

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

**AÇÕES HORIZONTAIS EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA  
ESTRUTURAL MÉTODO DE MODELAGEM 2D x  
MÉTODO DE MODELAGEM 3D**

AUTOR: FERNANDO AQUINO FERNANDES  
PROF. ORIENTADOR: ROBERTO MÁRCIO DA SILVA

2016

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Roberto Márcio da Silva, pela orientação e participação ativa para o desenvolvimento deste trabalho e ao colega da Especialização Rafael Brito que forneceu parte do seu material de estudo.

A todos os amigos do Curso de Especialização em Estruturas, em especial a secretária do Curso Alessandra Cristina R. Souza, aos professores Fernando Amorim de Paula, Roque Luiz da Silva Pitangueira, Ricardo Hallal Fakury, Rodrigo Barreto Caldas, Armando Cesar Campos Lavall, Élvio Mosci Piancastelli e Marco Antônio de Mendonça Vecci.

Dedico este trabalho à minha esposa Gervânia e aos nossos filhos Guilherme e Gustavo por terem me apoiado e incentivado para mais esta conquista, e ainda, por terem superado a minha ausência em diversos momentos importantes.

Amo vocês!

## Resumo

AQUINO FERNANDES, Fernando. Ações Horizontais em Edifícios de Alvenaria Estrutural – Método de Modelagem 2D x Método de Modelagem 3D. Belo Horizonte, 2015. Xxp. Trabalho Final (Especialização) - Escola de Engenharia - Universidade Federal de Minas Gerais.

Este trabalho visa demonstrar às divergências dos valores de esforços resultantes para dimensionamento, entre um modelo de cálculo em 2D, para outro em 3D, para as ações horizontais de um edifício em alvenaria estrutural. A comparação dos dois métodos de cálculo pretende evidenciar a diferença da forma adotada para equilíbrio e distribuição dos esforços horizontais de cada modelo, e com isto, dando condições de se perceber, que de acordo com o método adotado para cálculo das ações horizontais de um edifício em alvenaria estrutural, poderemos ter uma estrutura com maior ou menor otimização de materiais.

Palavras-chave: Edifícios em Alvenaria Estrutural. Ações Horizontais em Edifícios. Método de Modelagem em 2D. Método de Modelagem em 3D.

## **SUMÁRIO**

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>2 OBJETIVO</b>	<b>6</b>
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>6</b>
<b>4 INFORMAÇÕES DO PAVIMENTO TIPO DO EDIFÍCIO ADOTADO</b>	<b>7</b>
<b>COMO EXEMPLO</b>	<b>7</b>
4.1 Plantas	7
4.2 Dados Adicionais	11
4.3 Cálculo do Vento	11
4.4 Cálculo do Desaprumo	13
4.5 Resumo das Ações Horizontais	14
<b>5 MÉTODO DE MODELAGEM 2D</b>	<b>14</b>
5.1 Ftool	16
<b>6 MÉTODO DE MODELAGEM 3D</b>	<b>18</b>
6.1 Sap2000	20
<b>7 TABELA COMPARATIVA DE RESULTADOS 2D X 3D</b>	<b>22</b>
<b>8 DIMENSIONAMENTO DO FPK – 2D X 3D</b>	<b>24</b>
<b>9 CONCLUSÃO</b>	<b>25</b>
<b>10 REFERÊNCIAS</b>	<b>25</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O cálculo para dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural pode ser apresentado por diversas metodologias de cálculo.

Alguns métodos buscam a simplificação de suas equações, a fim de apresentarem resultados que são seguros, mas que, podem divergir do comportamento real da estrutura, levando a um dimensionamento, às vezes, inadequado.

Outros métodos de cálculo, podem se apresentar mais complexo para a elaboração do modelo, mas apresentam resultados mais próximos do comportamento real da estrutura, e por sua vez, prover uma melhor eficiência no seu dimensionamento.

Este trabalho se limita por estudar os efeitos das ações horizontais, por apresentarem resultados com maiores divergência de valores, de acordo com a metodologia de cálculo adotada, em relação, aos efeitos das ações verticais, que não apresentam grandes distorções com relação à metodologia de cálculo adotada.

Iremos demonstrar duas metodologias para cálculo dos carregamentos horizontais que incidem em um edifício em alvenaria estrutural.

A primeira metodologia elabora um modelo de pórticos em 2D, ou seja, os pórticos de cálculo são definidos para cada eixo do plano (X,Y).

A segunda metodologia elabora um modelo que reflete a maquete do edifício em 3D (X,Y,Z), ou seja, todas as condições de contorno são consideradas, contribuindo entre si, para a absorção dos esforços simultâneos oriundos das ações horizontais incidentes nos planos (Z,X) e (Z,Y).

Com os resultados fornecidos por cada método de cálculo, apresentaremos uma tabela comparativa dos carregamentos encontrados e faremos o dimensionamento da parede mais carregada apresentada por cada método de cálculo, para melhor evidenciar a divergência dos resultados.

## **2 OBJETIVO**

O principal objetivo deste trabalho é de demonstrar a divergência de resultados dos carregamentos apresentados entre uma metodologia de cálculo mais simplificada, de outra, mais elaborada, para às ações horizontais incidentes em um edifício em alvenaria estrutural.

Trata-se de um estudo comparativo, aplicando duas metodologias de cálculo para a análise estrutural destes tipos de edificações executadas em grande escala em nosso país.

## **3 REVISÃO DA LITERATURA**

Este tema já foi abordado na seguinte monografia de mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo:

NASCIMENTO NETO, J. A. Investigação das solicitações de cisalhamento em edifícios de alvenaria estrutural submetidos a ações horizontais. São Carlos, 1999. 127p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A monografia citada estudou minuciosamente as solicitações de cisalhamento nas paredes de edifícios em alvenaria estrutural submetidos a ações horizontais, através de dois modelos adotados para análise: o Modelo de Barras Isoladas e o Modelo de Pórtico Tridimensional.

Neste trabalho estaremos apresentando além das solicitações de cisalhamento, também as solicitações axiais e de momentos fletores, através dos seguintes modelos para análise: Modelo de Pórticos Bidimensional e o Modelo de Pórticos Tridimensional.

Esperamos trazer a luz da engenharia, evidências de que a aplicação de um modelo mais elaborado como o de Pórtico Tridimensional, pode-se obter ganhos consideráveis na eficiência do dimensionamento da alvenaria estrutural, vindo a atender o real comportamento da estrutura sob os efeitos das ações horizontais.

## **4 INFORMAÇÕES DO PAVIMENTO TIPO DO EDIFÍCIO ADOTADO COMO EXEMPLO**

A planta do pavimento tipo do edifício adotado como exemplo para definição das ações horizontais foi estudada na disciplina: Análise de Alvenaria Estrutural, no 2º semestre do ano de 2015, no curso de Especialização de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais e ministrada pelo professor Roberto Márcio dos Santos, orientador deste trabalho.

### **4.1 Plantas**

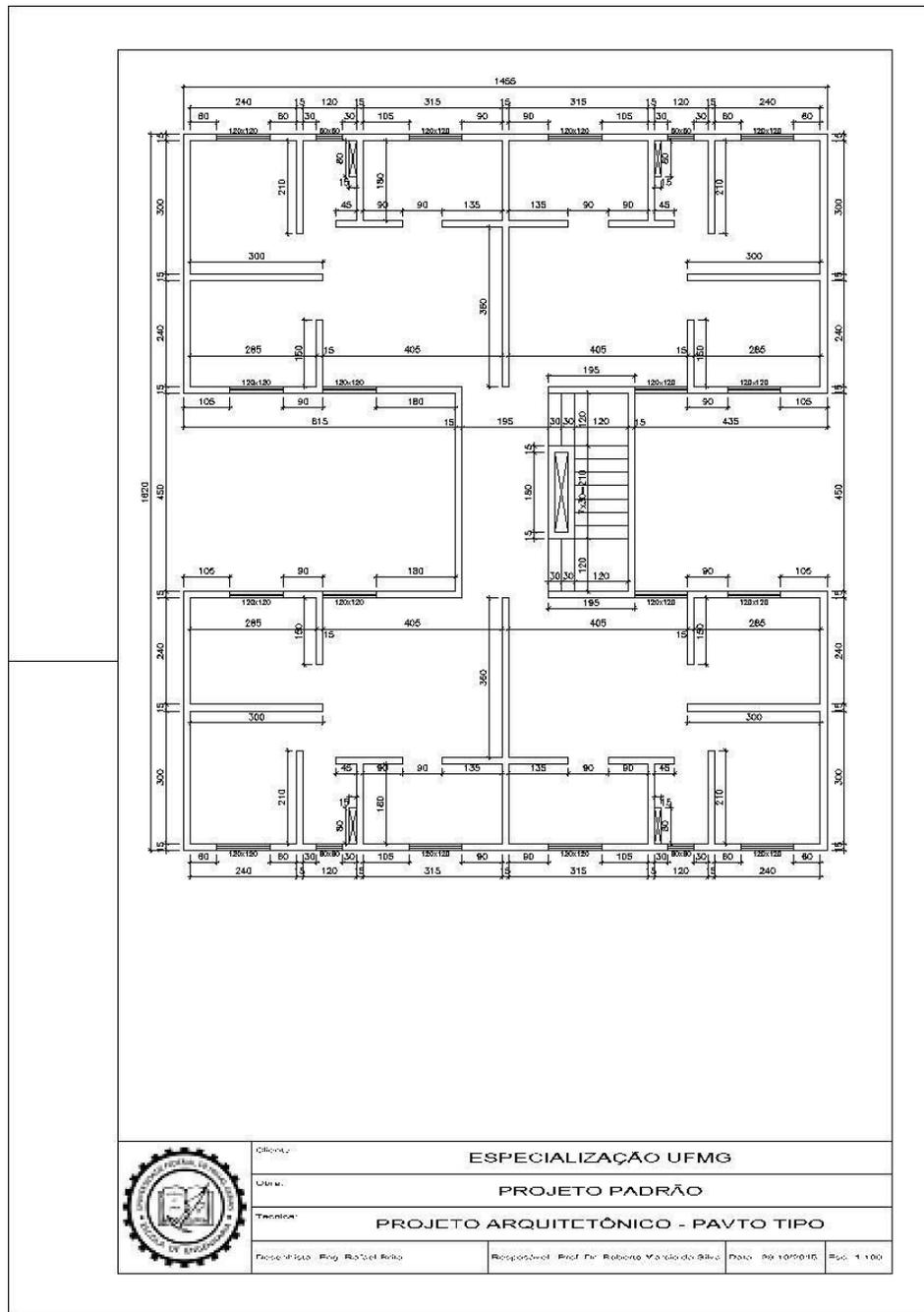


FIGURA 1 – Planta Arquitetônica do Pavimento Tipo

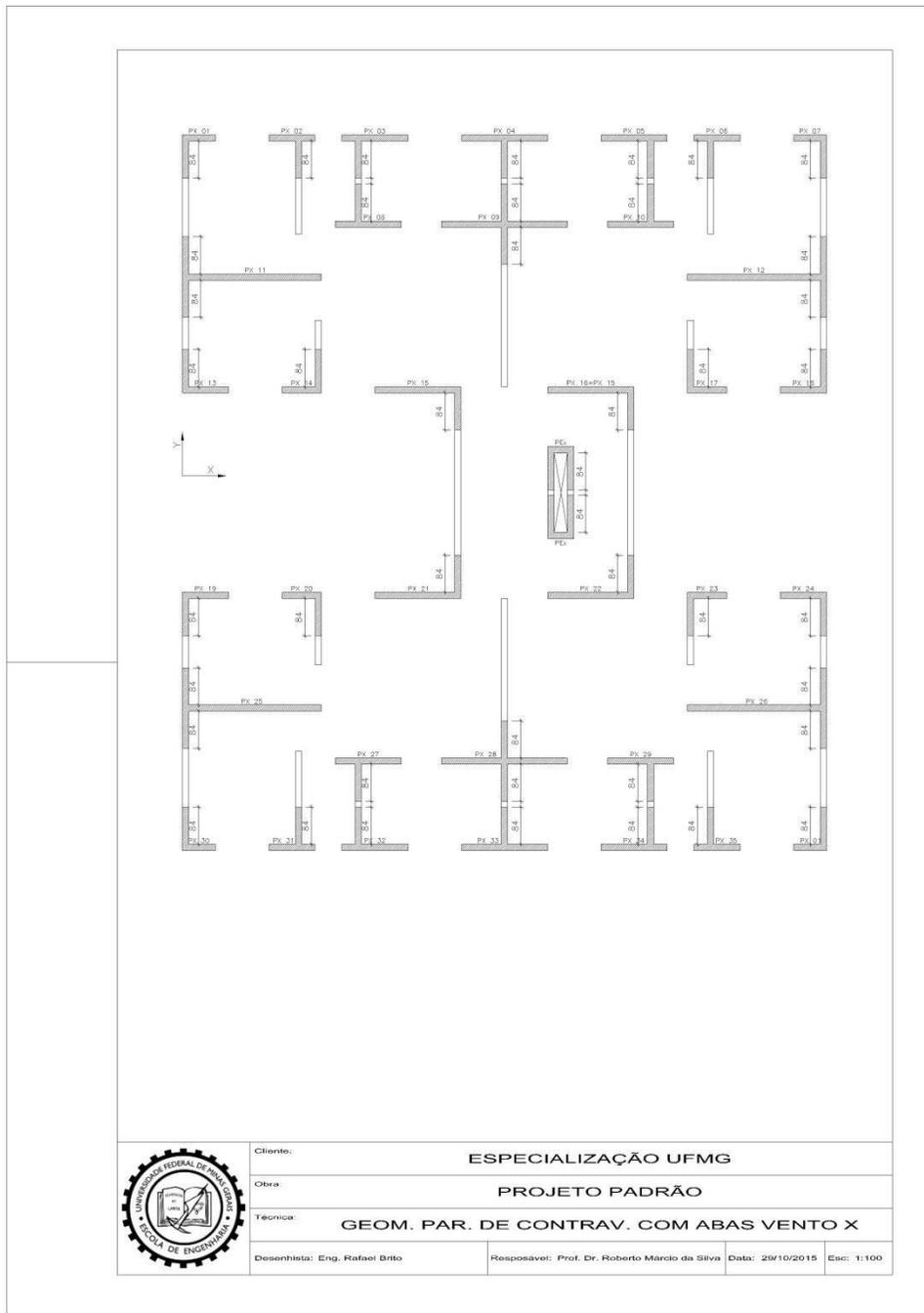


FIGURA 2 – Paredes de Contraventamento com ABAS em X.

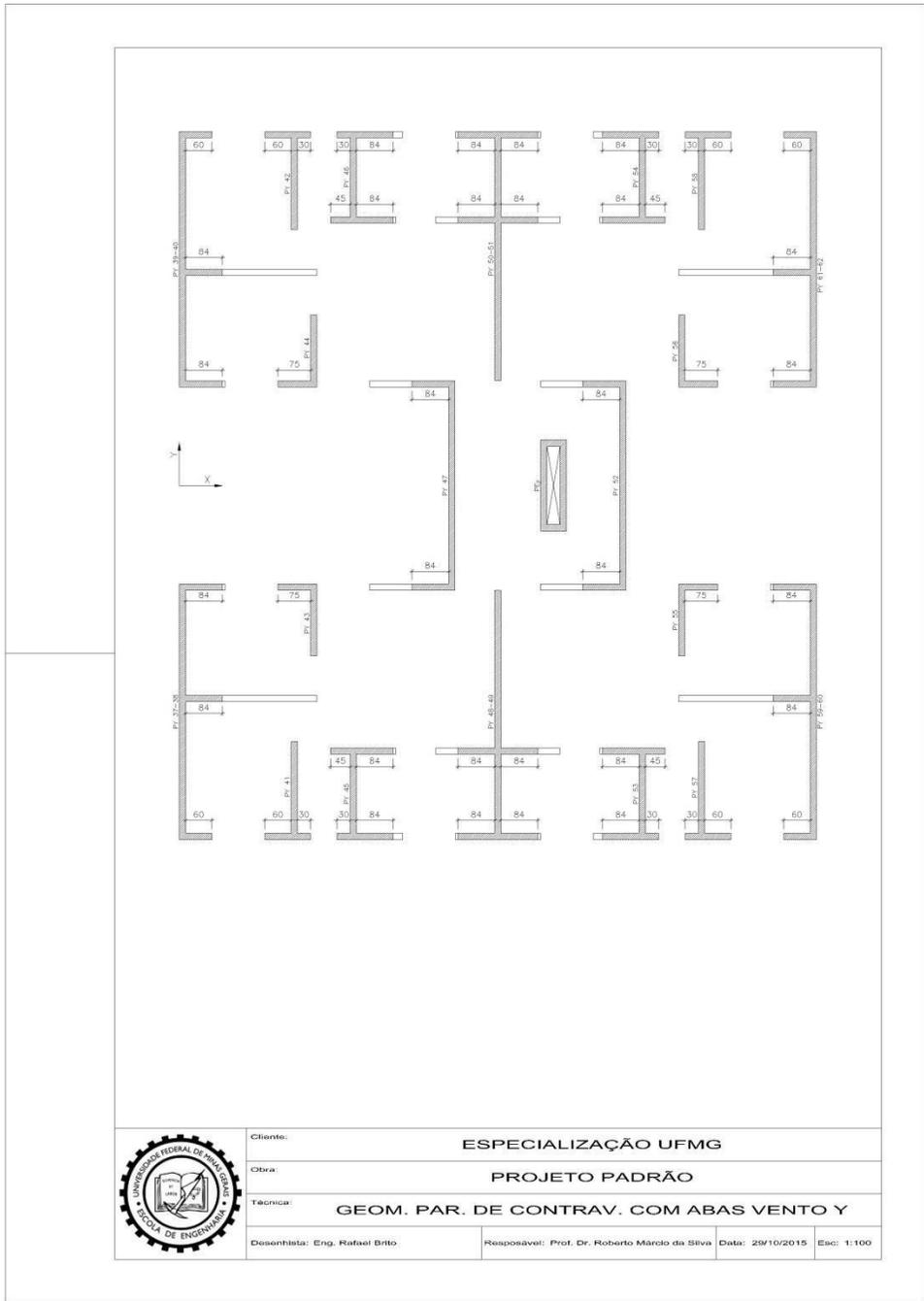


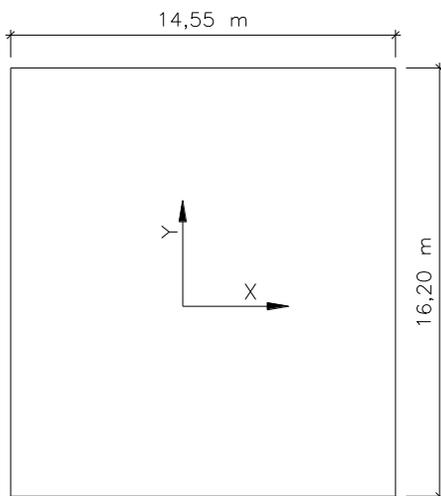
FIGURA 3 – Paredes de Contraventamento com ABAS em Y.

## 4.2 Dados Adicionais

Edifício cujo projeto arquitetônico está representado na figura 1, situado em terreno plano no centro de Belo Horizonte, a ser construído em alvenaria estrutural com bloco de concreto de 14 cm de espessura.

- 10 Pavimentos.
- 2,9 m de Pé – direito.
- 10,0 cm de espessura da laje.
- Velocidade do Vento = 30 m/s (Mapa de Isopletras – NBR 6123).

## 4.3 Cálculo do Vento



$h = 10 \text{ pavimentos} = 10 \times 2,90 \text{ m} = 29,0 \text{ m}$  cidade de

Belo horizonte  $\rightarrow V_0 = 30 \text{ m/s}$  bairro Ouro Preto  $\rightarrow$

grande centro urbano terreno categoria IV

terreno plano  $\rightarrow$  fator topográfico  $S_1 = 1,00$  edifício

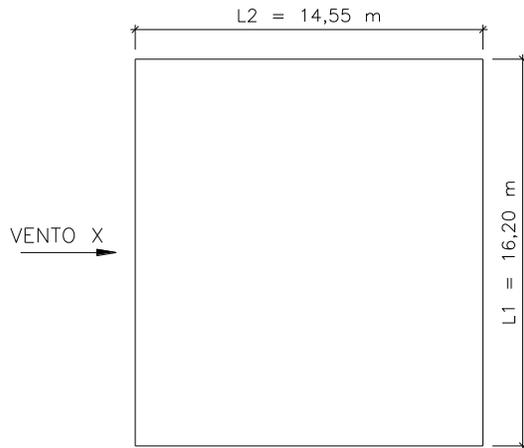
residencial  $\rightarrow$  fator estatístico  $S_3 =$

1,00

vento de alta turbulência pois

$H_{\text{edifício vizinhos}} = H_{\text{edifício}} / 2$

#### 4.2.1 Vento na Direção X



dimensão entre 20 m e 50 m)

$$\frac{l1}{l2} = \frac{16,20 \text{ m}}{14,55 \text{ m}} = 1,79$$

→ Ábaco NBR 6123 → Vento de alta turbulência

$$C_{ax} = 0,97$$

$$F_{ax} = C_{ax} \times q \times A_{sx}$$

$$q = 0,613 \times V_k^2$$

$$V_k = S_1 \times S_2 \times S_3 \times V_0$$

Como  $S_1$  e  $S_3$  são iguais a 1,00, o valor de  $V_k$ , ficará em função do valor de  $S_2$ , tabelado abaixo.

Classe da edificação = B → (maior

Categoria do edifício = IV → (grande centro urbano)

Pavimento	Altura	$S_2$	Pavimento	Altura	$S_2$
1°	2,90	0,72	6°	17,40	0,78
2°	5,80	0,72	7°	20,30	0,80
3°	8,70	0,72	8°	23,20	0,82
4°	11,60	0,73	9°	26,10	0,83
5°	14,50	0,76	10°	29,00	0,85

Em seguida monta-se uma tabela com os valores de  $F_{ax}$

$$V_0 = 30 \text{ m/s}$$

$$F_{ax} = C_{ax} \times q \times A_{sx}$$

$$A_{sx} = 16,20 \text{ m} \times 2,90 \text{ m (por pavimento)} = 46,98 \cong 47 \text{ m}^2$$

$$F_{ax} = 0,97 \times q \times 47$$

$$V_k = 1,00 \times S_2 \times 1,00 \times 30 \text{ m/s} \rightarrow V_k = 30 \times S_2$$

$$F_{ax} = 45,6 \times q$$

$$q = 0,613 \times (30 \times S_2)^2$$

#### 4.2.2 Vento na direção Y

Tabelando os valores para vento atuando da

L1 = 14,55 m					l1 = 14,55 m = 0,89			
Pavto	Altura [m]	S2	Vk [m/s]	q = 0,613 × V <sub>k</sub> <sup>2</sup> [N/m <sup>2</sup> ]	V <sub>k</sub> = S1 × S2 × 16,1 × V0	Cax × q	Fay = Cay × q × Asy	Asy
10	29,00	0,85	25,50	399	Vk = 1,0018,32 × 1,00 × 30 m/s → 13,3	18,2	Fay = 0,94 × q × 42,2	42,2
9	26,10	0,83	24,90	380	14,5 = 30 × S2	17,3		
8	23,20	0,82	24,60	371	Asy = 14,55 m × 2,90 m / pavto = 42,2 m <sup>2</sup>	16,9		
7	20,30	0,80	24,00	353		16,1		
6	17,40	0,78	23,40	336		15,3		
5	14,50	0,76	22,80	319		14,5		
4	11,60	0,73	21,90	294		13,4		
3	8,70	0,72	21,60	286		13,0		
2	5,80	0,72	21,60	286		13,0		
1	2,90	0,72	21,60	286		13,0		
					Fay = 39,67 × q			

direção de x e y temos:

#### 4.4 Cálculo do Desaprumo

$$\Phi = \frac{1}{100 \times \sqrt{H}} \text{ em radianos}$$

$$\Phi = \frac{1}{100 \times \sqrt{29}} = 0,00185 \text{ rad}$$

$$F_{desaprumo} = \Delta P \times \Phi$$

$$\Delta P = \text{Peso do Pavimento}$$

$$= 1703,08 \text{ kN (somatório do peso de todos os grupos)}$$

$$F_{desaprumo} = \Delta P \times \Phi = 1703,08 \text{ kN} \times 0,00185 = 3,16 \text{ kN}$$

$$F_{desaprumo} = 3,16 \text{ kN/pavto}$$

#### 4.5 Resumo das Ações Horizontais

Esforços Devido a Vento							Desaprumo	Esforços Totais (Vento + Desaprumo)	
								Direção X	Direção Y
Pavto	Altura [m]	S <sub>2</sub>	V <sub>k</sub> [m/s]	q [N/m <sup>2</sup> ]	F <sub>ax</sub> [kN]	F <sub>ay</sub> [kN]	F <sub>d</sub> [kN]	F <sub>x</sub> = F <sub>ax</sub> + F <sub>d</sub> [kN]	F <sub>y</sub> = F <sub>ay</sub> + F <sub>d</sub> [kN]
10	29,00	0,85	25,50	399	18,2	15,8	3,16	21,33	18,97
9	26,10	0,83	24,90	380	17,3	15,1	3,16	20,48	18,24
8	23,20	0,82	24,60	371	16,9	14,7	3,16	20,07	17,88
7	20,30	0,80	24,00	353	16,1	14,0	3,16	19,25	17,17
6	17,40	0,78	23,40	336	15,3	13,3	3,16	18,46	16,48
5	14,50	0,76	22,80	319	14,5	12,6	3,16	17,68	15,80
4	11,60	0,73	21,90	294	13,4	11,7	3,16	16,56	14,82
3	8,70	0,72	21,60	286	13,0	11,3	3,16	16,20	14,51
2	5,80	0,72	21,60	286	13,0	11,3	3,16	16,20	14,51
1	2,90	0,72	21,60	286	13,0	11,3	3,16	16,20	14,51

## 5 MÉTODO DE MODELAGEM 2D

O método de modelagem 2D de um edifício em alvenaria estrutural pode ser desenvolvido por um programa que calcule pórticos planos, neste caso, foi utilizado o “Ftool” da TECGRAF.

Considerando a associação plana dos painéis de alvenaria com aberturas tipo pórticos, teremos um deslocamento transversal equivalente de todos os nós, representando, coerentemente, o comportamento de diafragma rígido da laje, conforme ilustrado na figura 4.

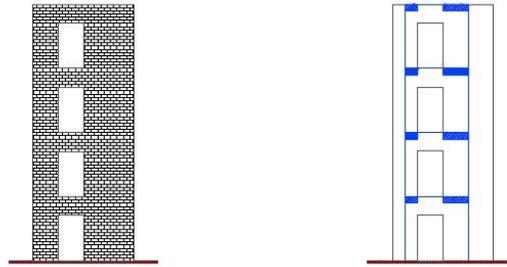


FIGURA 4 – Associação Plana de Painéis de Contraventamento.

É importante, para a rigidez das paredes, a contribuição das abas, que alteram de forma realista os trechos solidários aos painéis de contraventamento, conforme representado na figura 5.

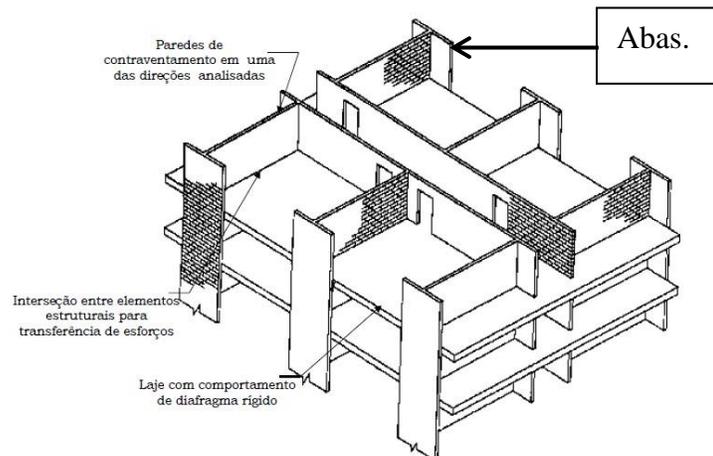


FIGURA 5 – Sistema de Painéis de Contraventamento.

Estaremos considerando nos nossos cálculos que as paredes em X e Y terão suas rigidezes com a colaboração das abas.

Para as paredes em X as aberturas provenientes de portas ou janelas serão consideradas como lintéis semirrígidos.

Para as paredes em Y não há aberturas.

## 5.1 Ftool

### 5.1.1 Ações na direção X

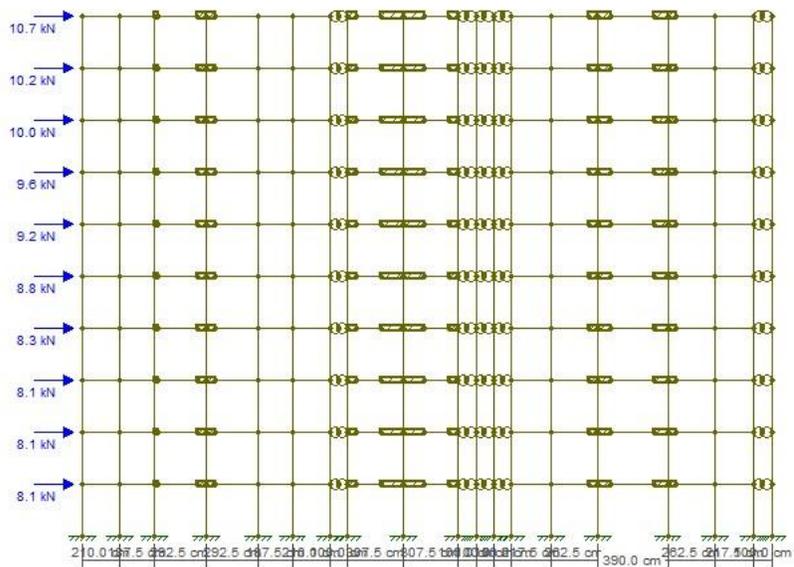


FIGURA 6 – Pórticos associados modelados no Ftool submetidos às ações horizontais na direção X.

### 5.1.2 Ações na direção Y

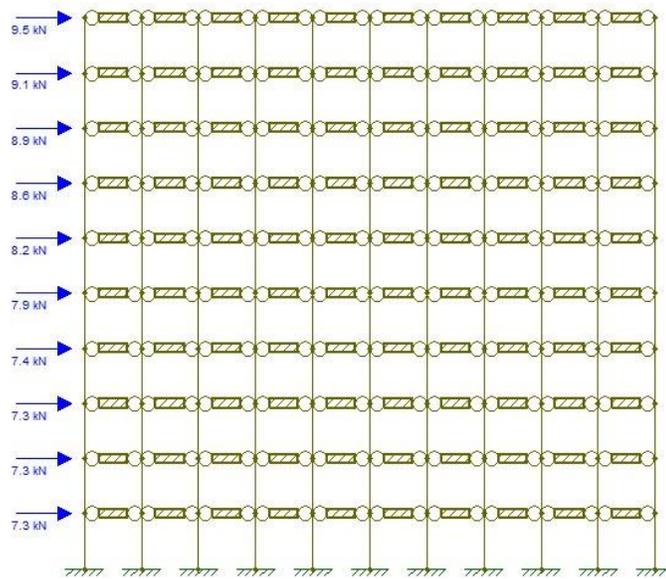


FIGURA 7 – Pórticos associados modelados no Ftool submetidos às ações horizontais na direção Y.

Observa-se no modelo do Ftool (FIGURAS 6 e 7) que as ações horizontais estão com os valores pela metade dos apresentados na tabela de resumo das ações horizontais, item 4.5. Foi feita esta consideração devido à simetria existente do pavimento tipo em ambos os eixos: X e Y, que possibilita a modelagem, somente, da metade dos pórticos associados em cada direção.

### 5.1.3 Tabela de Tensões em X - Ftool

VENTO ATUANDO DIREÇÃO X																
COM ABA																
COM ABERTURA																
LINTÉIS SEMI-RÍGIDOS																
Parede	Reações Devido a Ações Verticais		Reações Devido a Ações Horizontais								Resumo de Tensões					
	Grupo	Tensão Vertical [Mpa] (Grupos Isolados.)	Inércia Y-Y [m <sup>4</sup> ]	Inércia Relativa	Normal [kN]	Cortante [kN]	Momento [kN.m]	Área p/ Normal [m <sup>2</sup> ]	Área p/ Cis. [m <sup>2</sup> ]	X <sub>eq.</sub> [m]	X <sub>dir.</sub> [m]	Tensão Normal Ação Vertical [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal [Mpa]	Tensão Cisalha. [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal À Esquerda [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal À Direita [Mpa]
PX 01	01	0.82	0.0100	0.21%	24.30	1.00	1.88	0.221	0.104	0.211	0.529	0.82	0.11	0.010	0.04	0.10
PX 02	02	1.01	0.0150	0.31%	23.30	1.70	3.01	0.263	0.146	0.587	0.453	1.01	0.09	0.012	0.12	0.09
PX 03	03	0.97	0.0490	1.02%	20.20	4.80	9.17	0.326	0.209	0.610	0.880	0.97	0.06	0.023	0.11	0.16
PX 04	04	1.08	0.0850	1.77%	0.00	7.30	14.91	0.389	0.272	0.970	0.970	1.08	0.00	0.027	0.17	0.17
PX 08	03	0.97	0.0430	0.89%	28.50	2.40	6.27	0.326	0.209	0.664	0.826	0.97	0.09	0.012	0.10	0.12
PX 09	04	1.08	0.2680	5.58%	0.00	10.50	34.82	0.633	0.398	1.420	1.420	1.08	0.00	0.026	0.18	0.18
PX 11	01	0.82	0.7060	14.69%	0.00	16.90	81.44	0.675	0.440	1.047	2.093	0.82	0.00	0.038	0.12	0.24
PX 13	01	0.82	0.0260	0.54%	25.10	1.90	4.25	0.263	0.146	0.319	0.721	0.82	0.10	0.013	0.05	0.12
PX 14	05	1.23	0.0170	0.35%	9.30	1.80	3.34	0.242	0.125	0.627	0.263	1.23	0.04	0.014	0.12	0.05
PX 15	06	1.11	0.1520	3.16%	16.70	6.60	20.44	0.389	0.272	1.242	0.698	1.11	0.04	0.024	0.17	0.09
PEX	Escada	0.81	0.0140	0.29%	0.00	0.30	1.62	0.316	0.081	0.290	0.290	0.81	0.00	0.004	0.03	0.03

### 5.1.4 Tabela de Tensões em Y - Ftool

VENTO ATUANDO DIREÇÃO Y																
COM ABA																
SEM ABERTURA																
Parede	Reações Devido a Ações Verticais		Reações Devido a Ações Horizontais								Resumo de Tensões					
	Grupo	Tensão Vertical [Mpa] (Grupos Isolados.)	Inércia Y-Y [m <sup>4</sup> ]	Inércia Relativa	Normal [kN]	Cortante [kN]	Momento [kN.m]	Área p/ Normal [m <sup>2</sup> ]	Área p/ Cis. [m <sup>2</sup> ]	Y <sub>sup.</sub> [m]	Y <sub>int.</sub> [m]	Tensão Normal Ação Vertical [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal [Mpa]	Tensão Cisalha. [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal À Esquerda [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal À Direita [Mpa]
PY 39-40	01	0.82	3.9570	12.51%	0.00	20.37	341.46	1.137	0.818	3.035	2.805	0.82	0.00	0.025	0.26	0.24
PY 42	02	1.01	0.2300	0.73%	0.00	1.18	19.85	0.440	0.314	0.819	1.421	1.01	0.00	0.004	0.07	0.12
PY 44	05	1.23	0.0920	0.29%	0.00	0.47	7.94	0.335	0.230	1.055	0.585	1.23	0.00	0.002	0.09	0.05
PY 46	03	0.97	0.4300	1.36%	0.00	2.21	37.11	0.633	0.293	1.077	1.013	0.97	0.00	0.008	0.09	0.09
PY 47	06	1.11	2.5540	8.07%	0.00	13.15	220.39	0.906	0.671	2.395	2.395	1.11	0.00	0.020	0.21	0.21
PY 50-51	04	1.08	3.5550	11.24%	0.00	18.30	306.77	1.267	0.797	2.177	3.513	1.08	0.00	0.023	0.19	0.30
PEY	Escada	0.81	0.2890	0.91%	0.00	1.49	24.94	0.666	0.291	1.040	1.040	0.81	0.00	0.005	0.09	0.09

## 6 MÉTODO DE MODELAGEM 3D

O método de modelagem 3D, como o próprio nome sugere, considera a discretização das paredes de contraventamento como elementos de barra tridimensional.

Este método de modelagem é o que melhor representa o comportamento global da estrutura, fornecendo dados mais precisos.

Todas as paredes da planta do pavimento tipo são modeladas como barras flexíveis e conectadas por barras horizontais rígidas, sendo que, nos trechos de lintéis, as barras também são consideradas flexíveis.

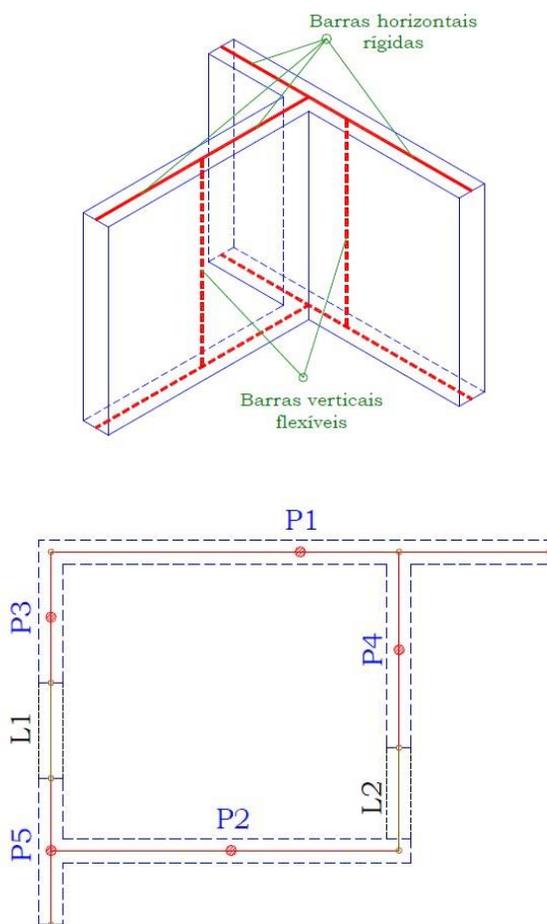


FIGURA 8 – Exemplo para modelagem das paredes em 3D.

Geralmente, não se consideram as abas ou flanges nas seções das paredes, mas neste estudo, a fim de se utilizar os mesmos dados geométricos das seções das barras aplicadas para a modelagem bidimensional, consideramos a colaboração das abas e as respectivas excentricidades geradas.

Utilizamos o software “SAP 2000, versão 17” para modelagem do edifício.

## 6.1 Sap2000

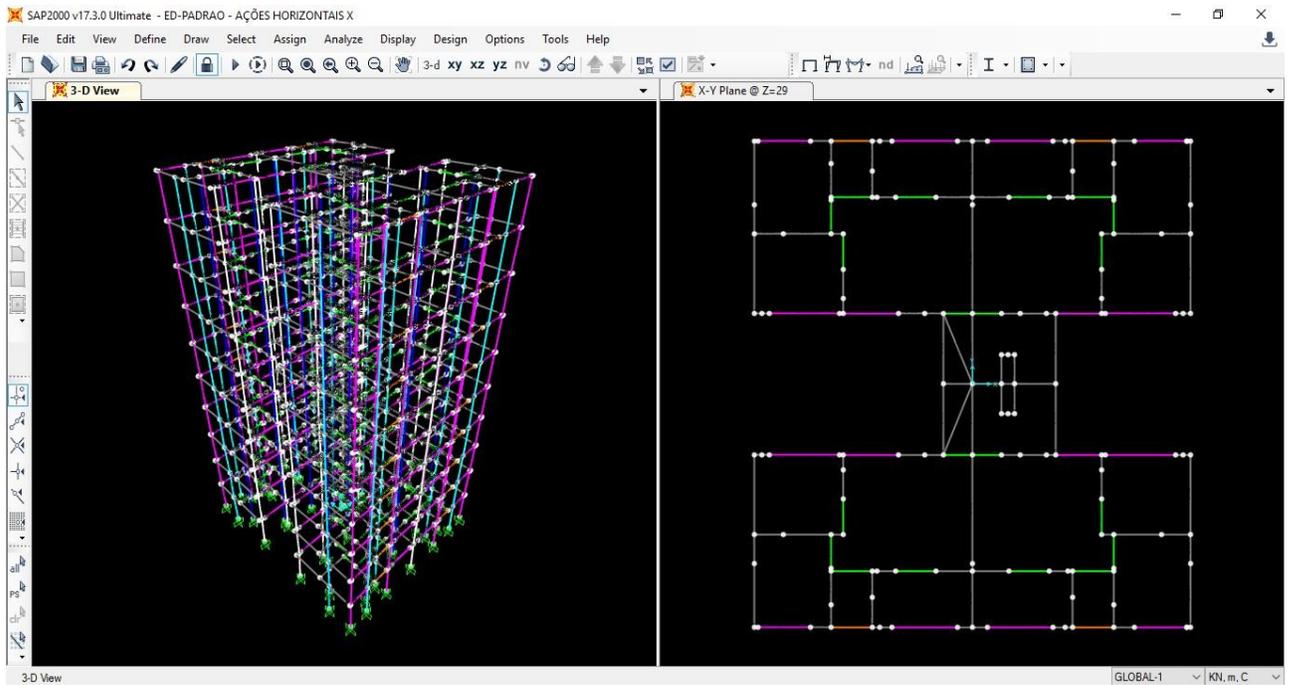


FIGURA 9 – Modelo do edifício.

### 6.1.1 Elevação Deformada na direção X

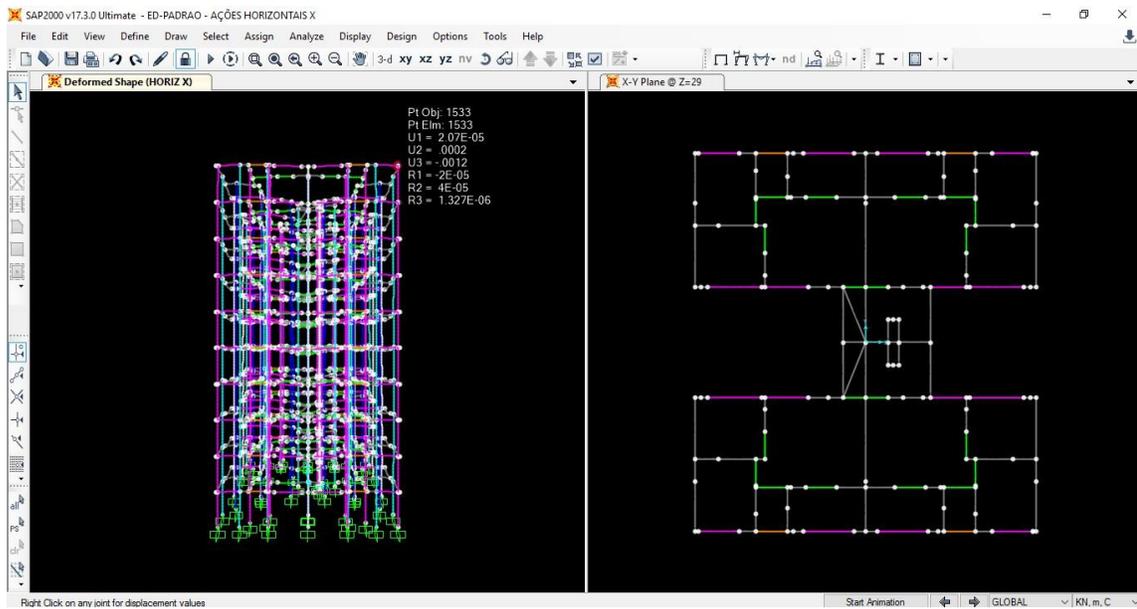


FIGURA 10 – Deslocamento para vento em X

### 6.1.2 Elevação Deformada na direção Y

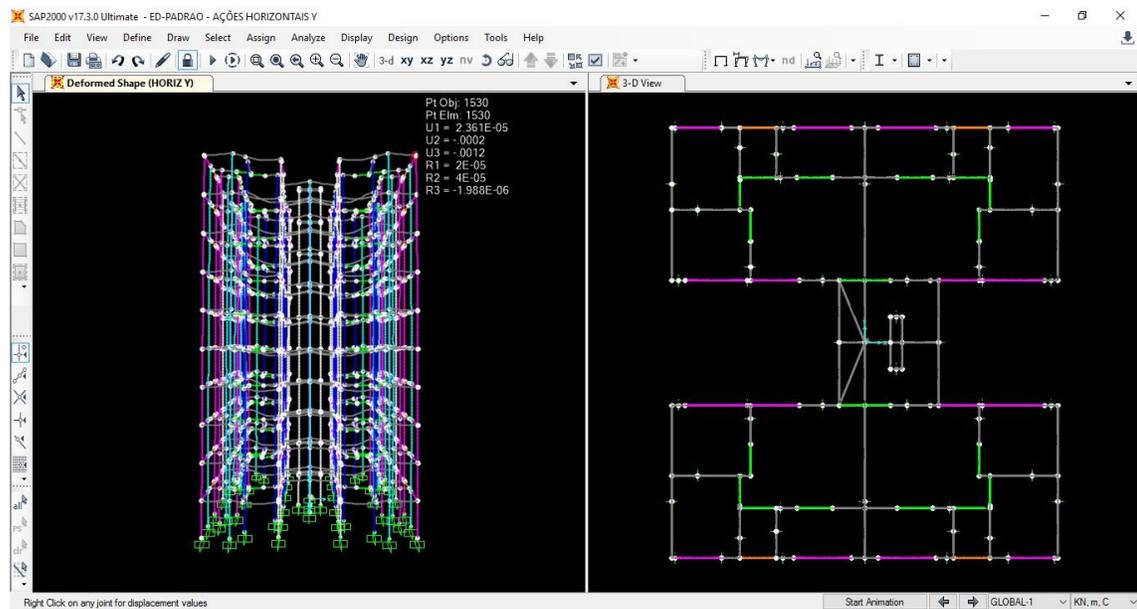


FIGURA 11 – Deslocamento para vento em Y

### 6.1.3 Tabela de Tensões X – Sap2000

VENTO ATUANDO DIREÇÃO X - SAP2000																
COM ABA																
COM ABERTURA																
LINTÉIS SEMI-RÍGIDOS																
Parede	Reações Devido a Ações Verticais		Reações Devido a Ações Horizontais					Resumo de Tensões								
	Grupo	Tensão Vertical [Mpa] (Grupos Isolados)	Inércia Y-Y [m <sup>4</sup> ]	Inércia Relativa	Normal [kN]	Cortante [kN]	Momento [kN.m]	Área p/ Normal [m <sup>2</sup> ]	Área p/ Cis. [m <sup>2</sup> ]	X <sub>sup.</sub> [m]	X <sub>inf.</sub> [m]	Tensão Normal Ação Vertical [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal [Mpa]	Tensão Cisalha. [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal À Esquerda [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal À Direita [Mpa]
PX 01	01	0.00	0.0100	0.21%	443.13	0.99	0.10	0.221	0.104	0.211	0.529	0.00	2.01	0.010	0.00	0.01
PX 02	02	0.00	0.0150	0.31%	472.76	1.51	0.07	0.263	0.146	0.587	0.453	0.00	1.80	0.010	0.00	0.00
PX 03	03	0.00	0.0490	1.02%	594.15	1.88	0.10	0.326	0.209	0.610	0.880	0.00	1.82	0.009	0.00	0.00
PX 04	04	0.00	0.0850	1.77%	695.57	1.30	0.03	0.389	0.272	0.970	0.970	0.00	1.79	0.005	0.00	0.00
PX 08	03	0.00	0.0430	0.89%	668.31	5.64	0.22	0.326	0.209	0.664	0.826	0.00	2.05	0.027	0.00	0.00
PX 09	04	0.00	0.2680	5.58%	696.35	0.96	0.05	0.633	0.398	1.420	1.420	0.00	1.10	0.002	0.00	0.00
PX 11	01	0.00	0.7060	14.69%	1428.05	8.44	3.65	0.675	0.440	1.047	2.093	0.00	2.12	0.019	0.01	0.01
PX 13	01	0.00	0.0260	0.54%	744.67	4.44	2.48	0.263	0.146	0.319	0.721	0.00	2.83	0.030	0.03	0.07
PX 14	05	0.00	0.0170	0.35%	547.64	0.57	0.09	0.242	0.125	0.627	0.263	0.00	2.26	0.005	0.00	0.00
PX 15	06	0.00	0.1520	3.16%	1630.08	0.90	2.58	0.389	0.272	1.242	0.698	0.00	4.19	0.003	0.02	0.01
PEX	Escada	0.00	0.0140	0.29%	772.57	0.95	0.05	0.316	0.081	0.290	0.290	0.00	2.44	0.012	0.00	0.00

6.1.4 Tabela de Tensões Y – Sap2000

VENTO ATUANDO DIREÇÃO Y - SAP2000																
COM ABA																
SEM ABERTURA																
Parede	Reações Devido a Ações Verticais		Reações Devido a Ações Horizontais					Resumo de Tensões								
	Grupo	Tensão Vertical [Mpa] (Grupos Isolados)	Inércia Y-Y [m <sup>4</sup> ]	Inércia Relativa	Normal [kN]	Cortante [kN]	Momento [kN.m]	Área p/ Normal [m <sup>2</sup> ]	Área p/ Cis. [m <sup>2</sup> ]	Y <sub>sup.</sub> [m]	Y <sub>inf.</sub> [m]	Tensão Normal Ação Vertical [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal [Mpa]	Tensão Cisalha. [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal À Esquerda [Mpa]	Tensão Normal Ação Horizontal À Direita [Mpa]
PY 39-40	01	0.00	3.9570	12.51%	1751.90	4.64	1.68	1.137	0.818	3.035	2.805	0.00	1.54	0.006	0.00	0.00
PY 42	02	0.00	0.2300	0.73%	861.05	3.94	1.59	0.440	0.314	0.819	1.421	0.00	1.96	0.013	0.01	0.01
PY 44	05	0.00	0.0920	0.29%	833.17	3.23	0.41	0.335	0.230	1.055	0.585	0.00	2.49	0.014	0.00	0.00
PY 46	03	0.00	0.4300	1.36%	1078.36	5.22	0.32	0.633	0.293	1.077	1.013	0.00	1.70	0.018	0.00	0.00
PY 47	06	0.00	2.5540	8.07%	3053.77	17.26	0.24	0.906	0.671	2.395	2.395	0.00	3.37	0.026	0.00	0.00
PY 50-51	04	0.00	3.5550	11.24%	2361.27	18.78	2.77	1.267	0.797	2.177	3.513	0.00	1.86	0.024	0.00	0.00
PEY	Escada	0.00	0.2890	0.91%	1719.85	21.11	0.07	0.666	0.291	1.040	1.040	0.00	2.58	0.072	0.00	0.00

## 7 TABELA COMPARATIVA DE RESULTADOS 2D X 3D

	Reações das Ações Horizontais	Resumo de Tensões
--	-------------------------------	-------------------

PAREDE	Normal (kN)		Cortante (kN)		Momento (kN.m)		Tensão Normal (MPa)		Tensão Cisalhamento (MPa)		Tensão Flexão (MPa)	
	2D	3D	2D	3D	2D	3D	2D	3D	2D	3D	2D	3D
PX01	24.30	443.13	1.00	0.99	1.88	0.10	0.11	2.01	0.010	0.010	0.100	0.005
PX02	23.30	472.76	1.70	1.51	3.01	0.07	0.09	1.80	0.012	0.010	0.120	0.003
PX03	20.20	594.15	4.80	1.88	9.17	0.10	0.06	1.82	0.023	0.009	0.160	0.002
PX04	0.00	695.57	7.30	1.30	14.91	0.03	0.00	1.79	0.027	0.005	0.170	0.000
PX08	28.50	668.31	2.40	5.64	6.27	0.22	0.09	2.05	0.012	0.027	0.120	0.004
PX09	0.00	696.35	10.50	0.96	34.82	0.05	0.00	1.10	0.026	0.002	0.180	0.000
PX11	0.00	1428.05	16.90	8.44	81.44	3.65	0.00	2.12	0.038	0.019	0.240	0.011
PX13	25.10	744.67	1.90	4.44	4.25	2.48	0.10	2.83	0.013	0.030	0.120	0.069
PX14	9.30	547.64	1.80	0.57	3.34	0.09	0.04	2.26	0.014	0.005	0.120	0.003
PX15	16.70	1630.08	6.60	0.90	20.44	2.58	0.04	4.19	0.024	0.003	0.170	0.021
PEX	0.00	772.57	0.30	0.95	1.62	0.05	0.00	2.44	0.004	0.012	0.030	0.001
PY39	0.00	1751.90	20.37	4.64	341.46	1.68	0.00	1.54	0.025	0.006	0.260	0.001
PY42	0.00	861.05	1.18	3.94	19.85	1.59	0.00	1.96	0.004	0.013	0.120	0.010
PY44	0.00	833.17	0.47	3.23	7.94	0.41	0.00	2.49	0.002	0.014	0.090	0.005
PY46	0.00	1078.36	2.21	5.22	37.11	0.32	0.00	1.70	0.008	0.018	0.090	0.001
PY47	0.00	3053.77	13.15	17.26	220.39	0.24	0.00	3.37	0.020	0.026	0.210	0.000
PY50	0.00	2361.27	18.30	18.78	306.77	2.77	0.00	1.86	0.023	0.024	0.300	0.003
PEY	0.00	1719.85	1.49	21.11	24.94	0.07	0.00	2.58	0.005	0.072	0.090	0.000

## 8 Dimensionamento do fpk – 2D x 3D

O que se observou foi uma diferença do comportamento global da estrutura para cada método.

### 8.1 fpk 2D

Para a Metodologia de Cálculo 2D a reação predominante que conduziria ao dimensionamento da alvenaria seria a de momento (parede PY39).

Dimensionando o fpk da alvenaria a partir da tensão de flexão da parede PY39 temos:

$$\frac{Sd,comp.simples}{Rd,com.simples} + \frac{Sd,flexão compressão}{Rd,flexão compressão} \leq 1$$

*Sd, com. Simples = 0 → que a 1ª parcela se anula. (Desconsiderando para a análise as cargas gravitacionais)*

$$Sd, flexão compressão = 1,4 \times 0,260 = 0,364 \text{ MPa}$$

$$Rd, flexão compressão = \frac{1,5 \times 0,7 \times fpk}{2,0} = 0,525fpk$$

$$\frac{0,364}{0,525fpk} \leq 1 \rightarrow fpk \geq 0,693 \text{ MPa}$$

### 8.2 fpk 3D

Agora, para a metodologia de cálculo 3D, a reação predominante que conduziria ao dimensionamento da alvenaria seria a normal (parede PY47).

Dimensionando o fpk da alvenaria a partir da tensão normal da parede PY47 temos:

*Sd, com. Simples = 1,4 \times 3,37 = 4,72 MPa (Desconsiderando para a análise as cargas gravitacionais)*

$$Rd, compressão simples = \frac{0,7 \times fpk \times Red}{2,0}$$

$$Red = 1 - \left(\frac{h}{40xt}\right)^3 = 1 - \left(\frac{2,9}{40 \times 0,14}\right)^3 = 0,861$$

$$Rd, compressão simples = \frac{0,7 \times fpk \times 0,861}{2,0}$$

$$\frac{Sd,comp.simples}{Rd,com.simples} \leq 1 \rightarrow \frac{4,72}{0,301fpk} \leq 1 \rightarrow fpk \geq 15,663 \text{ MPa}$$

## **9 CONCLUSÃO**

Foi observado que no Modelo 3D apresentou reações axiais nas paredes consideráveis em função das ações horizontais, o que não ocorreu nas paredes do Modelo 2D no sentido do eixo Y, ou seja, para o Modelo 2D as reações axiais ocorreriam em função das cargas gravitacionais somente.

Lembramos que o sistema 2D considera os pórticos planos, ou seja, em linha para todas as seções, considerando os mesmos deslocamentos por nível de diafragma.

O Modelo 3D considera todos os desalinhamentos dos baricentros das paredes, leva em conta a flexibilidade da laje na região dos lintéis, mesmo considerando os mesmos semirrígidos. Estes deslocamentos dos lintéis e trechos de lajes levam a reações axiais consideráveis, que são somadas as excentricidades do fluxo das tensões que caminha no diagrama da alvenaria real em planta.

Pelos resultados apresentados, o Método de Modelagem 3D pode apresentar um comportamento global da estrutura não previsto costumeiramente para as ações horizontais, do que apresentado pelo Método de Modelagem 2D.

Desta forma, entendemos que se faz necessário, uma modelagem mais apurada, conforme apresentado pelo Método de Modelagem 3D para o dimensionamento adequado da alvenaria estrutural em função das ações horizontais.

## **10 REFERÊNCIAS**

NASCIMENTO NETO, J. A. Investigação das solicitações de cisalhamento em edifícios de alvenaria estrutural submetidos a ações horizontais. São Carlos, 1999. 127p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G.; Comportamento e Dimensionamento de Alvenaria Estrutural. EdUFSCar, 2ª ed. São Carlos: 2013. 625p.