,90	6,34	7,93	22,19	6,58	8,23	23,04
22,40	1050,66	4,40	5,50	15,40	6,55	8,19	22,93	6,80	8,50	23,81

Fonte: Pedó, 2014

Trechos Rígidos

O recurso da utilização de trechos rígidos em ligações entre pilares e vigas está disponível em alguns softwares de análise estrutural de forma automática, com a utilização de elementos de grande rigidez, pois muitos autores afirmam que a não consideração desse fator pode implicar em erros significativos na análise do comportamento estrutural.

Na modelagem de trechos rígidos, será realizada a utilização de barras horizontais com a adoção de trechos de viga de largura igual à do pilar e altura igual ao pé-direito do pavimento.

Contribuição da Alvenaria

As propriedades dos materiais a serem utilizados para a análise de pórticos preenchidos leva em consideração a NBR 15270-1 (2005), a NBR 6118 (2014) e a NBR 15812 (2010), conforme tabela 4:

Tabela 4 - Propriedades dos materiais

Material	Resistência à compressão do prisma (f_p)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson	Fator de Eficiência prisma-bloco
Concreto	-	26.071,59	0,20	-
Alvenaria	0,75	450	0,15	0,5

Fonte: Pedó, 2014

Esses valores são obtidos considerando a resistência à compressão do bloco (f_b) igual a 1,50 MPa (valor mínimo segundo a NBR 15270-1 (2005) para bloco com furo na horizontal), e admitindo-se um f_{ck} de 30 MPa para o concreto utilizado nos pilares, vigas e lajes dos pórticos.

Lajes como diafragma rígido

A consideração de lajes maciças na análise estrutural, por possuírem extrema rigidez, resulta na união de todos os pilares de forma que a ação do vento seja recebida e distribuída entre todos os elementos verticais do pórtico.

Quando essa característica não estiver presente no software, serão utilizadas barras articuladas para a representação das lajes nos pórticos planos a serem analisados.

Essas barras tem que possuir propriedades mecânicas e geométricas suficientemente grandes para caracterizá-las como rígidas. Sendo assim, o módulo de elasticidade a ser utilizado é referente ao fck do concreto da mesma, a largura refere-se a dimensão a ser analisada da laje e a altura é igual a espessura da mesma.

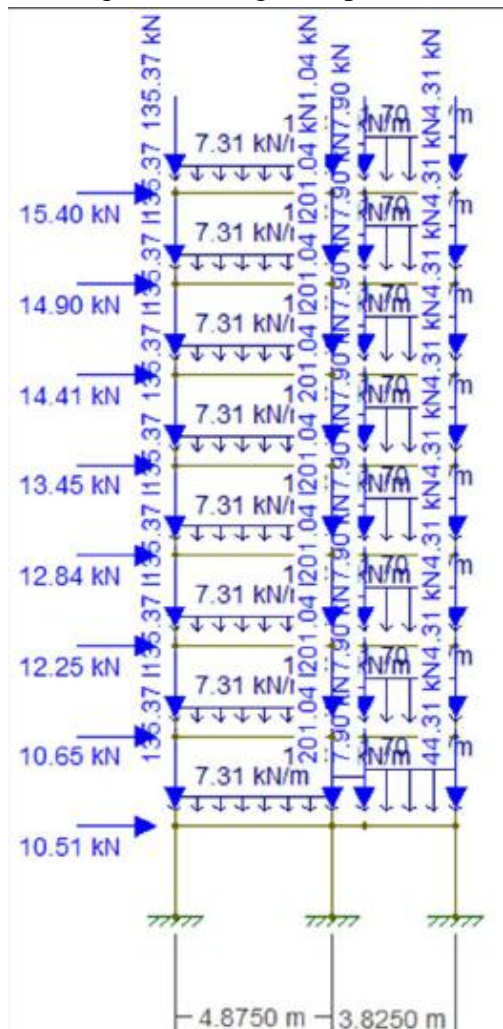
Resultados e discussões

Como trata-se de um edifício simétrico, foram realizados estudos com os pórticos 1, 2 e 3, que são proporcionais aos pórticos 6, 5 e 4, respectivamente, citados a seguir.

Pórtico 1

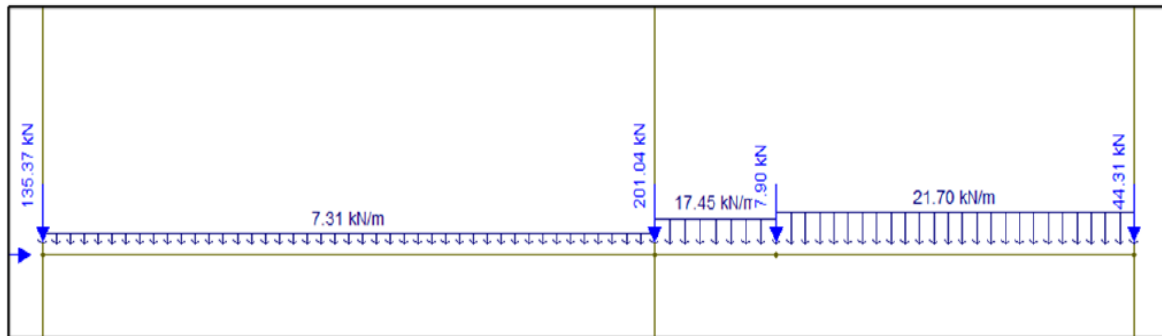
As figuras 1 e 2 mostram o pórtico 1 com as devidas cargas acidentais e permanentes, bem como a ação do vento em cada pavimento.

Figura 1 - Cargas do pórtico 1



Fonte: Pedó, 2014

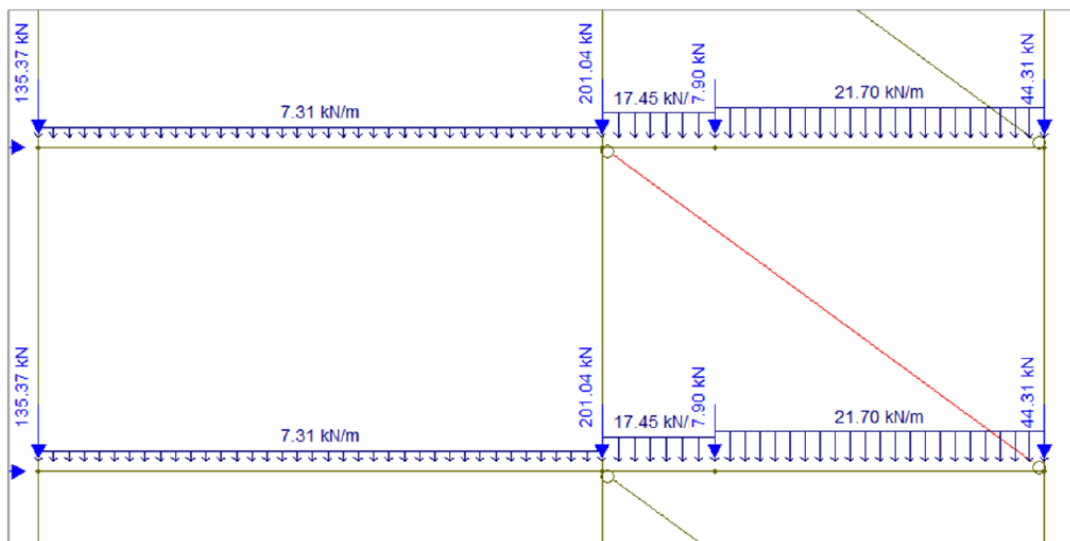
Figura 2 - Detalhe das cargas acidentais e permanentes aplicadas nos pavimentos do pórtico 1



Fonte: Pedó, 2014

No projeto arquitetônico, há parede somente no segundo vão do pórtico 1, sendo então incluída uma barra diagonal com comprimento de 4,2572 m ligando as extremidades do vão, com 0,15 m de espessura e 0,658 m de altura, conforme calculado através dos desenvolvimentos de Stafford-Smith e Carter (1969) para representar a alvenaria. Na figura 3, está destacada em vermelho a barra diagonal equivalente lançada em todos os pavimentos da estrutura.

Figura 3 - Diagonal equivalente que representa a alvenaria.



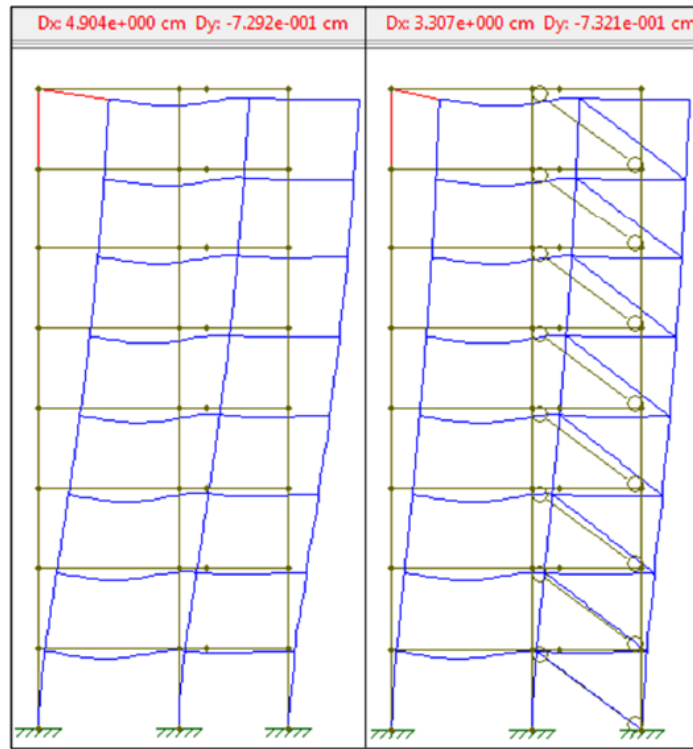
Fonte: Pedó, 2014

No caso do pórtico 1, o mesmo não apresentou trechos rígidos entre pilares e vigas, pois as dimensões dos elementos não admitem a aplicação deste conceito.

Deslocamentos horizontais

Levando-se em consideração o topo do pórtico, estão evidenciados na figura 4, os deslocamentos da estrutura somente com a atuação de pilares e vigas e com o acréscimo da diagonal equivalente, respectivamente.

Figura 4 - Atuação da diagonal equivalente nos deslocamentos do pórtico.



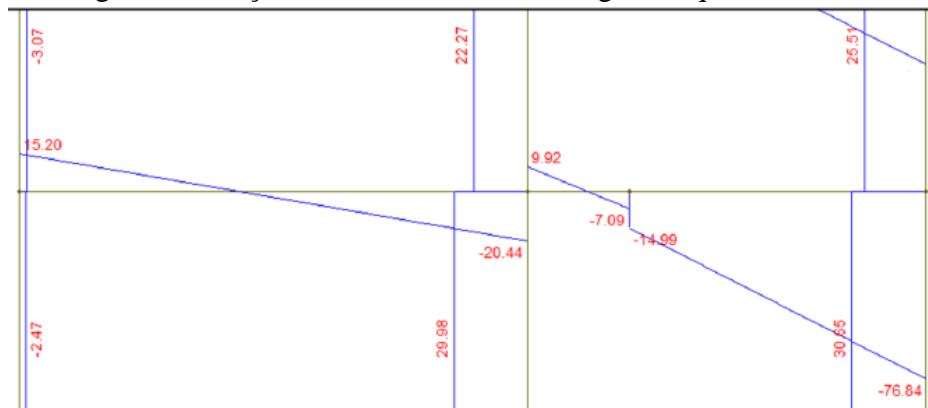
Fonte: Pedó, 2014

Como pode-se ver, com o acréscimo da diagonal equivalente representando a alvenaria na estrutura, obteve-se um deslocamento horizontal de 3,307 cm, sendo que sem este conceito, o pórtico obteve um deslocamento de 4,904 cm.

Força de Cisalhamento e Momento Fletor

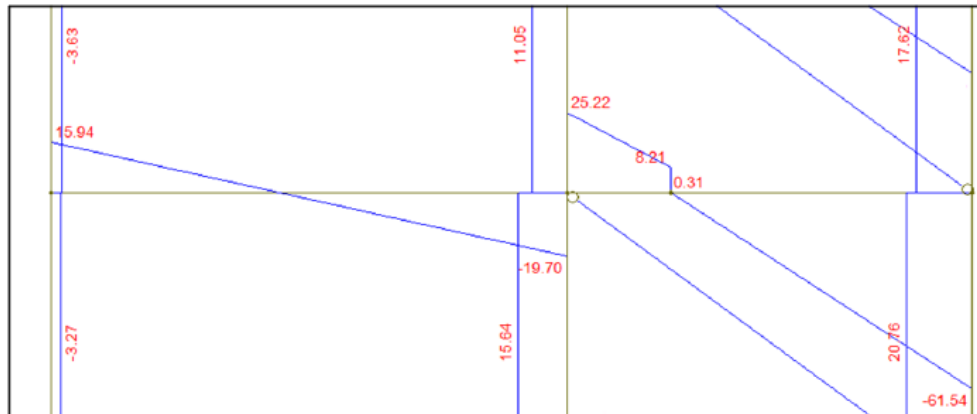
Para ser feita a análise da variação da força de cisalhamento e do momento fletor proporcionada pelo acréscimo da diagonal equivalente, foi escolhido o quinto pavimento do pórtico. Nas figuras 5 e 6 tem-se a força de cisalhamento da estrutura simples e da mesma com a atuação da diagonal equivalente, respectivamente.

Figura 5 - Força de cisalhamento sem diagonal equivalente



Fonte: Pedó, 2014

Figura 6 - Força de cisalhamento com acréscimo da diagonal equivalente

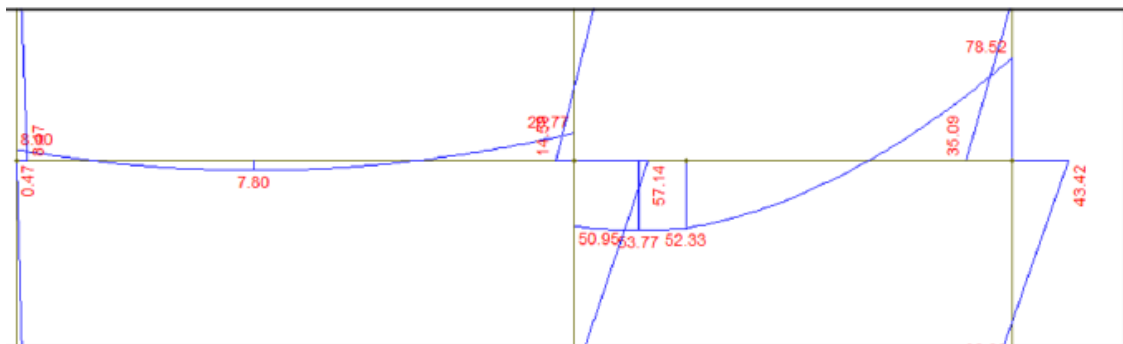


Fonte: Pedó, 2014

Como pode ser visto no segundo vão, onde a alvenaria foi representada, houve um aumento da força de cisalhamento, sendo explicado pelo fato de que quando o pórtico está submetido a ações horizontais, a diagonal equivalente tende a comprimir, vindo a sofrer deformações por cortante em seu plano.

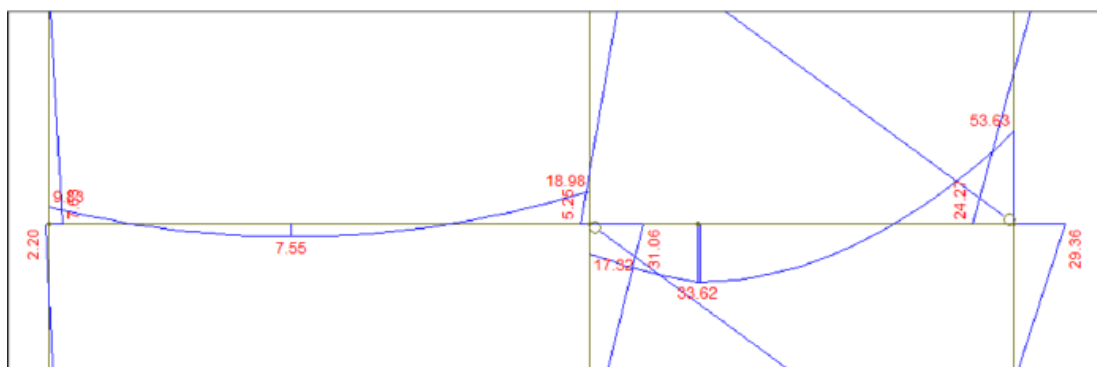
Quanto ao momento fletor, estão evidenciados nas figuras 7 e 8 os resultados obtidos.

Figura 7 - Momento fletor sem a diagonal equivalente.



Fonte: Pedó, 2014

Figura 8 - Momento fletor com o acréscimo da diagonal equivalente



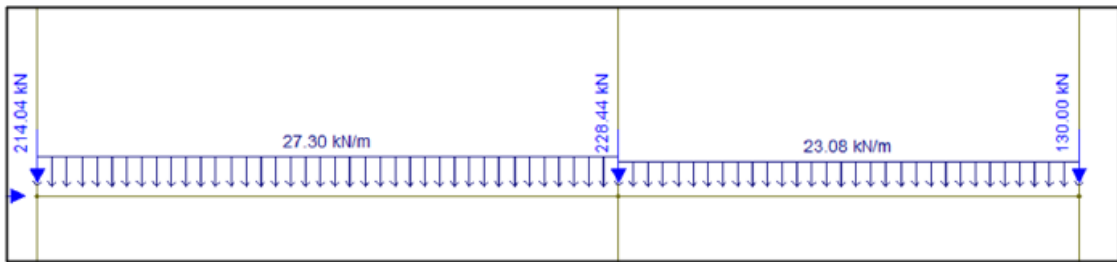
Fonte: Pedó, 2014

Percebe-se que o pórtico preenchido diminui consideravelmente os valores de momento fletor pelo fato de que a barra diagonal equivalente causa uma rigidez maior no pórtico, redistribuindo o momento.

Pórtico 2

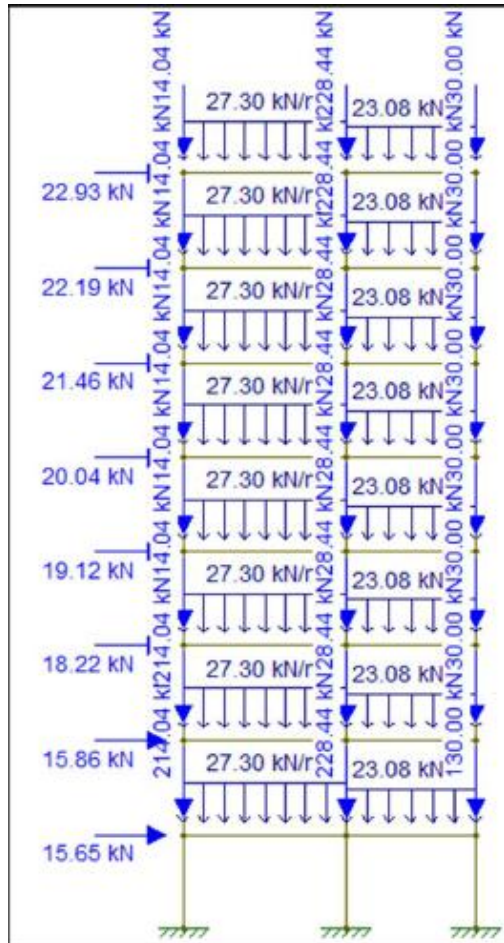
O pórtico 2 recebe a viga 18 em toda a sua extensão, sendo que a distribuição das cargas está evidenciada nas figuras 9 e 10.

Figura 9 - Carga accidental e permanente lançada em cada pavimento



Fonte: Pedó, 2014

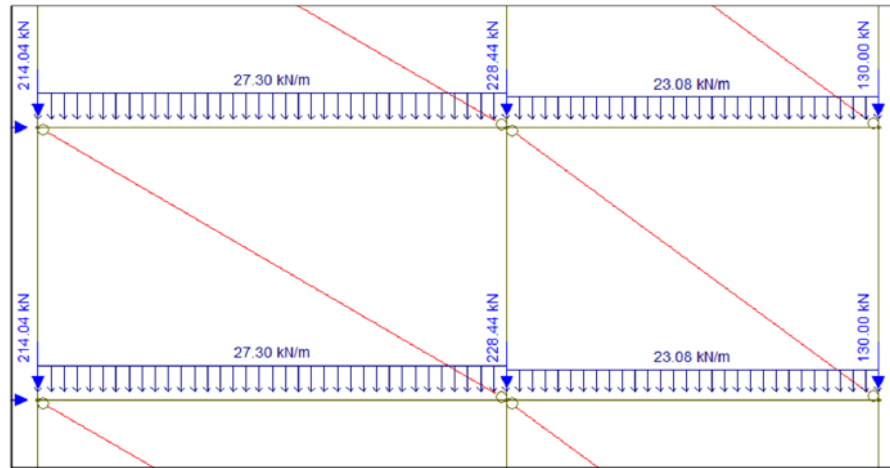
Figura 10 - Pórtico completo com a ação do vento e cargas horizontais



Fonte: Pedó, 2014

As barras diagonais equivalentes que representam a alvenaria presente no pórtico 2 são de comprimento de 5,11 m ligando as extremidades do primeiro vão, com 0,15 m de espessura e 0,868 m de altura. Já no segundo vão, a espessura se mantém, sendo o comprimento de 3,76 m e a altura da barra de 0,626 m. Na figura 11, está destacada em vermelho as barras diagonais equivalentes lançadas em todos os pavimentos da estrutura.

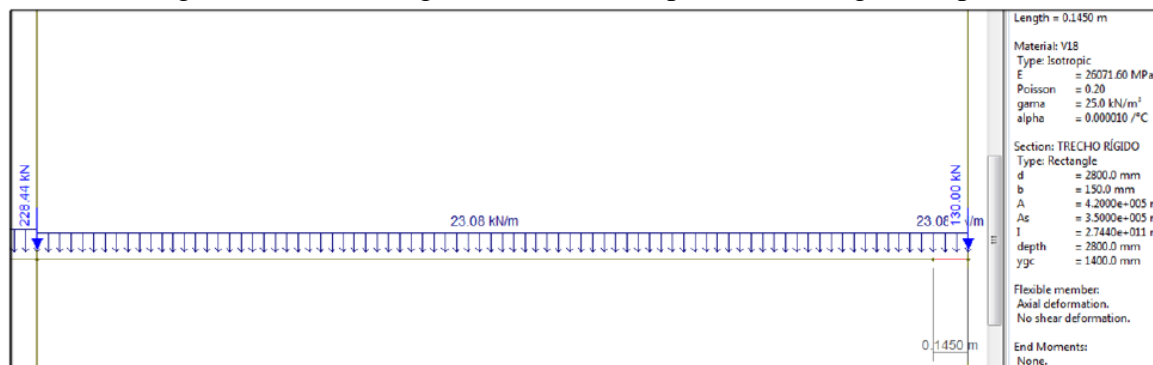
Figura 11 - Diagonais equivalentes do pórtico 2



Fonte: Pedó, 2014

Quanto aos trechos rígidos no pórtico em análise, constatou-se que a ligação entre o pilar P2 e a viga 18 apresenta este fator. Levando-se em conta que a viga possui 0,60 m de altura e o pilar tem 0,65 m de base, esses valores resultam em um trecho rígido de 0,145 m partindo do eixo do pilar em direção à sua extremidade interna. Conforme os estudos realizados, nesta barra foram lançados os valores de 2,80 m de altura e 0,15 m de largura, para que a inércia seja elevada. Sendo assim, a figura 12 detalha a barra em que o trecho é considerado rígido.

Figura 12 - Trecho rígido com altura do pé direito e largura do pilar

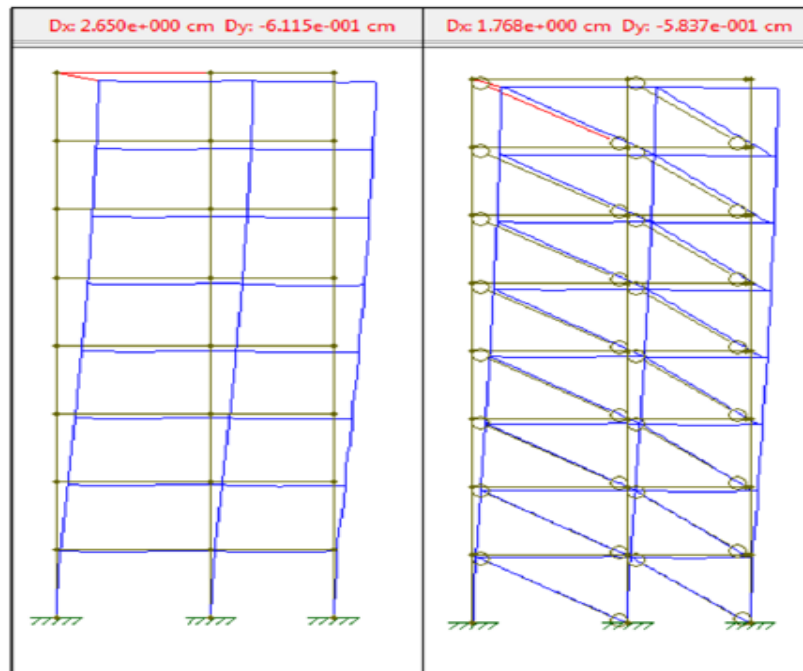


Fonte: Pedó, 2014

Deslocamentos horizontais

Na figura 13 está evidenciado os deslocamentos sofridos pelo pórtico 2 somente com a atuação de pilares e vigas e também com o acréscimo da diagonal equivalente e trechos rígidos, respectivamente.

Figura 13 - Diagonal equivalente e trecho rígido atuando no deslocamento do pórtico.

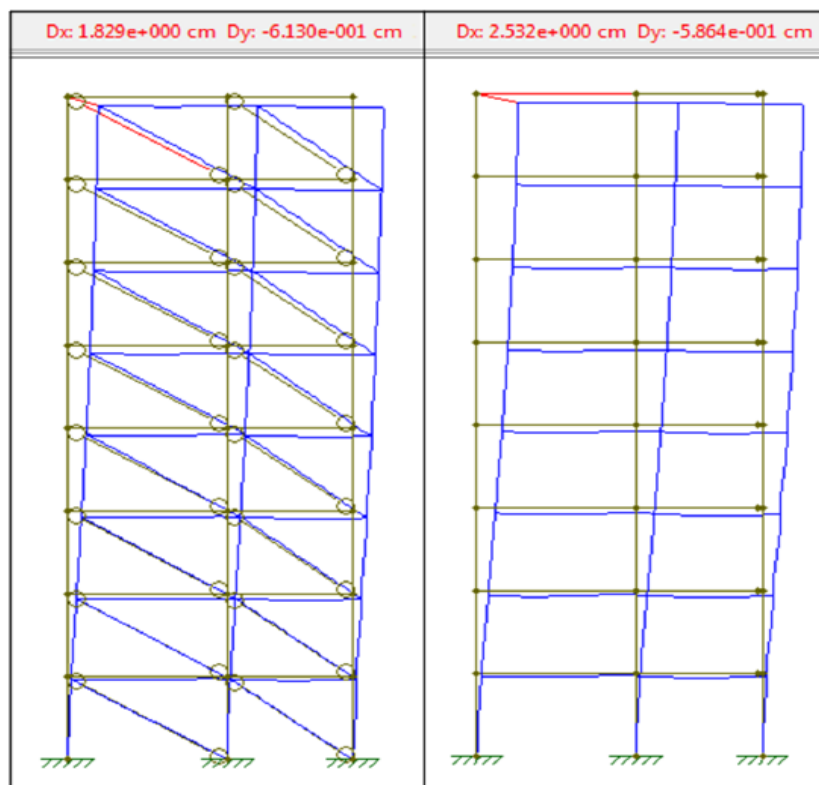


Fonte: Pedó, 2014

Desta forma pode-se perceber que com o acréscimo da diagonal equivalente e dos trechos rígidos na estrutura do pórtico, o deslocamento horizontal diminuiu 0,882 cm no ponto analisado.

Em relação a essa diminuição considerável de deslocamento, a figura 14 mostra o pórtico com atuação exclusivamente da diagonal equivalente e dos trechos rígidos, respectivamente.

Figura 14 - Pórtico com diagonal equivalente e com trecho rígido, respectivamente.



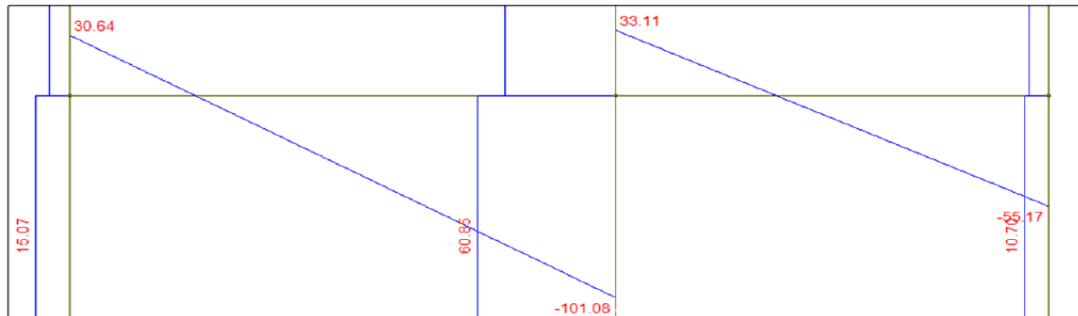
Fonte: Pedó, 2014

Com essa análise, pode-se perceber que as diagonais equivalentes colaboram mais para a diminuição do deslocamento horizontal da estrutura, enquanto os trechos rígidos possuem mais eficiência na redução dos deslocamentos verticais.

Força de Cisalhamento e Momento Fletor

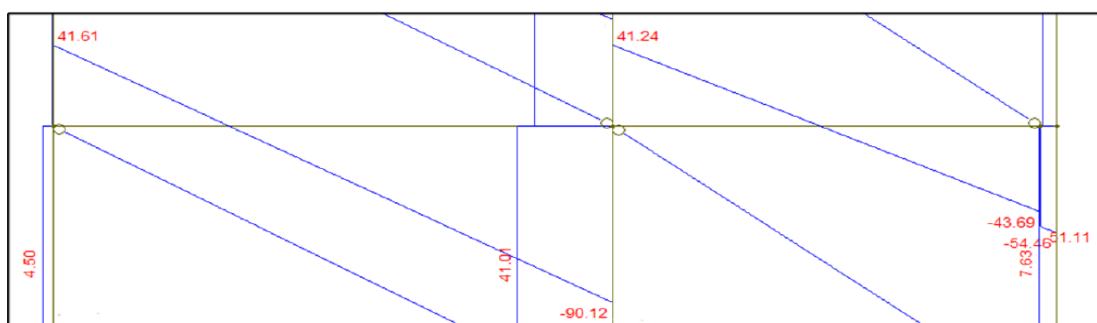
A variação da força de cisalhamento será analisada através do quinto pavimento do pórtico, levando-se em conta a estrutura básica, composta por pilares e vigas, e posteriormente a comparação quando se acrescenta as diagonais equivalentes e os trechos rígidos na estrutura. Os resultados estão evidenciados nas figuras 15 e 16, respectivamente.

Figura 15 - Força de cisalhamento para estrutura simples



Fonte: Pedó, 2014

Figura 16 - Força de cisalhamento com atuação da diagonal equivalente e trecho rígido

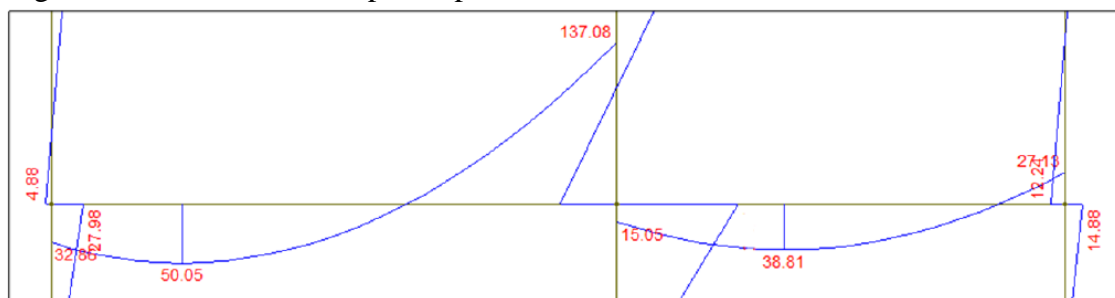


Fonte: Pedó, 2014

Da mesma forma, neste caso houve aumento da força de cisalhamento no primeiro vão, onde ocorre o acréscimo da alvenaria. Já no segundo vão, no ponto onde ocorre trecho rígido, ocorreu uma diminuição mínima dos valores de cortante.

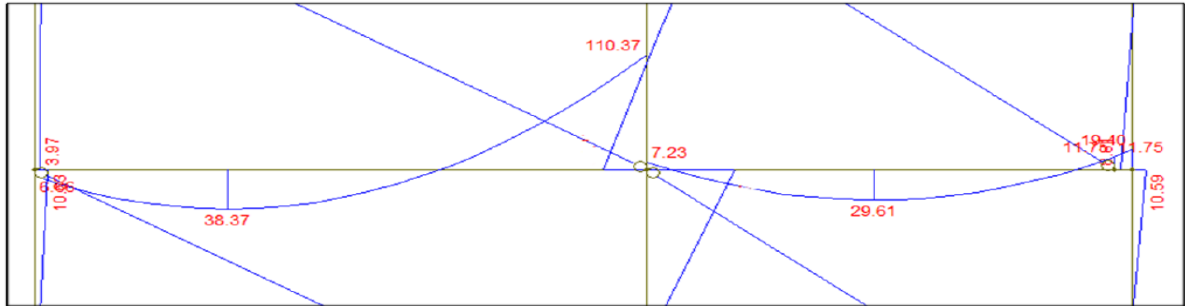
Quanto ao momento fletor, foi analisado o mesmo trecho e os resultados obtidos estão presentes nas figuras 17 e 18.

Figura 17 - Momento fletor para o pórtico de referência



Fonte: Pedó, 2014

Figura 18 - Momento fletor com diagonal equivalente e trechos rígidos atuando na estrutura



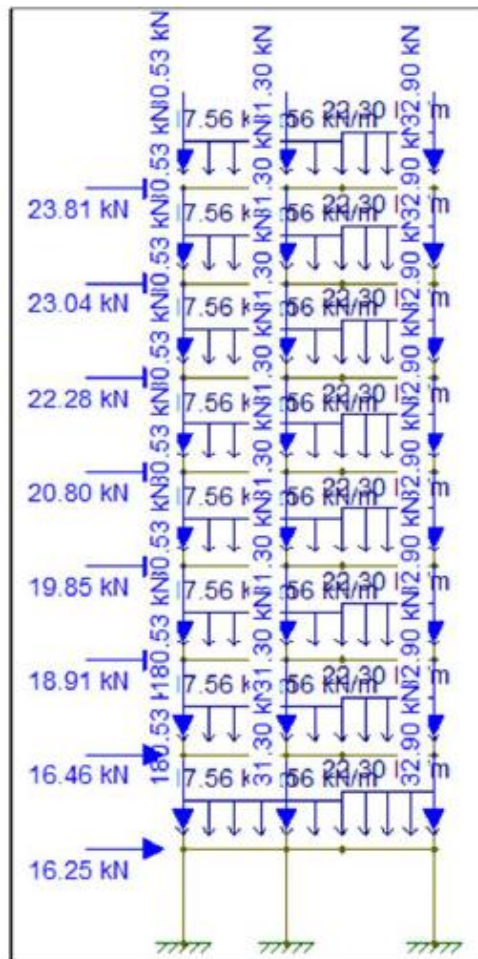
Fonte: Pedó, 2014

Os valores de momento fletor diminuiram mais uma vez, tanto com o acréscimo do pórtico preenchido, como também do trecho rígido existente.

Pórtico 3

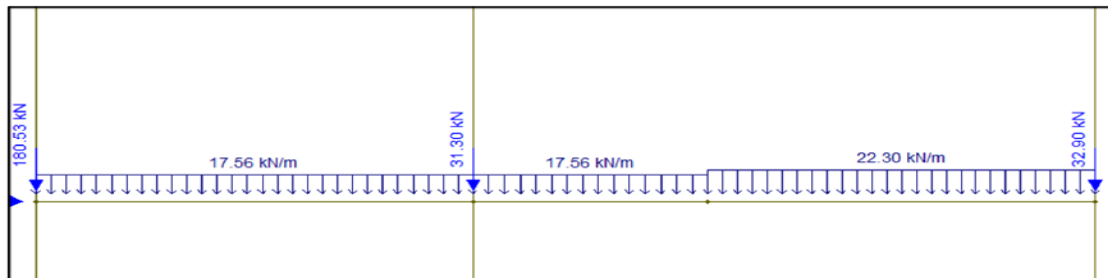
O pórtico 3 é composto pelos pilares P18, P13 e P6, que recebem as vigas 8, 20 e 21 em sua extensão, sendo que a distribuição das cargas está evidenciada nas figuras 19 e 20.

Figura 19 - Pórtico 3 com cargas horizontais e verticais



Fonte: Pedó, 2014

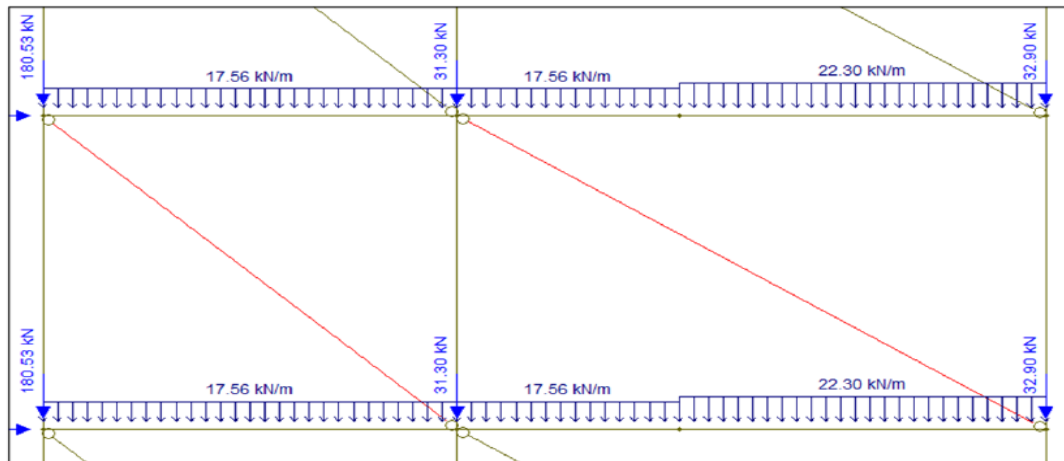
Figura 20 - Detalhe das cargas aplicadas em cada pavimento



Fonte: Pedó, 2014

As diagonais equivalentes possuem medidas de 3,36 m de comprimento, espessura de 0,15 m e altura de 0,466 m no primeiro vão e 4,375 m de comprimento, altura de 0,64 m e mesma espessura para o segundo vão. A figura 21 mostra as mesmas destacadas em vermelho.

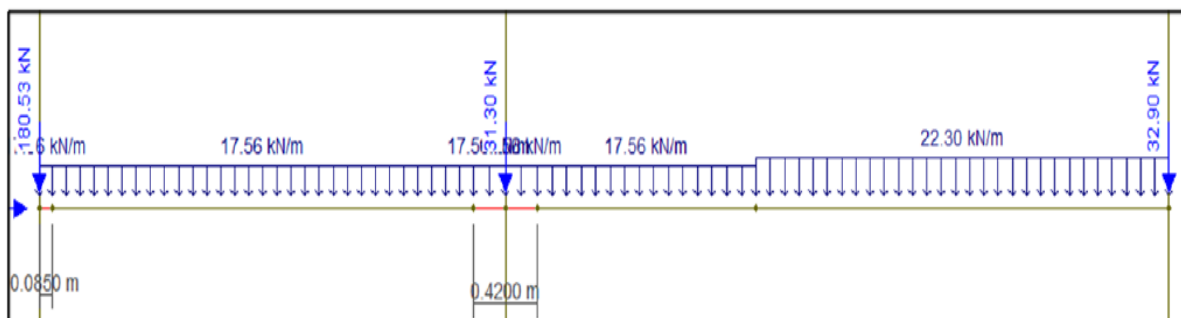
Figura 21 - Diagonais equivalentes no pórtico 3



Fonte: Pedó, 2014

Já os trechos rígidos estão presentes em duas ligações desse pórtico, sendo o primeiro na ligação entre o P18 e a V20, com 8,5 cm de rigidez. Quanto ao pilar P13, o mesmo recebe a V20 nas suas duas extremidades, sendo que resulta em 42 cm de trechos rígidos. A figura 22 evidencia os trechos rígidos do pórtico 3.

Figura 22 - Trechos rígidos presentes no pórtico 3

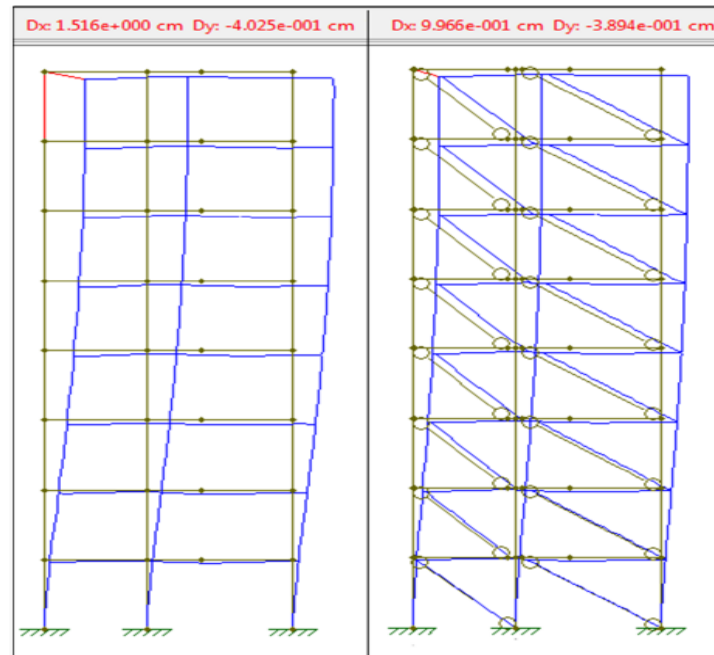


Fonte: Pedó, 2014

Deslocamentos horizontais

A figura 23 mostra os deslocamentos sofridos pelo pórtico 3 quando considerado apenas pilares e vigas, e também com o acréscimo da diagonal equivalente e trechos rígidos, respectivamente.

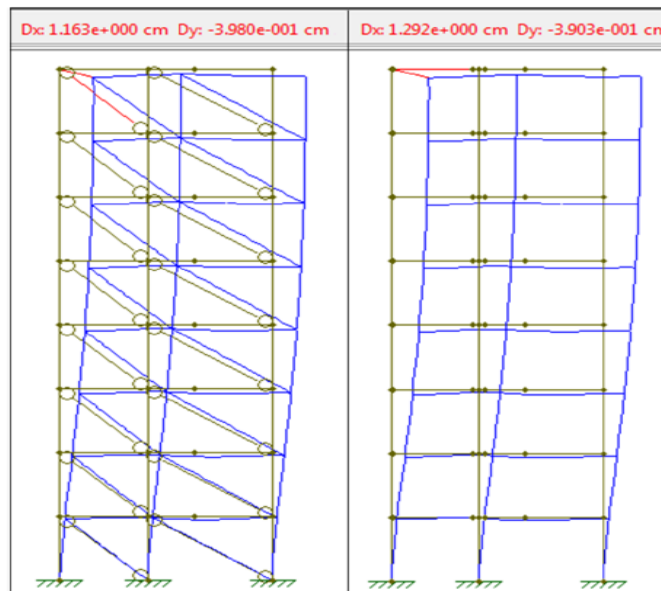
Figura 23 - deslocamentos do pórtico 3



Fonte: Pedó, 2014

Nesse caso o deslocamento horizontal do pórtico passou de 1,516 cm para 0,9966 cm com o acréscimo da diagonal equivalente e dos trechos rígidos na estrutura do pórtico. Já na figura 24 temos o pórtico com atuação exclusivamente da diagonal equivalente e dos trechos rígidos, respectivamente.

Figura 24 - Deslocamentos com aplicação das diagonais equivalentes e dos trechos rígidos.



Fonte: Pedó, 2014

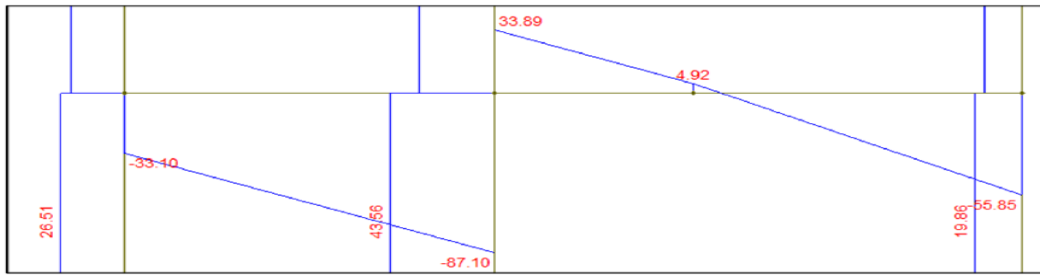
Mais uma vez pode ser visto que as diagonais equivalentes e os trechos rígidos tem maior influência na diminuição dos deslocamentos horizontais e verticais, respectivamente.

Força de Cisalhamento e Momento Fletor

Da mesma maneira, foi analisado o trecho do quinto pavimento do pórtico, com o intuito de comparar a variação da força de cisalhamento, levando-se em conta o pórtico de

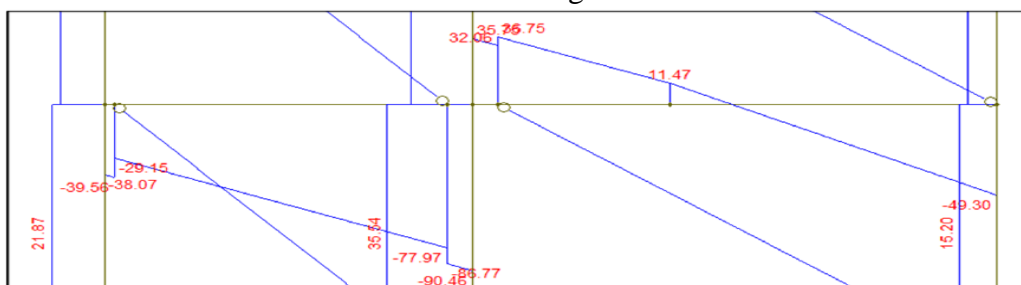
referência e posteriormente o mesmo com as diagonais equivalentes e os trechos rígidos incluídos. Os resultados estão evidenciados nas figuras 25 e 26, respectivamente.

Figura 25 - Força de cisalhamento do pórtico 3 com estrutura simples



Fonte: Pedó, 2014

Figura 26 – Força de Cisalhamento do pórtico 3 com inclusão das diagonais equivalentes e dos trechos rígidos

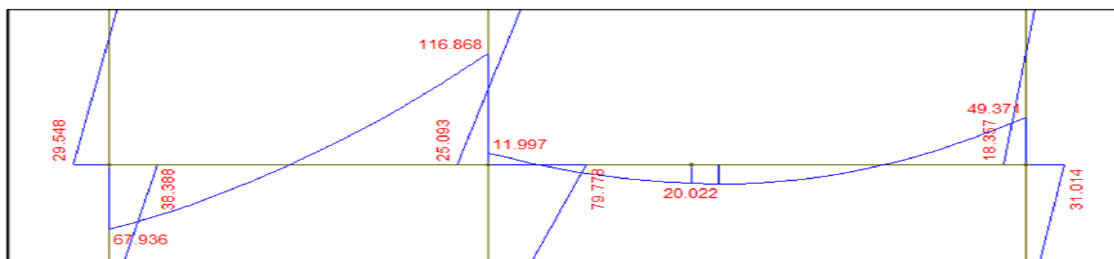


Fonte: Pedó, 2014

Nos trechos onde há diagonal equivalente e trechos rígidos atuando juntos, pode-se perceber um aumento pouco significativo das reações de força de cisalhamento da viga em análise.

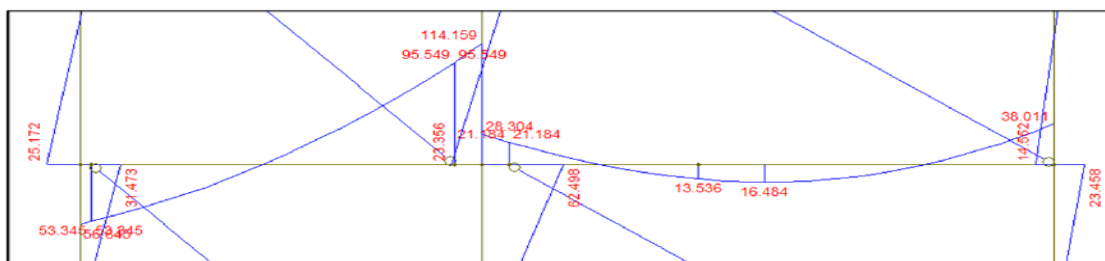
Já os momentos fletores estão evidenciados nas figuras 27 e 28, da estrutura básica e com aplicação da diagonal equivalente e dos trechos rígidos.

Figura 27 - Momento fletor da estrutura básica



Fonte: Pedó, 2014

Figura 28 - Momento fletor da estrutura com aplicação das diagonais equivalentes e trechos rígidos



Fonte: Pedó, 2014

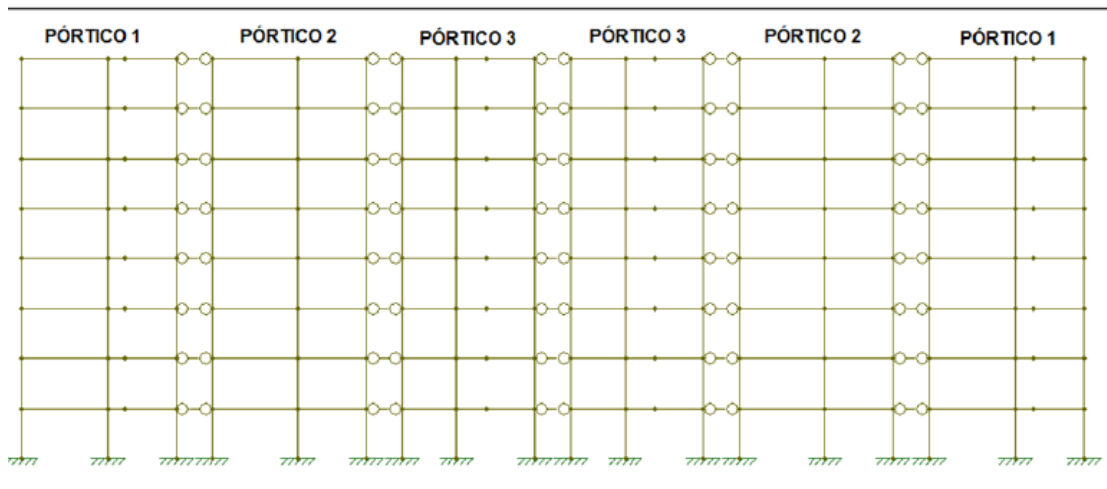
A maior rigidez proporcionada nos trechos onde a inércia foi alterada para valores maiores explica o aumento do momento negativo ocorrido nesse caso.

Pórtico Associado

O pórtico pórtico plano associado representa a união dos pórticos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, utilizando-se de barras rígidas articuladas para representar as lajes que ligam esses pórticos. A ação do vento trata-se do valor do comprimento total do prédio, aplicada em cada pavimento.

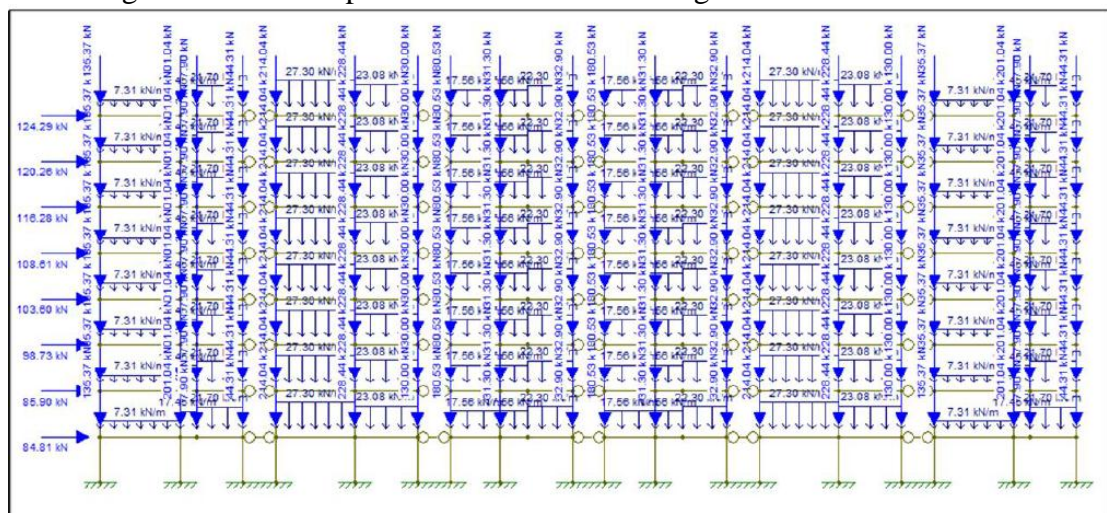
Como trata-se de um edifício simétrico, os pórticos se repetem para que a estrutura fique completa. Na figura 29 pode-se ver as barras birrotuladas que simulam o comportamento das lajes. Já na figura 30, estão presentes as cargas permanentes e acidentais da estrutura.

Figura 29 - Pórtico plano associado



Fonte: Pedó, 2014

Figura 30 - Pórtico plano associado com as cargas horizontais e verticais.

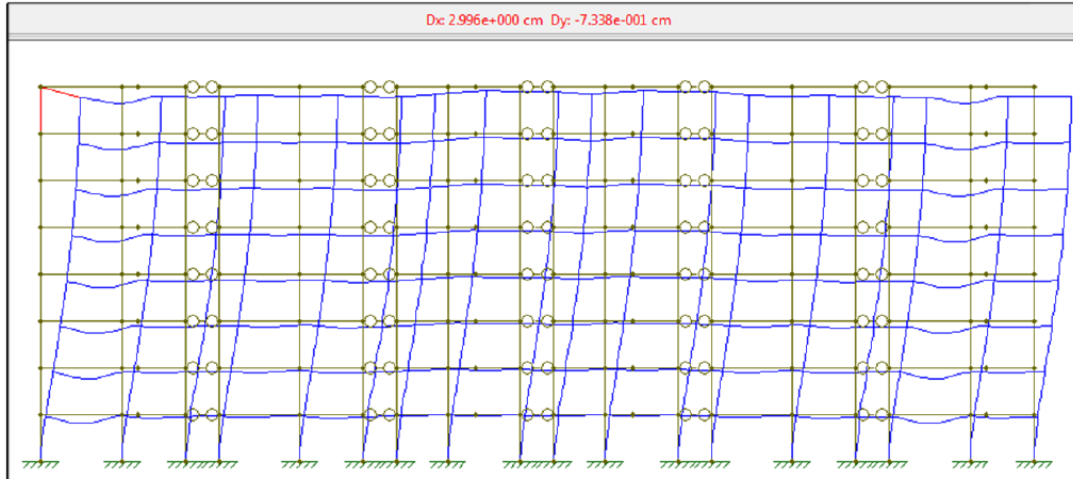


Fonte: Pedó, 2014

Deslocamentos horizontais

Primeiramente será analisado os deslocamentos provocados pela estrutura com apenas pilares e vigas, o que é o caso da figura 31.

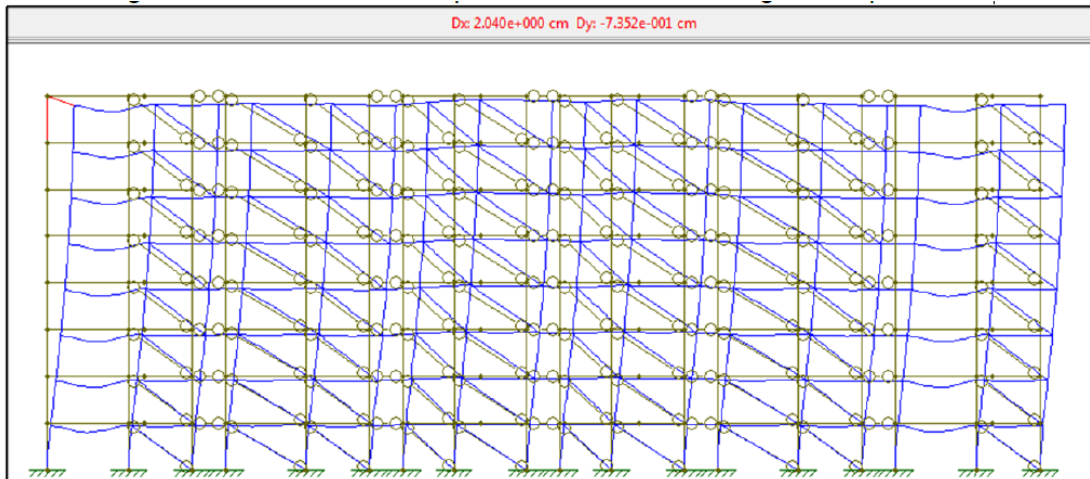
Figura 31 - Deslocamento do pórtico plano associado



Fonte: Pedó, 2014

Já quando admite-se a alvenaria sendo representada pelas barras diagonais equivalentes, obtém-se os resultados mostrados na figura 32.

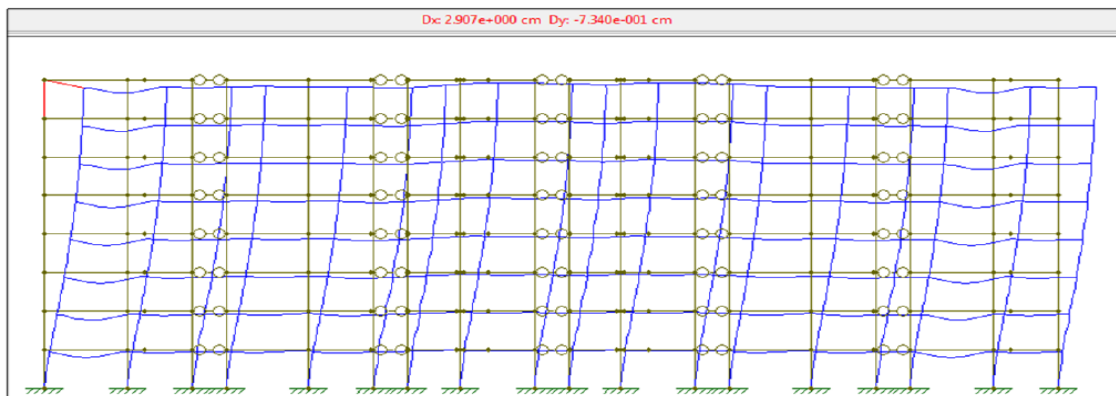
Figura 32 - Deslocamento do pórtico associado com diagonais equivalentes



Fonte: Pedó, 2014

Ao incluir trechos rígidos no pórtico plano associado, tem-se os seguintes deslocamentos evidenciados na figura 33.

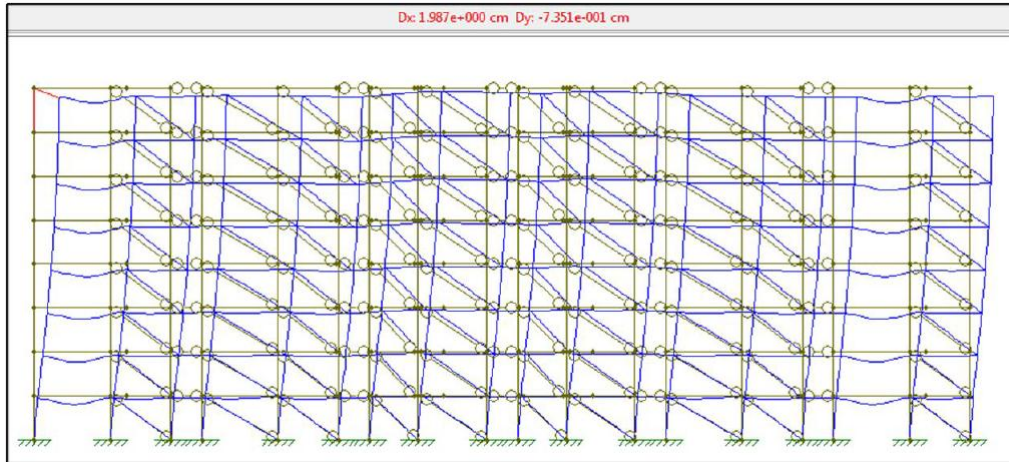
Figura 33 - Pórtico plano associado com trechos rígidos



Fonte: Pedó, 2014

Quando aplica-se a alvenaria na forma de diagonais equivalentes e os trechos rígidos atuando juntos, chegamos aos deslocamentos evidenciados na figura 34.

Figura 34 - Pórtico plano associado com diagonais equivalentes e trechos rígidos



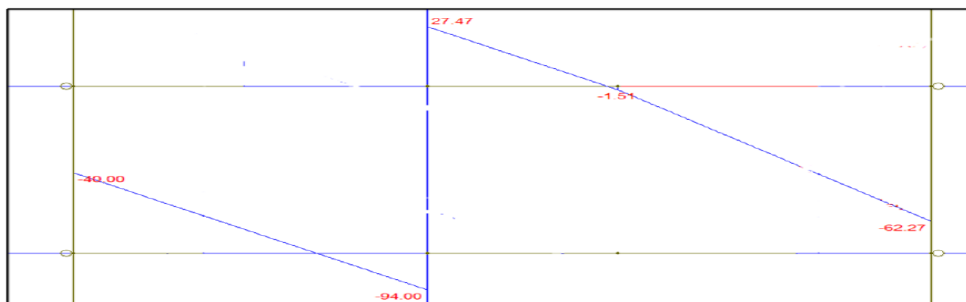
Fonte: Pedó, 2014

Força de Cisalhamento e Momento Fletor

Uma comparação de momentos fletores e de forças de cisalhamento pode ser feita visando entender qual a mudança ocorrida quando esses mesmos pórticos encontram-se associados.

A figura 35 apresenta o trecho referente ao quinto andar do pórtico 3, sendo este retirado do pórtico plano associado, composto somente por pilares e vigas.

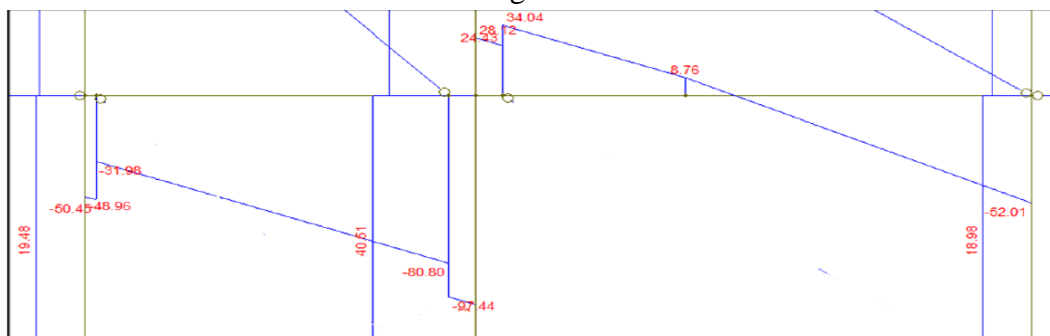
Figura 35 - Força de cisalhamento do trecho do pórtico 3



Fonte: Pedó, 2014

No próximo caso, levou-se em conta a atuação de diagonais equivalentes e de trechos rígidos atuando no pórtico, sendo que resultou nas seguintes forças de cisalhamento presentes na figura 36.

Figura 36 - Força de cisalhamento quando acrescentadas diagonais equivalentes e trechos rígidos



Fonte: Pedó, 2014

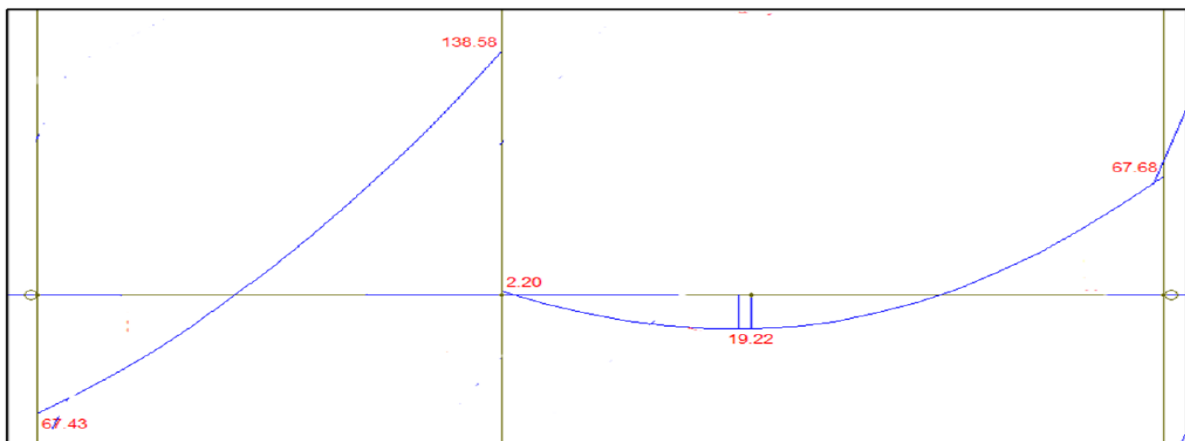
Nesse caso as alterações foram mais evidentes nas extremidades do pórtico, sendo que no pilar central, a diferença encontrada foi muito pequena.

Em comparação aos resultados obtidos quando analisado o pórtico isolado, o pórtico plano associado resultou em forças de cisalhamento relativamente maiores.

Com relação aos valores de momento fletor, no caso do pórtico de referência, houve um aumento desse valor quando associou-se os pórticos. O mesmo acontece quando se acrescenta as diagonais equivalentes e os trechos rígidos no pórtico associado, comparados ao pórtico isolado.

Os valores de momento fletor, sendo analisado o mesmo trecho do pórtico 3 está apresentado na figura 37 na forma de pórtico plano associado simples.

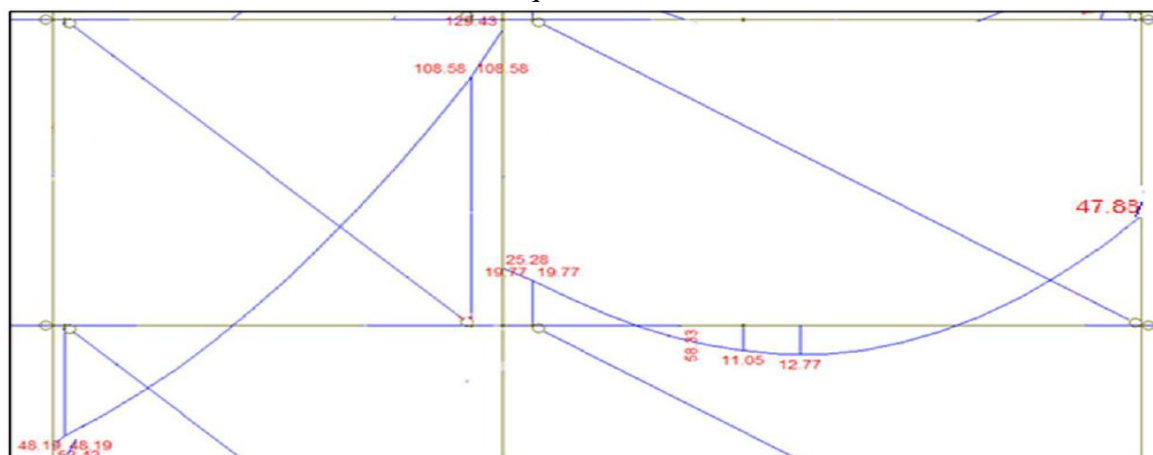
Figura 37 - Momento fletor do pórtico plano associado



Fonte: Pedó, 2014

Com a inclusão dos trechos rígidos e diagonais equivalentes no pórtico em estudo, obtêm-se os seguintes valores para momento fletor mostrado na figura 38.

Figura 38 - Momento fletor do pórtico plano associado com trechos rígidos e diagonal equivalente



Fonte: Pedó, 2014

Percebe-se que os valores de momento diminuem significativamente no pórtico, sendo que isso se deve à rigidez proporcionada pelos conceitos aplicados.

Análise dos Deslocamentos Horizontais

Com todos os pórticos analisados, resume-se os deslocamentos horizontais dos pórticos isolados na tabela 5 para que possa ser feita a comparação proposta para este trabalho.

Tabela 5 - Deslocamentos horizontais dos pórticos analisados

DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS (cm)			
TIPO ANÁLISE	PÓRTICO 1	PÓRTICO 2	PÓRTICO 3
NORMAL	4,904	2,650	1,516
DIAG.EQUIV.	3,307	1,829	1,163
TREC. RIG.	-	2,532	1,292
DIAG. EQUIV. E TREC. RÍG.	-	1,768	0,9966

Fonte: Pedó, 2014

Quando analisado os deslocamentos horizontais ocorridos no pórtico associado, foram escolhidos os mesmos pontos evidenciados nos casos dos pórticos isolados. A tabela 6 mostra os valores encontrados nessa nova análise.

Tabela 6 - Deslocamentos horizontais para o pórtico associado

DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NO PÓRTICO ASSOCIADO (cm)			
TIPO ANÁLISE	PÓRTICO 1	PÓRTICO 2	PÓRTICO 3
NORMAL	2,996	2,939	2,883
DIAG.EQUIV.	2,040	1,985	1,930
TREC. RIG.	2,907	2,851	2,795
DIAG. EQUIV. E TREC. RÍG.	1,987	1,934	1,879

Fonte: Pedó, 2014

Pode-se perceber que a união dos pórticos provoca uma redistribuição dos esforços e consequentemente os deslocamentos horizontais passam a ser mais uniformes, sendo que o pórtico 1 teve uma diminuição muito considerável de deslocamento horizontal, enquanto que os pórticos 2 e 3 tiveram aumentado esse fator.

Conclusões

Nos dias de hoje, a tecnologia nos proporciona diversos softwares para cálculo de estruturas, sendo esses cada vez mais completos e úteis. Este fato faz com que os modelos mais simples sejam cada vez menos utilizados.

Como a estrutura analisada neste trabalho pode ser considerada simples, em que a maioria das vigas se apoiam em pilares e trata-se de um edifício simétrico, é possível obter resultados satisfatórios com modelos bidimensionais de análise estrutural, além de disporem de um método mais simples de análise.

Quanto aos deslocamentos horizontais, pode-se observar que nos pórticos 1, 2 e no associado, a diminuição desse fator com o acréscimo das diagonais equivalentes, ficou em torno dos 30%. Enquanto que no pórtico 3, esse valor ficou na casa de 23%.

Com esses valores é possível afirmar que o preenchimento de pórticos com painéis de alvenaria torna-se viável para aumentar a rigidez de uma estrutura e consequentemente resistir melhor aos esforços laterais da mesma.

Quanto aos trechos rígidos, a não consideração dos mesmos nas ligações entre pilares e vigas pode resultar em equívocos tanto na distribuição dos esforços, quanto nos deslocamentos, sendo que altera o comportamento da estrutura em relação à realidade.

Já as lajes como barras rígidas são muito úteis para que se obtenham resultados próximos aos modelos tridimensionais e com a ação das mesmas, os pórticos unidos conseguem

trabalhar de forma que os deslocamentos dos mesmos tenham valores muito próximos, isso se deve ao fato de que agem em conjunto.

Os resultados encontrados comprovam que a consideração da alvenaria atuando na forma de diagonal equivalente é o conceito mais satisfatório quando se refere à diminuição de deslocamentos horizontais.

Muitos engenheiros estruturais evitam utilizar tal conceito pelo fato de que até os dias atuais não há uma teoria universalmente aceita quanto a esse tema. Outra dificuldade diz respeito à necessidade de o painel ser executado com extrema perfeição, o que exigiria uma fiscalização rigorosa para tal serviço, dificultando o seu uso com segurança.

Referências

NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto – procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.

NBR 6120: *Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 1980.

NBR 6123: *Forças devidas ao vento em edificações – procedimento*. Rio de Janeiro, 1988.

NBR 15270-1: *Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação*. Rio de Janeiro, 2005.

NBR 15812-1: *Alvenaria estrutural – blocos cerâmicos*. Parte 1: projeto. Rio de Janeiro, 2010.

Alva, g. M. S.; *Análise estrutural I, notas de aula* – UFSM. Santa Maria, 2012.

Alvarenga, Rita de cássia s. Sant’anna et al. *Influência da relação altura/comprimento de pórticos metálicos na rigidez lateral de estruturas compostas de pórticos preenchidos com alvenaria: avaliação experimental*. São Carlos: Universidad Nacional De Cuyo, 2004.

Corrêa, m. R. S. *Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de sistemas estruturais de edifícios*. Tese (Doutorado Em Engenharia De Estruturas), Escola De engenharia de São Carlos, Universidade De São Paulo. São Carlos, 1991. 84