

Análise dinâmica da interação de painéis de concreto pré-moldados com a estrutura principal, em diferentes zonas sísmicas

Castilho, V. C.¹; Fernandes Silva, R. N.^{2*}

¹Doutora em Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil

²Doutora em Mecânica dos Sólidos e Vibrações, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil

**raquelfernandes@ufu.br*

Resumo

O crescimento dos grandes centros urbanos tem criado a necessidade de se construir edificações de maior porte, para atender à demanda populacional concentrada em pequenas áreas e há uma grande tendência em utilizar elementos de concreto pré-moldado na construção das edificações. Este trabalho propõe uma análise dinâmica em sistemas de fechamento realizados por painéis de concreto pré-moldado, empregados como elementos de vedação de edifícios em estruturas de esqueleto, para diferentes zonas sísmicas. Para isso foi realizado uma simulação de uma estrutura de dois andares com fechamento realizado por painéis pré-moldados horizontais com aberturas e realizado a análise modal e a análise de espectro de resposta. Entre outras conclusões foi possível observar que a estrutura sem os painéis pré-moldados de fechamento apresenta frequência menor pois apresenta rigidez menor se comparado com a estrutura com fechamento e ainda verificar que os painéis de fechamento contribuem no enrijecimento da estrutura principal para ações sísmicas.

Palavras-chave: Análise Dinâmica, Painéis de Concreto Pré-moldados, Zonas Sísmicas.

1. INTRODUÇÃO

O território brasileiro possui baixa atividade sísmica por localizar-se no centro de uma placa tectônica. No entanto, isto não significa que o território brasileiro possua inatividade sísmica. O estudo da sismicidade no Brasil, com base científica, começou nos anos 70. Desde esta década, dados sismológicos começaram a ser coletados, a partir de uma importante rede sismológica que foi implantada e que está no momento em operação contínua (SANTOS E SOUZA LIMA, 2006). Os estudos sísmicos no Brasil inicialmente adotavam metodologias empregadas em outros países. Falconi (2003) estudou as diferentes abordagens que as normas sul-americanas apresentam sobre estruturas sísmos resistentes, a partir deste estudo, Santos e Souza Lima (2004) consolidaram um mapa de sismicidade do território brasileiro e no ano de 2005, Santos e Souza Lima expuseram conceitos e informações fundamentais para a elaboração da atual norma brasileira ABNT NBR 15421: 2006 sendo uma das bases de referência para a aprovação da atual norma sísmica.

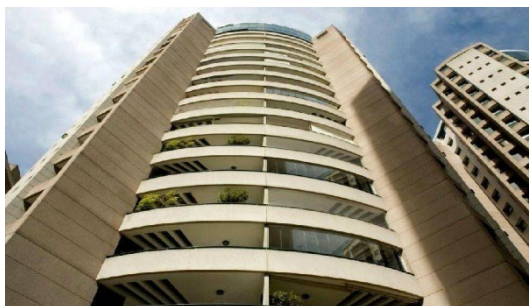
A ABNT NBR 15421: 2006 indica que os efeitos sísmicos não podem ser desconsiderados no Brasil. Com o lançamento da norma brasileira, os estudos no Brasil ganharam mais força, com o intuito de melhor entender a ação sísmica frente às estruturas.

O crescimento dos grandes centros urbanos tem criado a necessidade de se construir edificações de maior porte, para atender à demanda populacional concentrada em pequenas áreas. Atualmente, há uma grande tendência em utilizar elementos de concreto pré-moldado na construção das edificações. Isso se deve à economia de mão-de-obra, materiais e, principalmente, à maior rapidez na construção, alcançada quando o processo da pré-moldagem é aplicado. Assim, edificações mais altas e esbeltas vêm sendo construídas, onde as ações dinâmicas se tornam mais importantes. Segundo Castilho (1998) a pré-moldagem pode ser definida como um processo de execução em que a construção, ou parte dela, é moldada fora do seu local de utilização definitivo. O campo de aplicação das técnicas da pré-moldagem é extenso, abrangendo edificações, construções pesadas e diversas outras obras civis, como por exemplo, estádios e muros de arrimo.

Um dos elementos de concreto pré-moldado, incorporado nas edificações e amplamente utilizado nos EUA e Europa é o painel de fechamento. Uma das vantagens do seu uso é a possibilidade de utilizar inúmeros recursos, combinados ou não, como: relevos, textura, cor, agregados expostos etc. para compor as fachadas de edificações. Em geral, eles são projetados para transferir o peso próprio e a ação do vento para a estrutura principal. Na análise do enrijecimento da estrutura principal esses elementos são desprezados, para ações estáticas e dinâmicas. O efeito de enrijecimento em elementos de fechamento tem sido, geralmente, desprezado no cálculo estrutural. Entretanto, devido a inúmeros estudos na área, pôde-se avaliar que tais elementos contribuem na rigidez lateral de edifícios, auxiliando a estrutura principal, na resistência às ações laterais (CASTILHO, 1998).

Segundo a ABCP (2005), a primeira empresa a colocar os painéis de fachada como produto de mercado foi a *Stamp*, que trouxe a tecnologia do Canadá e transformou a obra em uma linha de montagem de componentes. Isso aconteceu em 1994, com as obras do Condomínio Club Ibirapuera, em São Paulo (Fig. 1). A partir de então vem crescendo sua utilização como alternativa ao emprego das alvenarias nas fachadas de edifícios de múltiplos pavimentos.

Figura 1: Fachada do Condomínio Club Ibirapuera com uso de painéis pré-moldados.



Fonte: NPI Consultoria (sd)

Segundo Oliveira (2002), como estes tipos de edifícios exigem mais requinte nos acabamentos de suas fachadas, a fim de valorizar o empreendimento, houve dessa maneira o ressurgimento em utilizar a tecnologia de painéis pré-fabricados de fachada para edifícios de múltiplos pavimentos que incorporam detalhes construtivos e revestimentos em seu acabamento: os chamados painéis arquitetônicos, que aumentam a velocidade de execução da construção e a qualidade estética do produto final.

Goodno e Palson (1986) apresentaram estudos dos efeitos do fechamento utilizando um edifício de 25 andares, com painéis pré-moldados, considerando ações dinâmicas. Os resultados obtidos pelos autores mostram que os painéis de fechamento contribuem significativamente para enrijecer a estrutura com relação às ações laterais estáticas e dinâmicas.

Ercolino et al., (2013) investigaram a influência de painéis de fechamento no comportamento dinâmico em 288 estruturas de um único pavimento. Os autores avaliaram diversos parâmetros como a altura dos pilares, o comprimento da edificação e o número de vãos tanto na direção transversal quanto na longitudinal. Pelos resultados puderam constatar que o período de vibração é significativamente influenciado pela presença do sistema de fechamento, apresentando uma redução de 75% se comparado com a estrutura sem o fechamento.

Santos e Souza Lima (2006) estudaram o impacto da consideração das ações sísmicas nos projetos estruturais de edifícios, fazendo análises comparativas dos efeitos dos sismos com os de vento em edifícios em várias cidades do Brasil, com diferentes relações entre as solicitações de vento e sismo e para várias condições de solo, assim como para diversas relações entre a área exposta ao vento. Esta análise foi feita através de um resumo da norma brasileira de sismos, concluindo que os efeitos das forças sísmicas poderão ser mais críticos do que os efeitos devido ao vento em algumas zonas sísmicas.

Lourenço et al. (2011) desenvolveu um amplo programa de investigação que inclui ensaios estáticos e dinâmicos em pórticos de concreto armado preenchidos com pré moldados de alvenaria armados e não armados. Os ensaios apresentados demonstraram claramente que a combinação de ações no plano e fora do plano nas paredes devida ao sismo promove a separação entre os pré-moldados de alvenaria e os pórticos de concreto armado, conduzindo a uma baixa resistência e a um colapso incontável para fora do plano. A introdução de medidas simples de reforço das paredes, com ligação à estrutura de concreto armado nos pilares, conduziu a uma resistência quatro vezes superior à resistência das paredes não armadas. Salientou-se nesta pesquisa o risco de colapsos frágeis dos edifícios, associados ao efeito combinado de paredes de alvenaria com tijolos de furação horizontal e estruturas com pórticos de concreto armado, claramente verificado no ensaio realizado no edifício com paredes de alvenaria não armada.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e materiais, associado à necessidade de ambientes mais espaçosos e um layout amplo, as estruturas estão cada vez mais altas e esbeltas. Isto acarreta em maiores vibrações dos edifícios, quando sobre eles atuam o vento, terremoto, equipamentos e a própria utilização por pessoas. O controle de vibrações dinâmicas de estruturas torna-se fundamental nestes casos, a fim de fornecer maior conforto aos usuários. Percebe-se que muitas pesquisas continuam em

desenvolvimento para melhor caracterizar as ações sísmicas e as respostas estruturais. Sendo assim, este trabalho propõe uma análise dinâmica em sistemas de fechamento realizados por painéis de concreto pré-moldado, empregados como elementos de vedação de edifícios em estruturas de esqueleto, em diferentes zonas sísmicas. Será priorizado o efeito de rigidez adicional promovida pelo fechamento, quando é considerada a interação painéis de fechamento versus estrutura principal.

2. SISMOS

Ao quantificar o fenômeno sísmico é usualmente adotado parâmetros como a sua intensidade e/ou magnitude, mas para análise da resposta de uma estrutura quando sujeitas a este tipo de solicitação, estes parâmetros são insuficientes. Ao estudar a resposta sísmica das estruturas, esta ação deve ser caracterizada de forma que possa ser integrada nas metodologias de análise estrutural disponíveis. Sendo assim, Guerreiro (2011) pontuou as três principais formas de caracterização da ação sísmica que cumprem tal requisito, sendo elas:

- Representação por Espectro de Resposta.
- Representação através da Função de Densidade Espectral de Potência.
- Representação por série de acelerações.

A representação a partir de Espectro de Resposta compõe o procedimento mais divulgado de caracterização da ação sísmica, que se trata da representação utilizada nas normas sísmicas internacionais de cálculo estrutural. Sua principal vantagem é descrever as características mais importantes da resposta sem ter um histórico de excitação no tempo disponível. A aplicação deste procedimento de análise permite a obtenção de valores máximos da resposta estrutural em regime linear.

A representação em Função de Densidade Espectral de Potência é limitada a modelos com poucos graus de liberdade. Porém, é uma ferramenta fundamental no processo de geração de acelerogramas artificiais.

Já a representação por série de acelerações é a forma mais direta de analisar o comportamento de uma estrutura quando sujeita à ação de um determinado sismo. No caso da estrutura a ser analisada ter comportamento não linear, a utilização de séries de acelerações torna-se praticamente inevitável (GUERREIRO, 2011).

3. ANÁLISE MODAL

A equação de movimento de um sistema pode ser formulada pela expressão do equilíbrio das forças associadas a cada um de seus graus de liberdade (gdl). Em geral, quatro tipos de forças são envolvidos para qualquer ponto "i" de uma estrutura: a carga externa ($p_i(t)$), e as forças resultantes do movimento, que são força de inércia, força de amortecimento e força elástica.

O modelo de N graus de liberdade obedece à seguinte equação de movimento:

$$[M] \ddot{u} + [C] \dot{u} + [k] u = \{f(t)\} \quad (1)$$

Onde:

[M]: Matriz de massa

[K]: Matriz de rigidez

[C]: Matriz de amortecimento

{f (t)}: Vetor de forças externas

{u}: Vetor de deslocamentos físicos

Para a solução dessa equação diferencial existem diversas técnicas, que podem ser encontradas em Hecke e Arndt (1999).

No *software* ANSYS a análise é completa, considerando todos os efeitos, para a solução dessa equação, aqui limitou-se a um problema mais simples, para simplificação dos cálculos, assim para o estudo da vibração livre não amortecida, onde {f (t)} = {0}; [C] = [0].

Onde tem-se a equação diferencial:

$$[M] \ddot{u} + [k] u = \{0\} \quad (2)$$

Onde pode ser resolvida com algumas técnicas como a variação dos parâmetros, assim para condições iniciais não nulas, a incógnita dos deslocamentos é dada por:

$$\{u(t)\} = \{\varphi\} e^{st} \quad (3)$$

Onde {φ} é um vetor de ordem N, de valores independentes da variável tempo e s um número complexo. Substituindo a solução na equação tem-se a Equação 4.

$$[(K) + s^2 (M)] \{\varphi\} e^{st} = \{0\} \quad (4)$$

Como $e^{st} \neq 0$ esta última equação pode ainda ser escrita como observa-se a Equação 5.

$$[(K) + s^2 (M)] \{\varphi\} = \{0\} \quad (5)$$

Que constitui-se num sistema homogêneo do tipo $[A]\{x\} = \{0\}$ e que rearranjando de forma mais conveniente tem-se $[K]\{\varphi\} = \lambda[M]\{\varphi\}$. Onde $\lambda = -s^2$, que se pode verificar na Equação 6.

$$[M]^{-1} [K] \{\varphi\} = \lambda \{\varphi\} \quad (6)$$

As variáveis λ e {φ} são denominadas de autovalores e autovetores do problema da vibração livre não amortecida. Estes parâmetros estão diretamente relacionados com as propriedades físicas do sistema, as frequências naturais não amortecidas e os chamados modos normais ou naturais de vibração, problemas principais da análise modal Varoto (2016).

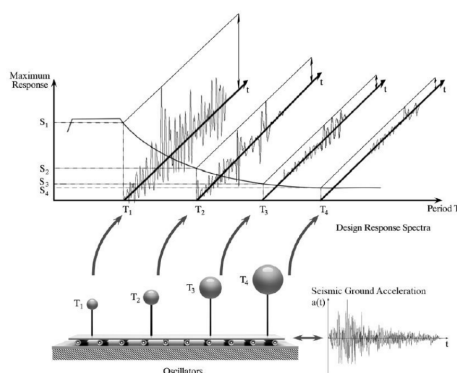
Observa-se que na equação fundamental, as frequências naturais dependem apenas da massa, rigidez e amortecimento. De acordo com Hecke e Arndt (1999) a análise modal despreza carregamentos externos, pois fornece as frequências naturais e os modos de vibração de uma estrutura em vibração livre.

Cada frequência natural está associada um modo de vibração tendo uma forma característica, explícita pelos deslocamentos da equação diferencial. O modo que possui a mais baixa frequência é chamado de primeiro modo de vibração, a segunda menor frequência chamada de segundo modo de vibração, e assim por diante. O primeiro modo é o mais importante, pois expressa a frequência natural real da estrutura.

4. ESPECTROS DE RESPOSTA

Segundo Jennings e Nigan (1969), os espectros de resposta foram obtidos pela primeira vez por Biot (1941), e depois desenvolvidos por Housner (1941) e Housner e McCann (1949). Atualmente, o conceito de espectro de resposta é uma importante ferramenta na área sísmica sendo adotado nos códigos de construção de estrutura resistente a sismo em todo o mundo. Segundo Newmark e Hall (1982), de forma geral, define-se esse tipo de espectro como uma representação gráfica da resposta máxima aproximada, seja em deslocamentos, velocidades, aceleração ou qualquer outro parâmetro de interesse, obtida através de uma excitação sobre um conjunto de osciladores de um grau de liberdade, caracterizado por diferentes valores de frequência ou período próprio e todos com o mesmo valor de coeficiente de amortecimento. A Fig. 2 exibe esse conceito.

Figura 2: Conceito de espectro de resposta.



Fonte: Vrochidou et al., (2014)

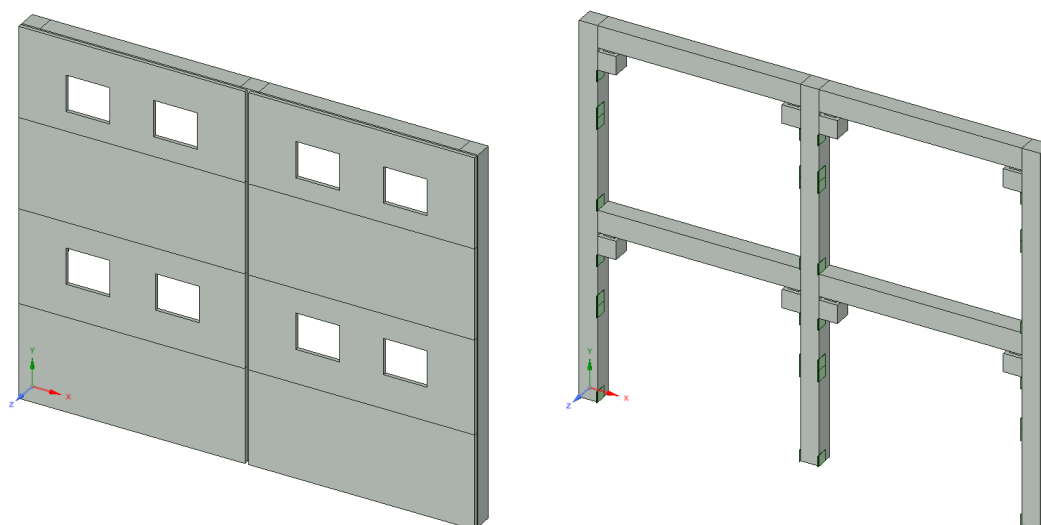
A grande vantagem do uso dos espectros de resposta, é que permite uma descrição de importantes características da resposta da estrutura sem necessidade de dispor de um histórico de acelerações sísmico inicialmente conhecido.

A análise de espectro de resposta é útil para a tomada de decisões de projeto porque relaciona a seleção estrutural de tipos ao desempenho dinâmico. Estruturas de período mais curto experimentam maior aceleração, enquanto as de período mais longo experimentam maior deslocamento. Objetivos de desempenho estrutural devem ser levados em conta durante o projeto preliminar e a análise do espectro de resposta.

5. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

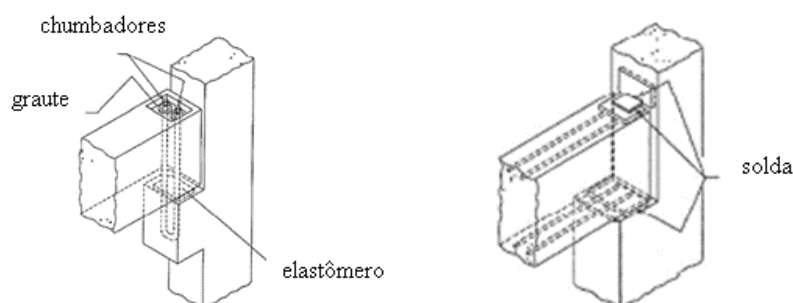
A estrutura analisada consiste numa estrutura de dois andares com fechamento realizado por painéis pré-moldados horizontais com aberturas, conforme apresentado pela Fig. 3. A ligação dos painéis com a estrutura principal foi realizada por meio de chapas de 20x20cm com 1cm de espessura, soldadas aos pilares (Fig. 4b). As vigas foram apoiadas no elastômero (polietileno) e a ligação viga-consolo foi realizada considerando duas análises. A primeira foi efetuada por meio de chumbador, simulando ligação articulada e a segunda foi soldada no pilar e no elastômero, simulando a ligação rígida, conforme Fig. 4. Os três pilares são impedidos de se deslocarem na base, nas direções x, y e z.

Figure 3: Estrutura de concreto com painéis de fechamento.



Fonte: Autor

Figura 4: Tipo de ligação viga-consolo



Fonte: Prado (2014)

As dimensões totais da estrutura são de 12,50m de comprimento e 10,20m de altura. Os painéis do primeiro andar apresentam dimensões de 6,20mx2,60m e do segundo andar de 6,20mx2,50m, ambos com espessura de 0,125m. As dimensões das aberturas nos painéis são de 1,2mx1,0m. O elastômero foi apoiado no meio do consolo de concreto (0,50mx0,50m) e apresenta dimensões de 0,20mx0,20m. Os pilares e vigas apresentam seção de 0,50x0,50m e 0,50mx0,60m, respectivamente.

5.1. Modelagem numérica

Para investigar a resposta dinâmica da estrutura de dois andares com e sem o fechamento por painéis de concreto pré-moldado foi utilizado o programa computacional ANSYS Workbench v18. Este estudo foi desenvolvido considerando a análise modal (*Modal*) e a resposta de espectro (*Response Spectrum*).

A fim de avaliar a influência do sistema de fechamento com a estrutura principal, foram usados os elementos finitos SOLID186 para vigas, pilares, chapas e neoprene. Para simular o contato do neoprene com a viga e consolo, bem como o contato da chapa

metálica com o pilar e com o painel foram usados os elementos CONTA174 e TARGE170. As propriedades de cada elemento usado nas análises são apresentadas na Tab.1.

Tabela 1 – Propriedades geométricas dos elementos

Material	Módulo de elasticidade (kN/m²)	Coefficient e de poison	Densidad e (kg/m³)
concreto	31259	0,18	2300
aço	200000	0,30	7850
polietileno	1100	0,42	950

Fonte: Autor

Deve-se ressaltar que uma malha refinada significa resultados precisos com uma melhor convergência, mas também pode levar a um alto tempo computacional na busca da solução. Para este trabalho, foi definido um adequado número de elementos a fim de obter resultados satisfatórios sem um grande uso do tempo computacional. Por esse motivo, o estudo se restringiu a investigar uma estrutura de dois andares em apenas um de seus eixos.

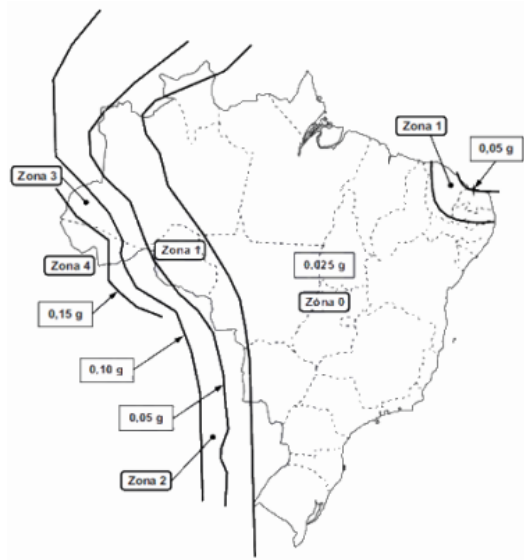
5.2. Análise dinâmica

Com o intuito de avaliar o comportamento dinâmico do sistema em estudo foi realizada uma análise modal no *software* ANSYS considerando 3 modos de vibração com dois diferentes tipos de ligações de pilar e viga. Ela foi implementada considerando o Método *Subspace*, que usa tanto a matriz de rigidez quanto de massa na solução do sistema. Os modos de vibração obtidos correspondem à forma como a estrutura vibra, para cada uma de suas frequências naturais.

As análises sísmicas podem ser investigadas aplicando diferentes métodos. Neste trabalho foi usada a ferramenta *Response Spectrum* (RS), contida no *software* ANSYS, baseada na análise modal realizada anteriormente. Vale ressaltar que uma RS se trata de um gráfico da resposta de uma série de valores de frequência natural que se movimentam pela mesma vibração. Para a aplicação da ferramenta RS utilizou-se o método da raiz quadrada da soma dos quadrados (SRSS).

Na análise de RS foi adotada uma aceleração horizontal do solo aplicada no eixo x, para as cinco zonas sísmicas, embasados na ABNT NBR 15421:2006 (Fig. 5).

Figure 5: Mapeamento da aceleração sísmica horizontal no Brasil e valores de a_g adotados para as zonas sísmicas.

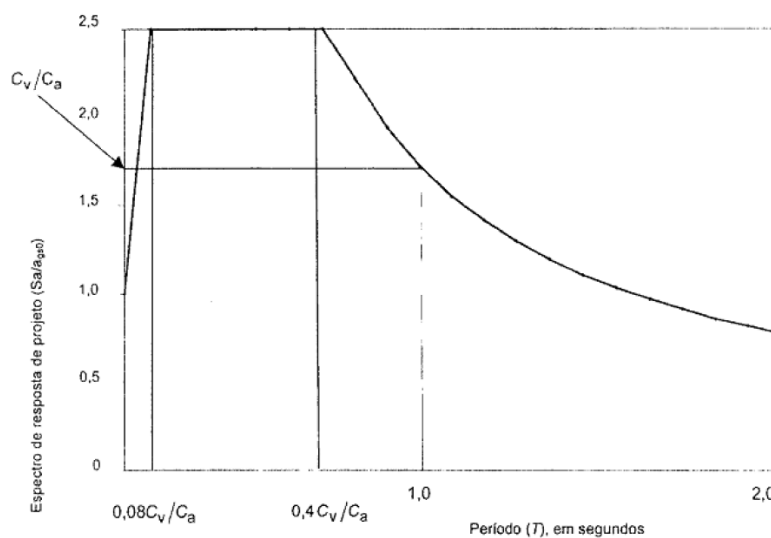


Nome	Zona sísmica	Valores de a_g
ZS0	0	0,025g
ZS1	1	0,038g
ZS2	2	0,075g
ZS3	3	0,125g
ZS4	4	0,150g

Fonte: ABNT NBR 15421:2006

O gráfico do espectro de resposta para cada zona foi adotado conforme apresentado pela ABNT NBR 15421:2006 (Fig. 6). Os valores variam em função da zona sísmica brasileira, da classe do terreno (solo rígido), dos fatores de amplificação no solo, C_a e C_v , para os períodos de 0,0s e 1,0s, respectivamente. Os valores adotados para a amplificação estão apresentados na Tab. 3. Com essas informações, foi possível construir o gráfico do espectro resposta para cada zona sísmica analisada para ser incorporado no programa computacional.

Figure 6 : Gráfico geral do espectro de resposta



Fonte: ABNT NBR 15421:2006

Tabela 3 – Fatores de amplificação no solo para cada zona sísmica.

Nome	Ca	Cv
ZS0	1,6	2,4
ZS1	1,6	2,4
ZS2	1,6	2,4
ZS3	1,55	2,3
ZS4	1,5	2,2

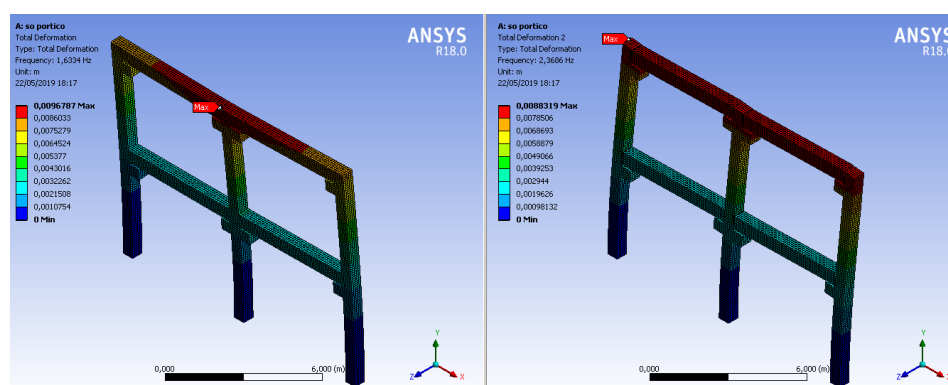
Fonte: Autor

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

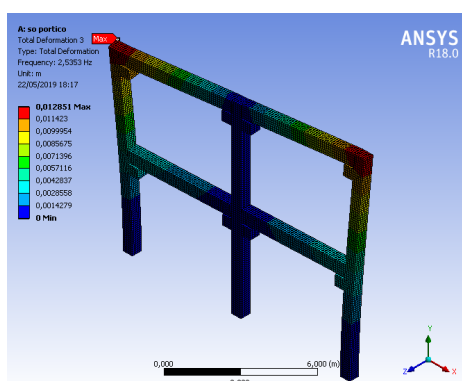
6.1. Análise modal

Os valores numéricos da frequência natural e os modos de vibração para a situação sem e com o fechamento para ligação articulada são apresentados nas Fig. 5 e 6, respectivamente. As Fig. 7 e 8 mostram os modos de vibração e a frequência para o caso de ligação rígida.

Figure 7: Modos obtidos pela análise modal sem enchimento para os modos 1, 2 e 3 – ligação articulada.



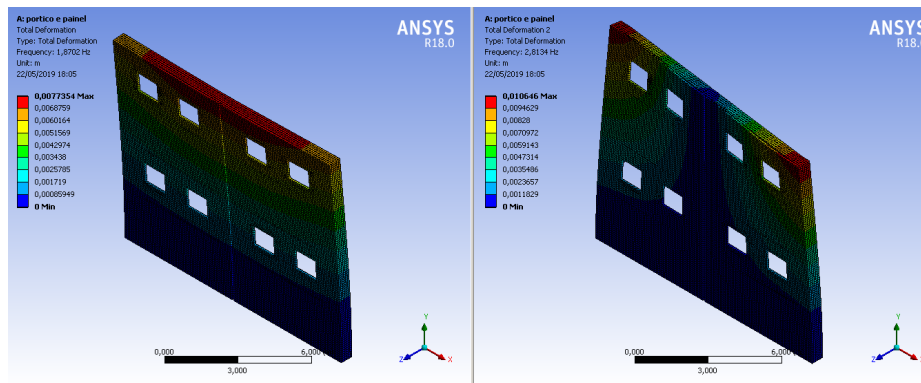
a) Modo 1 ($f = 1,6334$ Hz) b) Modo 2 ($f = 2,3686$ Hz)



c) Modo 3 ($f = 2,5353$ Hz)

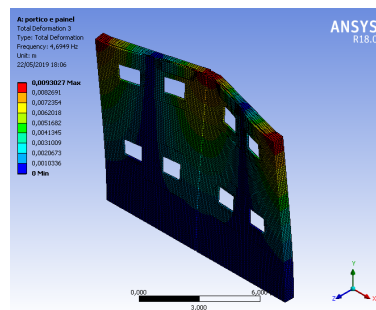
Fonte: Autor

Figure 8: Modos obtidos pela análise modal com enchimento para os modos 1, 2 e 3 –
ligação articulada



a) Modo 1 ($f = 1,8702 \text{ Hz}$)

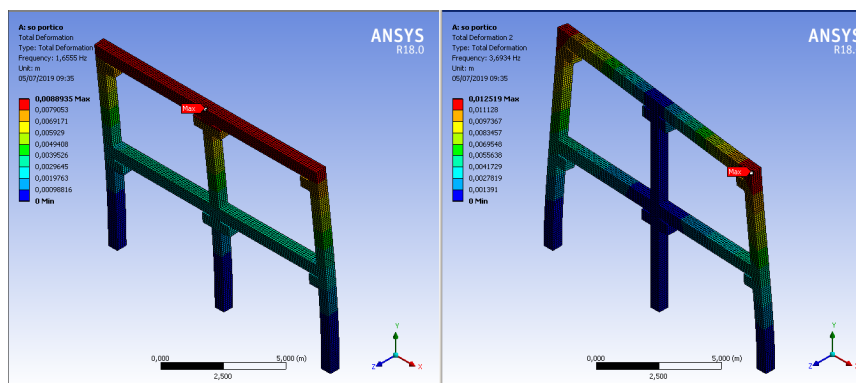
b) Modo 2 ($f = 2,8134 \text{ Hz}$)



c) Modo 3 ($f = 4,6949 \text{ Hz}$)

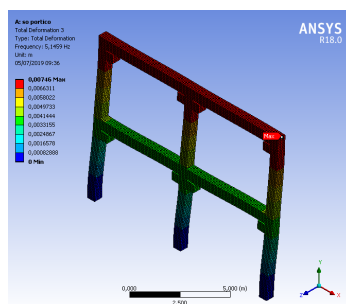
Fonte: Autor

Figure 9: Modos obtidos pela análise modal sem enchimento para os modos 1, 2 e 3 –
ligação rígida



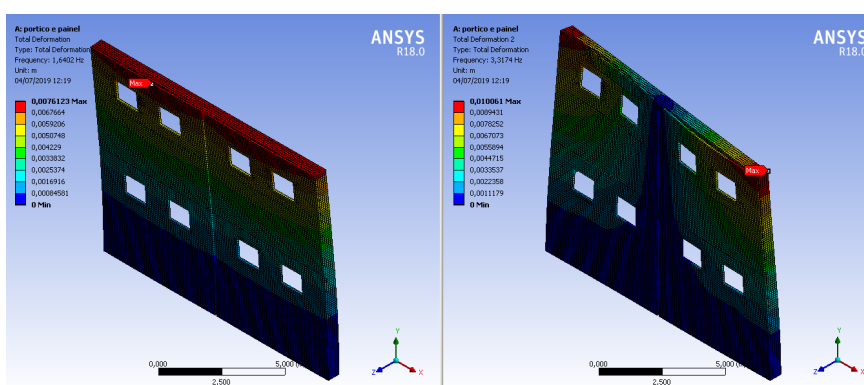
a) Modo 1 ($f = 1,6555 \text{ Hz}$)

b) Modo 2 ($f = 3,6934 \text{ Hz}$)



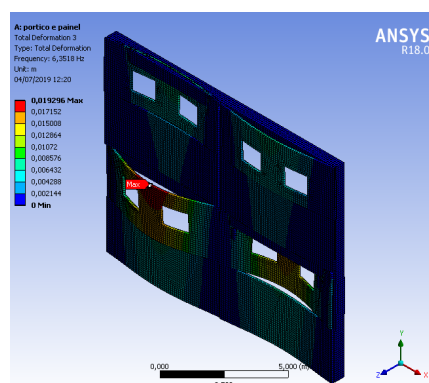
c) Modo 3 ($f = 5,1459\text{Hz}$)

Figura 10: Modos obtidos pela análise modal com enchimento - ligação rígida



a) Modo 1 ($f = 1,6402\text{ Hz}$)

b) Modo 2 ($f = 3,3174\text{ Hz}$)



c) Modo 3 ($f = 6,3518\text{ Hz}$)

Fonte: Autor

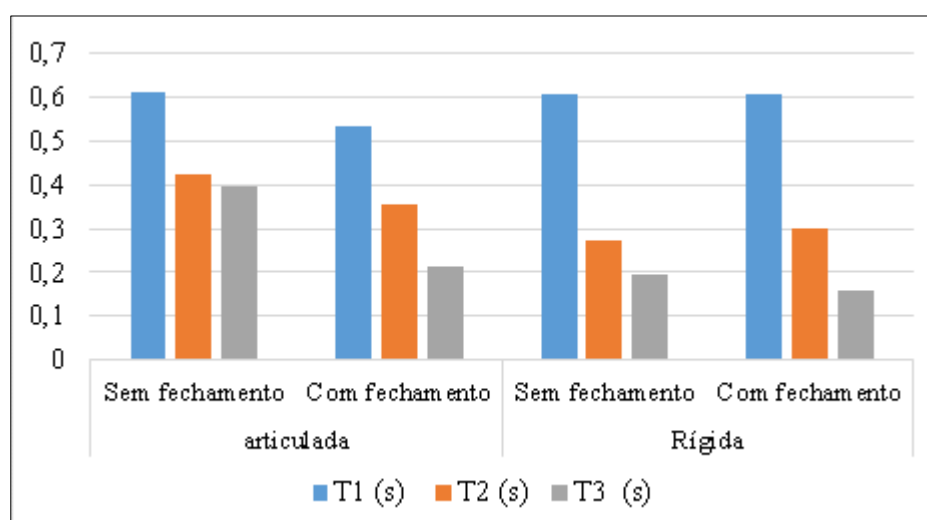
Os valores obtidos da ligação articulada e rígida para o período fundamental são apresentados na Tab. 2 e na Fig. 9 para a estrutura com e sem fechamento, nos dois tipos de ligações. Verifica-se que o período fundamental diminui quando se aumenta a rigidez da estrutura em torno de 15% se o sistema de fechamento é considerado no modelo, para o caso da ligação articulada. No caso da estrutura com ligação rígida, a estrutura com e sem fechamento não obtiveram resultados significativos, pois os valores ficaram muito próximos.

Tabela 2 – Período de vibração com e sem fechamento

Ligação	Modelo	T ₁ (s)	T ₂ (s)	T ₃ (s)	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Articulada	Sem fechamento	0,612	0,422	0,394	Translacional	Translacional	Rotacional
	Com fechamento	0,534	0,355	0,213	Translacional	Rotacional	Rotacional
Rígida	Sem fechamento	0,604	0,271	0,194	Translacional	Rotacional	Translacional
	Com fechamento	0,604	0,301	0,157	Translacional	Rotacional	Flexão nos painéis

Fonte: Autor

Figura 11: Período fundamental para cada ligação e modelo



Fonte: Autor

Pelos resultados obtidos, observa-se que além de contribuir no enrijecimento da estrutura principal, o sistema com fechamento influencia no comportamento estrutural quando submetido às condições sísmicas. A diminuição da rigidez (caso sem fechamento) tem um efeito significativo nas características dinâmicas da estrutura.

6.2. Análise response spectrum

Os resultados para os deslocamentos máximos e tensões para as diversas análises são apresentados na Tab. 3 e nas Fig. 12 e 13. Verifica-se pela Tab. 5 que, no caso da estrutura com ligação articulada e com os painéis de fechamento, os valores dos deslocamentos foram em média 10 vezes menores se comparado com a estrutura com fechamento. No caso da estrutura com ligação rígida esse valor varia em aproximadamente 3 vezes.

Avaliando as diferentes zonas sísmicas pode-se notar que da zona 0 a zona 4, os valores de deslocamento e tensões aumentam em torno de 5 vezes.

Tabela 3 – Valores de deslocamentos e tensões para as diferentes análises

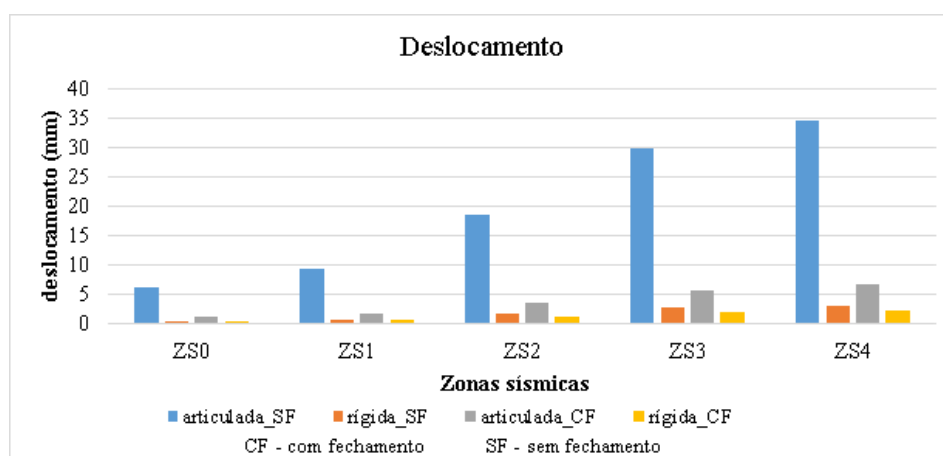
Nome	Tipo de estrutura			
	Sem fechamento (SF)	Com fechamento (CF)	Sem fechamento (SF)	Com fechamento (CF)
	<i>Ligação articulada</i>	<i>Ligação articulada</i>	<i>Ligação rígida</i>	<i>Ligação rígida</i>
	Deslocamento (mm)			
ZS0	6,167	0,567	1,192	0,419
ZS1	9,374	0,862	1,812	0,638
ZS2	18,50	1,702	3,577	1,258
ZS3	29,87	2,749	5,775	2,032
ZS4	34,69	3,194	6,706	2,359
Tensão (MPa)				
ZS0	2,22	3,74	1,40	6,91
ZS1	3,37	5,69	2,13	10,51
ZS2	6,66	11,23	4,20	20,74
ZS3	10,75	18,24	6,78	33,49
ZS4	12,49	21,32	7,87	38,88

Fonte: Autor

De acordo com a Fig. 10, pode-se constatar que os maiores valores dos deslocamentos foram aqueles localizados na estrutura com ligação articulada pois se trata de uma estrutura mais flexível e os menores foram localizados na estrutura com ligação rígida.

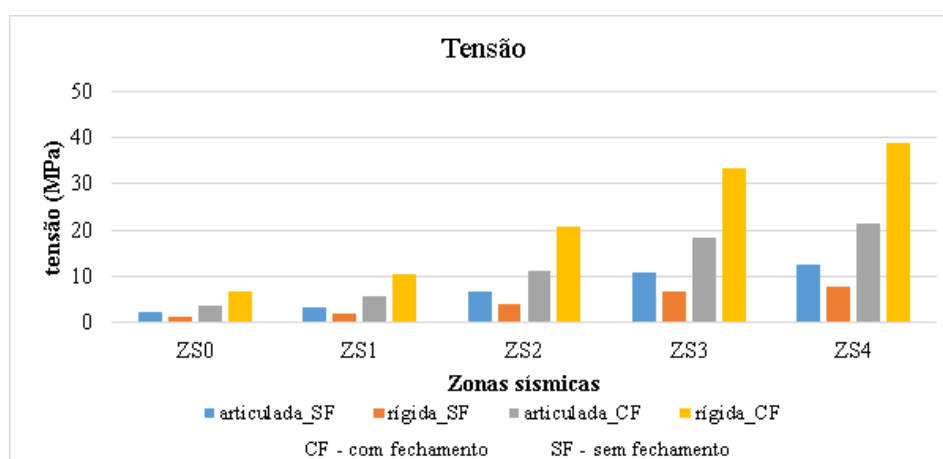
Foi observado, pela Tab. 3, que os valores das tensões obtidas para a estrutura com ligação articulada e com fechamento resultaram em valores duas vezes maiores comparando com a estrutura sem fechamento. No caso da ligação rígida, este valor aumenta para 5 vezes.

Figure 12: Deslocamentos máximos obtidos para casa zona sísmica.



Fonte: Autor

Figure 13: Tensões máximas obtidas para casa zona sísmica.



Fonte: Autor

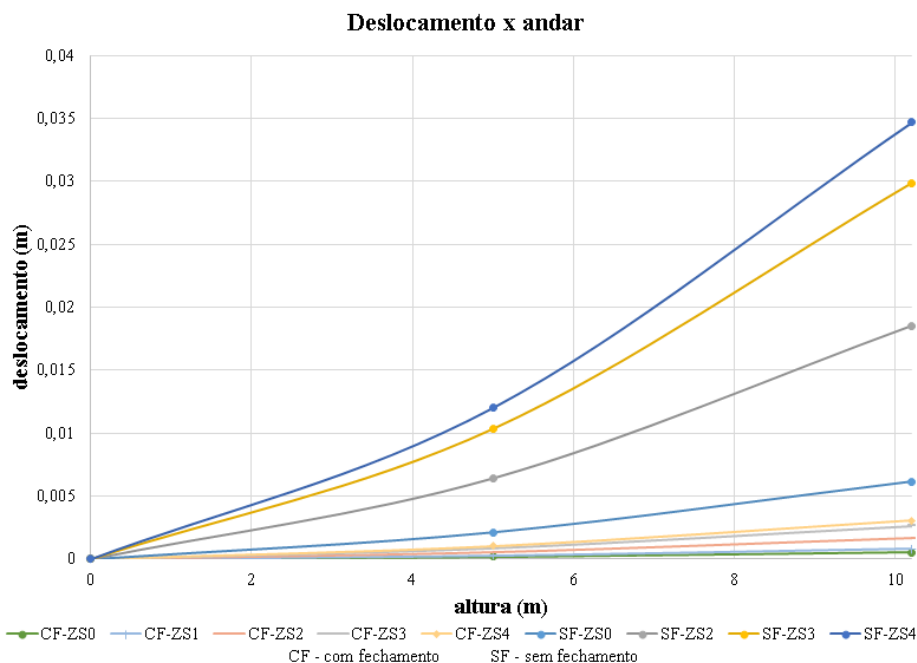
Analisando o efeito dos painéis de fechamento, verificou-se que, embora a consideração destes elementos enrijeça a estrutura principal, tem-se em contrapartida o aumento das tensões que estão localizadas nas chapas de ligação.

Sobre o efeito da ligação rígida da viga e pilar, percebeu-se que os maiores valores das tensões, como esperado, estão posicionados na análise da estrutura levando em consideração os painéis de fechamento (Fig. 13). Avaliando o caso da estrutura sem o fechamento em ambas as ligações, os valores maiores de tensões estão localizados nos pilares, próximo ao solo.

Pelos resultados obtidos observaram-se que os painéis de fechamento contribuem significativamente no enrijecimento da estrutura principal com relação às ações dinâmicas. Deve-se atentar ainda que, o projeto das ligações entre os elementos, deve ser cuidadosamente bem realizado a fim de evitar o colapso total da estrutura, já que pelos resultados obtidos no estudo, tais ligações absorvem as maiores tensões. A Fig. 14 mostra

o comportamento da estrutura nas diferentes zonas sísmicas em relação à altura da edificação.

Figure 14: Deslocamento no topo em relação à altura da edificação nas zonas sísmicas.



Observa-se que a estrutura com o fechamento apresenta um comportamento muito próximo à medida que se aumenta a altura da edificação. No caso da estrutura sem o fechamento, diferentemente do caso anterior, este efeito foi bem marcante. Verifica-se ainda que quanto mais alta for a estrutura principal, mais o efeito dinâmico leva a ruína da estrutura, já que há um aumento considerável dos deslocamentos finais da edificação.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma análise do comportamento dinâmico de painéis de concreto pré-moldado considerando e desprezando sua interação com a estrutura principal para cinco diferentes zonas sísmicas definidas pela ABNT NBR 15421:2006 e considerando dois tipos de ligações entre viga e pilar. Para as análises propostas, foram utilizados os recursos disponíveis do programa computacional ANSYS Workbench. Inicialmente foi efetuado uma análise modal e posteriormente uma análise de espectro de resposta (RS) com uma aceleração no solo a fim de verificar o efeito dinâmico nas estruturas analisadas. Pode-se concluir que, da análise modal foi observado que a estrutura sem os painéis pré-moldados de fechamento apresenta frequência menor pois apresenta rigidez menor se comparado com a estrutura com fechamento. Quando o sistema de fechamento de painéis pré-moldados foi considerado, se tem uma diminuição do período fundamental em torno de 15%.

Sobre a análise do espectro de resposta pode-se concluir que:

- O aumento da rigidez da estrutura (com fechamento) tem um efeito significativo nas características dinâmicas da estrutura.
- Na análise das zonas sísmicas, o caso da estrutura sem os painéis de fechamento se mostrou bem discrepante, aumentando significativamente o deslocamento da edificação com o acréscimo da aceleração no solo.
- Verificou-se que os painéis de fechamento contribuem no enrijecimento da estrutura principal para ações sísmicas, entretanto o projeto das ligações deve ser bem executado evitando desta forma, a ruína da estrutura.
- Ao comparar os dois tipos de ligações observou-se que a estrutura com ligação rígida apresenta deslocamentos menores e tensões maiores.
- Para a estrutura considerando a interação dos painéis pré-moldados vê-se que o comportamento é muito próximo à medida que se aumenta a altura da edificação.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15421: Projeto de estruturas resistentes a sismos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
- GOODNO, B. J.; PALSSON, H. Analytical studies of building cladding. *Journal of Structural Engineering*, v.112, n.4, p. 665-676, 1986.
- CASTILHO, V. C. Análise estrutural de painéis de concreto pré-moldado considerando a interação com a estrutura principal. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.
- ERCOLINO, M., CAPOZZI, V., MAGLIULO, G., MANFREDI, G. Influence of cladding panels on dynamic behaviour of one-storey precast building. *OpenSees Days Italia: Atti del Covegno*, 190-241. 2013.
- FALCONI, R.A. Espectros Sísmicos de Riesgo Uniforme para Verificar Desempeño Estructural en Países Latinoamericanos. *Anais do XVII Seminário Iberoamericano de Ingeniería Sísmica*. Mendoza. Argentina, 2003.
- JENNINGS, P. C; NIGAM, N. C. Calculation of Response Spectra from Strong-Motion Earthquake Records. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 59, Nº 2, pp. 909-922. April, 1969.
- GUERREIRO, L. M. C. Ação sísmica – Engenharia sísmica de pontes. Texto didático, Mestrado em Engenharia de Estruturas, Instituto Superior Técnico. Lisboa. 2011. Disponível em http://www.civil.ist.utl.pt/~luisg/textos_didaticos.htm. Acessado em 22 de julho de 2019.
- Lourenço, P. B., Pereira, M. F. P., Leite, J. C., Costa, A. C. Comportamento das paredes não estruturais a ações sísmicas. In *Paredes 2011: paredes divisórias: passado, presente e futuro* (pp. 97-109). Universidade do Minho. 2011.
- NPI Consultoria. Disponível em: <http://www.npiconsultoria.com.br/imovel-6025/condominio-clube-ibirapuera>. Acessado em 10 de julho de 2019.
- SANTOS, S. H. C., SOUZA LIMA, S. Estudos da Zonificação Sísmica Brasileira Integrada em um Contexto Sul-Americano. *Anais das Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural*. Buenos Aires, 2004.
- SANTOS S. H. C.; SOUZA LIMA S. Subsídios para uma futura normalização brasileira para resistência anti-Sísmica das estruturas de concreto de edifícios - IBRACON, n.1, vol.1, 2005.

SANTOS, S. H. C.; SOUZA LIMA, S. Estimativa do Impacto no Projeto de Edificações da Proposta de Norma Brasileira de Sismos. Rio de Janeiro: Ibracon, 16p, 2006.

PRADO, L.P. Ligações de montagem viga-pilar para estruturas de concreto pré-moldado – estudo de caso. 234f. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

OLIVEIRA, L.A. (2002). Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios. 191p. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

VAROTO P. S. .Análise modal de estruturas pdf (2016). Disponível em: <http://www2.eesc.usp.br/labdin/varoto/aula2.pdf>. Acessado em 21/12/2018.

HECKE, M.B.; ARNDT, M. Mecânica das estruturas. Curitiba: UFPR, 2001. Notas de aula.

BIOT, M. A. A mechanical analyzer for the prediction of earthquake stresses, Bull. Seism. Soc. of Am. 31,151-171, 1941.

HOUSNER, G. W. Calculation of the response of an oscillator to arbitrary ground motion, Bulletin of the Seismological Society of America. Vol.32, pp143-149, 1941.

HOUSNER, G. W.; MCCANN, D. The analysis of strong-motion earthquake records with electric analog computer, Bull. Seism. Soc. of Am: 39, 47-56, 1949.

NEWMARK, M, N.; HALL, J. W. Earthquake Spectra and Design - Earthquake Engineering Research Institute Monograph Series, v.3.Berkeley, California, 1982.

VROCHIDOU, E.; ALVANITOPOULOS, P. F.; ANDREADIS, I.; ELENAS, A.; MALLOUSI, K. Synthesis of artificial spectrum-compatible seismic accelerograms. Department of Civil Engineering, Democritus University of Thrace, Xanthi, Greece, 2014.

Dynamic analysis of the interaction of precast concrete panels with the main structure in different seismic zones

Abstract

The growth of large urban centers has created the need to build larger buildings to meet the population demand concentrated in small areas and there is a great tendency to use precast concrete elements in the construction of buildings. This work proposes a dynamic analysis in closure systems made by precast concrete panels, used as sealing elements of buildings in skeleton structures, for different seismic zones. For this, a simulation of a two-storey structure with closure was performed by horizontal pre-molded panels with openings and modal analysis and response spectrum analysis. Among other conclusions, it was possible to observe that the structure without the precast closing panels presents lower frequency because it presents lower rigidity compared to the closing structure and also verified that the closing panels contribute to the stiffening of the main structure for seismic actions.

Keywords: Dynamic Analysis, Precast Concrete Panels, Seismic Zones.

1. INTRODUCTION

The Brazilian territory has low seismic activity because it is located in the center of a tectonic plate. However, this does not mean that the Brazilian territory has seismic inactivity. The scientific-based study of seismicity in Brazil began in the 1970. Since this decade, seismological data have been collected from an important seismological network that has been deployed and is currently in continuous operation (SANTOS AND SOUZA LIMA , 2006). Seismic studies in Brazil initially adopted methodologies employed in other countries. Falconi (2003) studied the different approaches that South American standards present on earthquake resistant structures. From this study, Santos and Souza Lima (2004) consolidated a seismicity map of the Brazilian territory and in 2005, Santos and Souza Lima. exposed concepts and fundamental information for the elaboration of the current Brazilian standard ABNT NBR 15421: 2006 being one of the reference bases for the approval of the current seismic standard.

2. DESCRIPTION OF STRUCTURE

The analyzed structure consists of a two-story structure with closure made by horizontal pre-molded panels with openings, as shown in Fig. 3. The connection of the panels with the main structure was made by means of welded 20x20cm 1cm thick plates. to the pillars (Fig. 4b). The beams were supported on the elastomer (polyethylene) and the beam-console bonding was performed considering two analyzes. The first was made by means of anchor bolts, simulating articulated connection and the second was welded to the pillar and elastomer, simulating the rigid connection, as shown in Fig. 4. The three pillars are prevented from moving in the base, in x, y and z directions.

3. CONCLUSIONS

It can be concluded that from the modal analysis it was observed that the structure without the precast closing panels presents lower frequency because it presents lower rigidity when compared to the closed structure. When the precast panel closure system was considered, the fundamental period decreased by around 15%. Regarding the analysis of the response spectrum it can be concluded that, among other conclusions: increased frame stiffness (with closure) has a significant effect on the dynamic characteristics

of the frame; in the analysis of seismic zones, the case of the structure without the closing panels was very discrepant, significantly increasing the displacement of the building with the acceleration in the ground.