



## Estudo dos deslocamentos e vibrações de um edifício alto com irregularidade estrutural sísmica considerando diferentes normativas

Taiana Paula Veiga<sup>1</sup>, Matheus Agustini<sup>2</sup>, Flávia Gelatti<sup>3</sup>, Sergio Hampshire C. Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Bacharel em Engenharia Civil / UNIVALI / Escola do Mar Ciência e Tecnologia / taiana.veiga@edu.univali.br

<sup>2</sup>Professor Associado (M.Sc.) / UNIVALI / Escola do Mar Ciência e Tecnologia / m.agustini@univali.br

<sup>3</sup>Professora Associada (M.Sc.) / UNIVALI / Escola do Mar Ciência e Tecnologia / flaviagelatti@univali.br

<sup>4</sup>Professor Titular (D.Sc.) / UFRJ / Departamento de Estruturas / sergiohampshire@poli.ufrj.br

### Resumo

Crescem no Brasil as investigações acerca das ações dinâmicas sísmicas no comportamento de edifícios. Este estudo analisou os deslocamentos e vibrações de uma edificação residencial com 106 m de altura, localizada em Balneário Camboriú, SC. No processo de análise, a estrutura foi modelada no *software* ETABS e foram empregadas as normas ABNT NBR 15421 (2006), NT E.030 (2018) e NP EN 8 (1998), com as quais foi aplicado o Método Dinâmico Espectral. Destaca-se também a consideração do perfil de solo mole e uma aceleração de zoneamento sísmico de 0,025g. Foi considerada uma situação homogeneizada de massa matricial, o que facilitou a comparação entre as formulações espectrais das normas. Desse modo, foram desenvolvidos seis casos de estudo, a partir dos quais foi identificado que a formulação do espectro de resposta elástica obtido com a norma brasileira gerou um patamar de acelerações mais elevado que os espectros das demais normas, assim como deslocamentos também superiores.

**Palavras-chave:** Dinâmica das estruturas; Normas sísmicas; Irregularidade estrutural; Método Dinâmico Espectral; Deslocamentos de pavimentos.

### Introdução

O aumento das variações climáticas, a verticalização das cidades e as configurações arquitetônicas de projeto influenciam na concepção estrutural e conseqüentemente no desempenho de um edifício. Isso ocorre porque as edificações estão sujeitas às ações externas de natureza dinâmica que variam com o tempo, como sismos, as quais geram nas estruturas períodos, frequências, acelerações, deslocamentos, torção e outros fatores, que propiciam danos e até mesmo colapso estrutural.

Lima e Santos (2008) afirmam que no Brasil a análise dos efeitos dinâmicos em estruturas não costuma ser abordada na graduação do Engenheiro Civil, fato que demanda a aplicação de pesquisas e especializações profissionais por parte de projetistas estruturais. Destaca-se, portanto, a importância dos estudos de Lima e Santos (2008), Arai (2013), Araújo (2014), Soriano (2014), Chopra (2014), Lin *et al.* (2019), Alves (2020), Pinto (2020), Tena-Colunga (2021), França (2021), Mendes (2021), Miranda (2021) e Palagala e Singhal (2021) para o desenvolvimento desse conhecimento.

Tais estudos possibilitaram a ampliação dos conhecimentos na área de Dinâmica das Estruturas e da Engenharia Sísmica para estudantes e Engenheiros Cíveis, como também apontaram temas de aprofundamento necessários para o desenvolvimento de análises estruturais e para o desenvolvimento de melhorias em regulamentos sísmicos.

Acrescenta-se que no cenário nacional, uma atenção deve ser dada à região Sul, especificamente ao Balneário Camboriú, SC. Pois ainda que se encontre geograficamente em uma região de baixa sismicidade, corresponde à cidade onde está localizado o edifício residencial mais alto da América Latina, o *One Tower*, e seis dos dez edifícios mais altos do país.

Salienta-se também que no estudo da Dinâmica das Estruturas, a compreensão do comportamento de um edifício se dá pela análise do seu movimento frente às forças externas. Assim, desenvolvem-se equações de movimento que envolvem os componentes de massa, rigidez e amortecimento envolvidos. Dessa forma, segundo Chopra (2014), cada elemento estrutural contribui para a composição das respostas em diferentes proporções.

Ademais, na aplicação da ação sísmica em estruturas, os regulamentos vigilantes em âmbito nacional e internacional, especificam parâmetros de análise que se relacionam com características geográficas e estruturais, dentre os quais estão as irregularidades estruturais. Tais irregularidades tem sido objeto de estudo por parte de autores como Lin *et al.* (2019), Tena-Colunga (2021) e Palagala e Singhal (2021).

A irregularidade estrutural em planta está associada à distribuição de massas e da disposição de rigidez dos elementos. Portanto, quanto menos irregular em planta se apresenta um edifício, menor é a sua susceptibilidade à torção. A irregularidade estrutural em altura está relacionada à distribuição da rigidez lateral que o edifício apresenta e à distribuição das massas de cada piso.

Este estudo analisou o comportamento de um edifício alto com irregularidades estruturais, localizado em Balneário Camboriú, SC, aplicando as normas ABNT NBR 15421 (2006), NT E.030 (2018) e NP EN 8 (1998), vigentes respectivamente no Brasil, Peru e Portugal. As análises foram direcionadas para a obtenção dos deslocamentos e dos modos de vibração da edificação.

Este artigo resume os resultados obtidos no Projeto de Graduação desenvolvido pela primeira autora, sob a orientação do segundo autor (Veiga, 2022).

## **Metodologia e aplicação do estudo**

A edificação analisada é composta por 23 pavimentos tipo, havendo 7 configurações distintas para os mesmos, além de pavimento térreo, 4 pavimentos de garagem, 2 pavimentos de lazer, mezanino, telhado e barrilete. Ao todo, o residencial possui 34 pavimentos, 106,52 m de altura e 11.695 m<sup>2</sup> de área. As lajes são predominantemente nervuradas, havendo também a presença de lajes maciças. Os carregamentos aplicados seguiram as determinações da ABNT NBR 6120 (2019). Nos 17 primeiros pavimentos foi utilizado  $f_{ck}$  de 45 MPa, enquanto para os 9 pavimentos seguintes foram especificados de 40 MPa e para os pavimentos superiores, de 35 MPa.

O desenvolvimento do estudo seguiu as etapas de coleta de dados do projeto estrutural da edificação, modelagem do edifício em *software* ETABS, determinação dos parâmetros e definições sísmicas, aplicação das mesmas e processamento dos modelos estudados, seguido pela caracterização das irregularidades, e posterior extração dos modos de vibração e deslocamentos para a realização das análises. Foi utilizado o projeto estrutural realizado pela empresa Exponent Engenharia LTDA., fornecido nos *softwares* REVIT e TQS.

Ressalta-se que o processo de modelagem da edificação no *software* de estudo requereu algumas particularidades com relação ao projeto original, que dizem respeito à uniformização das dimensões de nervuras e à retirada de desníveis nas lajes localizadas em um mesmo pavimento.

Ainda sobre a modelagem, foi desenvolvida uma malha de elementos finitos, sendo que as lajes nervuradas foram especificadas como elementos *slab* do tipo *membrane* e as maciças do tipo *shell-thin*, enquanto que as vigas e pilares como elementos *frame*, e por fim, os pilares-parede com elementos *wall*. Salienta-se que as escadas e patamares foram modelados como lajes maciças enquanto que o reservatório superior foi modelado como parte do núcleo constituído pelos pilares-parede. Para a discretização dos elementos, foram definidas malhas de 50x50 cm nas lajes e nos pilares-parede, já as vigas e pilares foram discretizados a cada 50 cm.

## **Definições sísmicas**

Para uma análise sísmica, primeiramente, definem-se os parâmetros que dizem respeito aos requisitos de desempenho, fatores de zoneamento, perfil de solo, fator de uso da edificação, tipo de sistema e

irregularidades estruturais. Há também outras definições a serem aplicadas de acordo com as particularidades de cada norma.

Com relação aos métodos de análise sísmica, há três métodos previstos pelos regulamentos, que correspondem a Análise Estática ou de Forças Equivalentes, Análise Dinâmica Espectral e Análise Dinâmica com Históricos da Acelerações no Tempo. O Método Dinâmico Espectral, utilizado neste estudo, consiste em utilizar uma combinação modal espectral para determinar o comportamento da estrutura frente aos sismos, sendo o dado de entrada para a análise o espectro de resposta de projeto. Em relação aos parâmetros, haja visto que as normas apresentam valores mínimos de acelerações de zoneamento distintos, foi adotada uma aceleração de 0,025g que corresponde à aceleração sísmica determinada pela norma brasileira para a região de Balneário Camboriú, SC. Ressalta-se que a norma portuguesa determina a aplicação de dois espectros de resposta, de modo a representar sismos de diferentes magnitudes, chamados sismo tipo 1 e tipo 2. Assim, para o sismo tipo 2, foi aplicada a aceleração de 0,08g, como sugere a referida norma.

Com o intuito de tornar as comparações normativas diretas, foi adotado em todos os modelos um perfil de solo cuja velocidade de propagação de ondas sísmicas é inferior a 180 m/s, que é condizente com os tipos de solo de Balneário Camboriú. Tal velocidade define o solo como mole pela ABNT NBR 15421 (2006), solo brando pela NT E.030 (2018) e solo não coesivo de compactidade média pela NP EN 8 (1998). Além disso, o fator de uso atribuído a todos os modelos foi o de edificações residenciais.

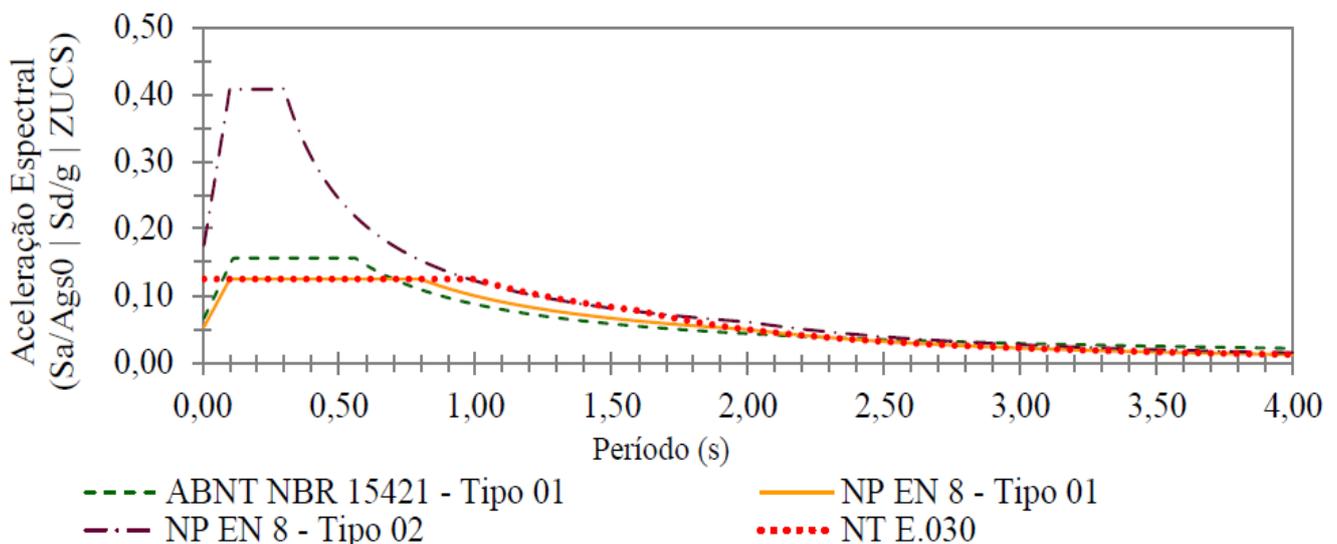
Também é preciso salientar que as normas em questão determinam diferentes percentuais de contribuição das ações permanentes e acidentais sobre a edificação. Por esse motivo, foram desenvolvidos seis modelos de análise, sendo dois modelos estudados para cada norma, um com a aplicação dos percentuais determinados pelas mesmas e outro com a consideração integral de ações unicamente permanentes.

Esta última consideração também foi usada por Arai (2013) e Pinto (2020). porque os modos de vibração e deslocamentos correspondem a valores que permitem comparações diretas.

## Resultados e discussões

### *Espectros e modos de vibração*

Como resultado das formulações espectrais das normas ABNT NBR 15421 (2006), NT E.030 (2018) e NP EN 8 (1998), obtiveram-se as curvas do comportamento elástico da edificação na Figura 1, em um intervalo de 0,00 a 4,00 s.



**Figura 1 – Espectros de resposta elástica.**

É possível observar que o espectro brasileiro possui uma formulação que resulta em patamares de acelerações sísmicas superiores às demais normas, exceto para a situação de sismo Tipo 2 da NP EN 8 (1998), que apresenta uma aceleração de solo superior. Também foi possível constatar que as formulações espectrais portuguesa e peruana resultam em curvas bastante semelhantes, tal como os autores Arai (2013) e Pinto (2020) constataram em suas comparações, apesar da aceleração e perfil de solo serem distintos dos empregados neste estudo.

Obtiveram-se os períodos e fatores de participação modal para cada modo de vibração nos seis modelos estudados. Salienta-se que os três primeiros modos de vibração são os mais representativos em termos percentuais, sendo assim, na Tabela 1 são apresentados os três primeiros modos de vibração.

**Tabela 1 – Períodos e fatores de participação modal**

Modelos	Modos	Períodos (s)	Fatores de participação modal para deslocamentos			Fatores de participação modal para rotações		
			UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
ABNT NBR 15421 (2006). A1 <sup>1</sup>	1	2,162	0,166	0,000		0,004	0,118	0,209
	2	1,266	0,325	0,041		0,004	0,227	0,167
	3	1,007	0,024	0,580		0,294	0,011	0,033
ABNT NBR 15421 (2006). A2 <sup>2</sup>	1	2,089	0,180	0,000		0,005	0,124	0,224
	2	1,291	0,323	0,035		0,003	0,204	0,164
	3	1,006	0,021	0,599		0,290	0,009	0,028
NT E.030 (2018). A1 <sup>1</sup>	1	2,178	0,177	0,000		0,005	0,123	0,215
	2	1,287	0,329	0,046		0,004	0,228	0,171
	3	1,026	0,027	0,582	0,000	0,283	0,013	0,034
NT E.030 (2018). A2 <sup>2</sup>	1	2,035	0,176	0,000		0,005	0,128	0,237
	2	1,336	0,322	0,045		0,005	0,207	0,125
	3	1,025	0,026	0,587		0,269	0,013	0,038
NP EN 8 (1998). A1 <sup>1</sup>	1	2,191	0,175	0,000		0,004	0,136	0,213
	2	1,361	0,306	0,046		0,005	0,199	0,165
	3	1,043	0,026	0,569		0,307	0,011	0,047
NP EN 8 (1998). A2 <sup>1</sup>	1	2,105	0,173	0,000		0,004	0,118	0,225
	2	1,343	0,324	0,038		0,004	0,194	0,133
	3	1,002	0,023	0,584		0,290	0,008	0,042

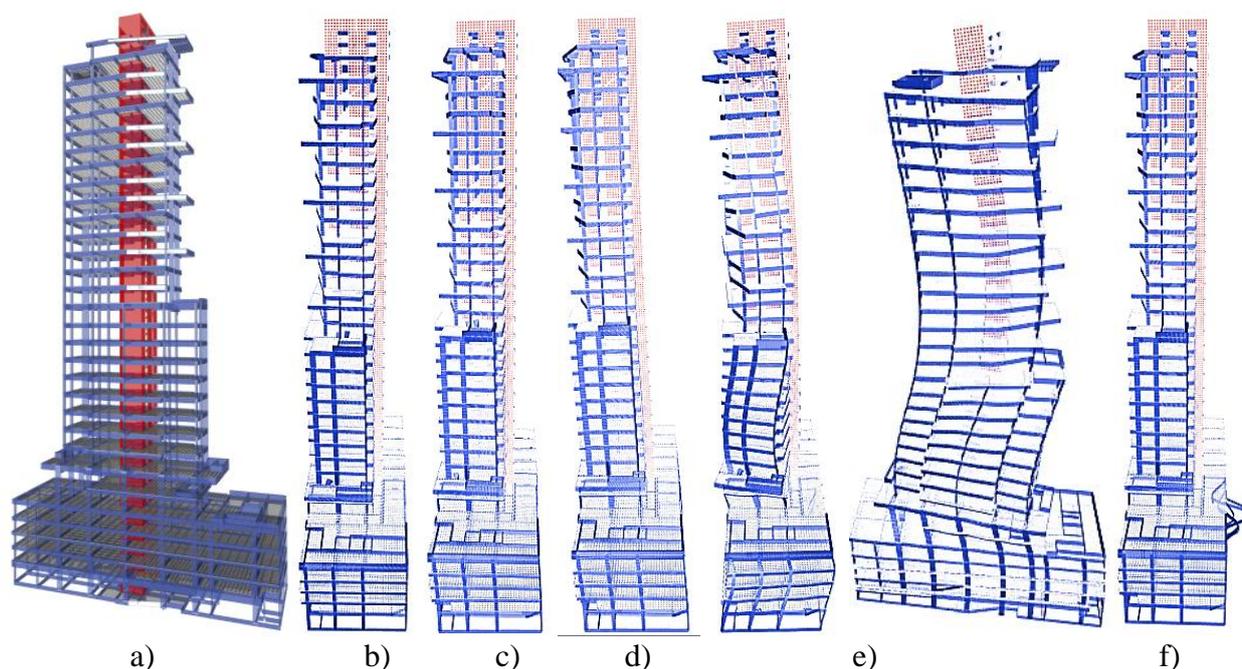
<sup>1</sup> A1 – Modelo com o uso da massa matricial designada pela norma.

<sup>2</sup> A2 – Modelo com o uso unicamente ações permanentes na massa matricial.

Analisados os resultados da Tabela 1, é possível constatar que os períodos obtidos com os vários modelos são semelhantes para cada modo. Além disso, haja visto que o primeiro modo de vibração é o que aponta para o maior percentual de participação de determinada direção ou eixo, evidencia-se que a rotação no eixo z é o comportamento mais pronunciado do edifício, que se caracteriza como torsional.

Já o segundo modo de vibração indica que o deslocamento na direção x é superior ao na direção y, presente no terceiro modo, pelo fato de a contribuição modal ser superior. Isso é esperado de um edifício com uma fachada significativamente reduzida na direção y, pois a rigidez resulta inferior nessa direção, quando comparada com à da direção x.

Ademais, destaca-se que a estrutura não apresenta deslocamento na direção z porque foram atribuídos engastamentos na base, de modo a não se considerar a interação solo-estrutura. Na Figura 2 é apresentado o modelo do edifício no *software* ETABS antes de ser discretizado, os três primeiros modos de vibração, bem como o oitavo e vigésimo modos, após a discretização e processamento dos dados, que representam os principais comportamentos da estrutura estudada.



**Figura 2 - a) Modelo no software ETABS, b) Modo 1, c) Modo 2, d) Modo 3, e) Modo 8 e f) Modo 20 de vibração.**

### ***Irregularidades estruturais***

Sobre as irregularidades estruturais, o edifício foi verificado para a norma brasileira e apresentou as diversas irregularidades que a mesma indica. Dessa forma, em planta foram identificados irregularidade torsional, descontinuidade na trajetória e elementos verticais do sistema sismorresistente não paralelos, enquanto na vertical a estrutura foi caracterizada com descontinuidade de trajetória e pavimento extremamente fraco.

Pela norma peruana, obteve-se em planta irregularidade torsional e torsional extrema. Na vertical foram constatadas irregularidade de rigidez e extrema de rigidez, assim como de massa, geométrica vertical, descontinuidade dos sistemas resistentes e extrema descontinuidade. Também foram feitas verificações pela norma portuguesa, onde se verificou que, em planta, a estrutura se caracterizou como torsionalmente flexível e, em altura, registrou irregularidade nas direções  $x$  e  $y$ .

É importante salientar que os espectros de aceleração desenvolvidos consideram uma situação espectral unicamente elástica para que sejam analisados os deslocamentos do edifício. Assim, não foram aplicadas as ponderações de cálculo que a NT E.030 (2018) e a NP EN 8 (1998) definem para a elaboração dos espectros de dimensionamento estrutural. Destaca-se, no que diz respeito à ABNT NBR 15421 (2006), que as ponderações de irregularidades estruturais não se aplicam para o desenvolvimento de um espectro de cálculo, pois são aplicadas diretamente nos esforços internos solicitantes utilizados no dimensionamento.

Logo, as curvas espectrais geradas apresentam acelerações sísmicas superiores ao que se utiliza para o dimensionamento dos elementos estruturais do edifício. Isso ocorre porque no dimensionamento estrutural é considerado pelas normas que as irregularidades estruturais amplificam de tal modo a vulnerabilidade sísmica, que a edificação resiste a um sismo de aceleração inferior ao que representa o espectro elástico. Entretanto, o efeito de tais irregularidades ainda é presente no edifício, pois interfere na excentricidade e nos centros de massa do mesmo. Além disso, foram identificados no edifício estudado pavimentos com excentricidade superior ao mínimo de 5% definido pelas normas. Por fim, definiu-se o sistema estrutural pela norma brasileira como dual, composto de pórticos e pilares-parede de concreto com detalhamento usual. Pela norma peruana na direção  $x$  de análise, caracterizou-se um sistema de muros estruturais, enquanto para a direção  $y$ , um sistema dual. Com relação à norma portuguesa, o prédio foi classificado como torsionalmente flexível em função das irregularidades.

## *Deslocamentos*

Primeiramente, é preciso destacar que os deslocamentos analisados são resultados das acelerações espectrais inseridas, não se considerando combinações de ações. Em se tratando dos resultados, constatou-se que as maiores variações ocorreram nos primeiros pavimentos, em virtude dos pavimentos de garagem receberem ações acidentais em maiores proporções que os pavimentos de apartamentos. Sendo assim, a Tabela 2 representa a redução percentual média entre os resultados de cada norma com a variação de massa ao longo dos níveis da estrutura.

**Tabela 2 – Redução percentual média de deslocamentos com a variação da massa do edifício**

Direção	Brasil	Portugal Tipo 01	Portugal Tipo 02	Peru
Direção <i>x</i>	2,47%	6,24%	6,37%	3,98%
Direção <i>y</i>	1,31%	7,81%	8,23%	4,79%

Com base nos percentuais apresentados na Tabela 2, foi possível observar que a variação das combinações de massa não resulta em deslocamentos significativamente discrepantes. De modo que, a consideração de ações acidentais, causou no pavimento mais crítico um aumento máximo nos deslocamentos não superior a 18%, com uma média de 5% de variação, ao longo do edifício, para todas as situações analisadas.

Assim, tendo em vista que para uma comparação direta entre as normas, a utilização de somente ações permanentes se mostra mais coerente, o enfoque deste estudo foi direcionado para os modelos nos quais se consideraram apenas ações permanentes para composição das matrizes de massa. Portanto, nas Figuras 2 são apresentados os deslocamentos por pavimentos, em metros, para a direção *x*, representada como X-Dir, com as normas brasileira, peruana e portuguesa. Nas Figuras 3 estão mostrados os deslocamentos na direção *y* de análise, chamada Y-Dir.

Como resultado de análise das Figuras 3 e 4, identificou-se que as variações mais abruptas de deslocamentos ao longo no edifício na direção *x* da ação sísmica ocorreram em função das irregularidades estruturais. O mesmo ocorreu para a direção *y*; contudo as irregularidades estruturais nessa direção são menos pronunciadas.

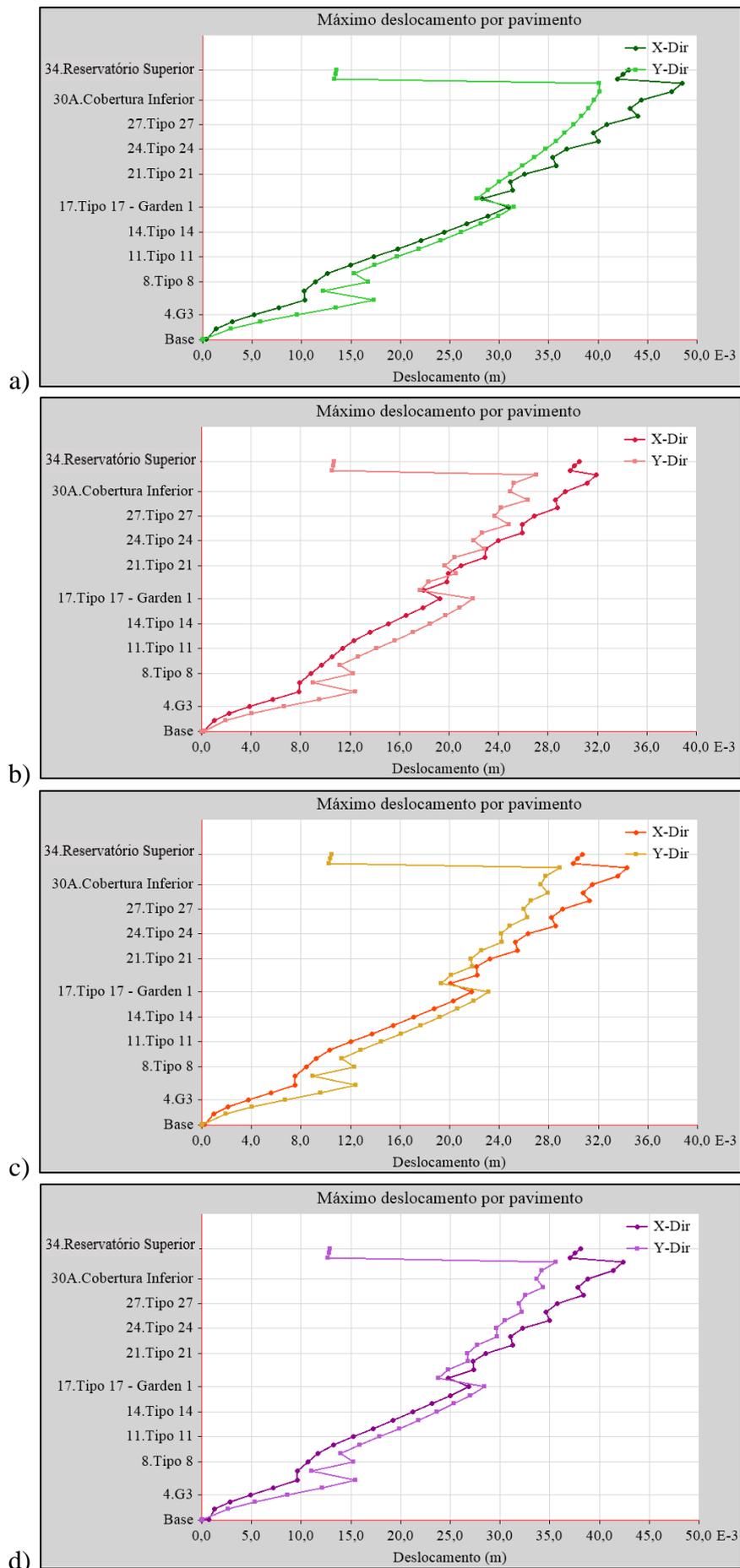
Sendo assim, a principal variação abrupta foi registrada entre os pavimentos de garagem do embasamento e o mezanino do pavimento de lazer logo acima. Tal variação ocorreu em função da irregularidade na vertical de piso extremamente fraco, pois os pavimentos de garagem, assim como o de lazer logo acima, possuem uma rigidez extremamente superior à rigidez do mezanino do lazer. Dessa forma, houve uma redução de rigidez abrupta do embasamento do edifício para a torre.

Foi constatado também que a norma brasileira gera os maiores deslocamentos, seguida pela norma portuguesa e a peruana respectivamente, algo já evidenciado nos estudos de Arai (2013) e Pinto (2020). Sendo assim, é possível afirmar que, do ponto de vista unicamente das formulações espectrais para o regime elástico, a ABNT NBR 15421 (2006) proporciona que as estruturas sejam preparadas para sofrer um impacto sísmico superior ao que a formulação espectral das demais normas. Esclarece-se que tal afirmação se restringe exclusivamente à análise de deslocamentos em regime elástico, requerendo-se um estudo comparativo entre as ponderações de dimensionamento estrutural.

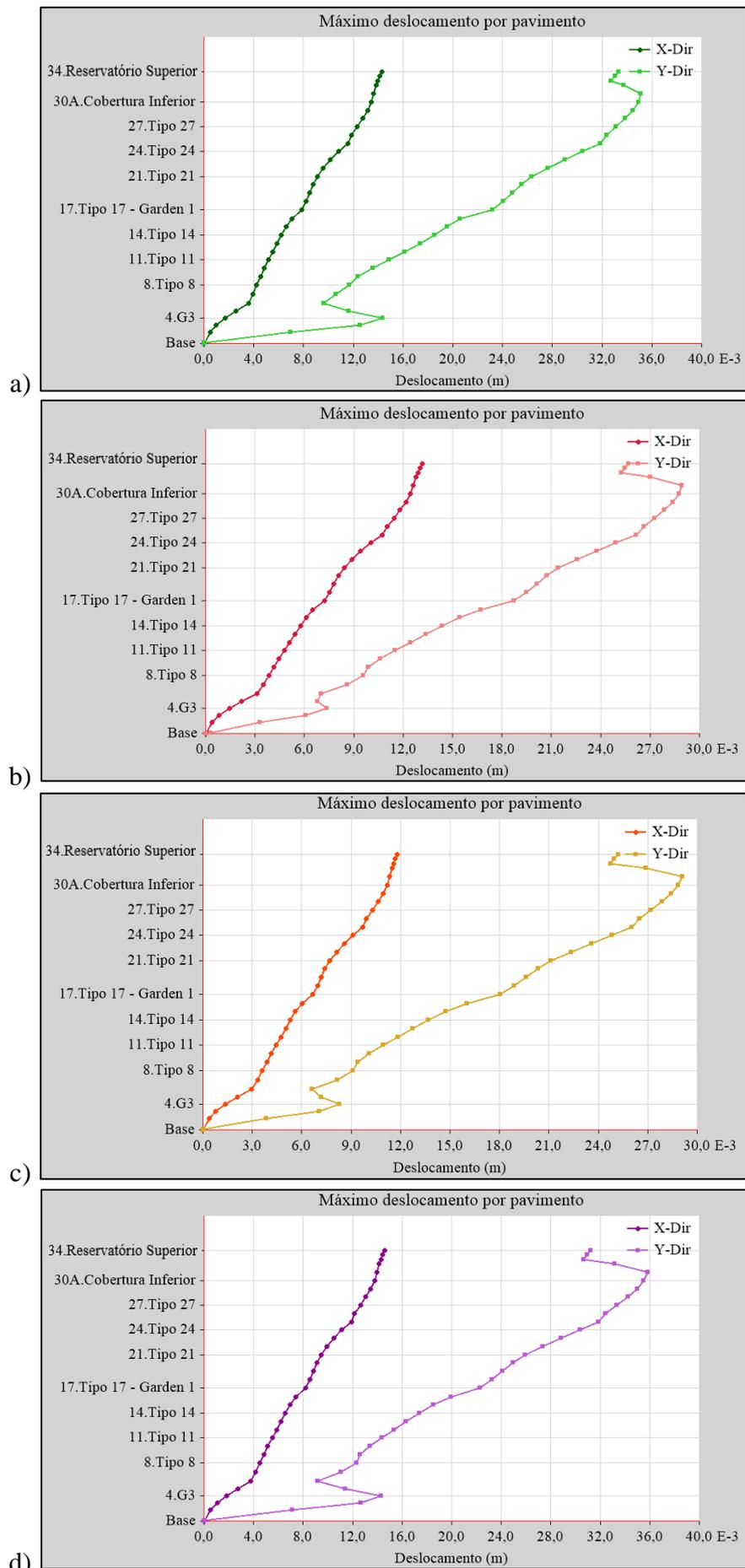
Além disso, ambas as normas, quando aplicadas adequadamente, preveem a resistência necessária que demandam as edificações.

Por fim, é importante salientar que o espectro elástico da norma brasileira representa uma ação sísmica que corresponde ao sismo tipo 1 da norma portuguesa.

Deve ser considerado, no futuro, o espectro de projeto proposto por Alves (2020), que provavelmente será adotado na próxima revisão da NBR 15421 (2006).



**Figura 3 – Deslocamentos entre pavimentos na direção x para a) ABNT NBR 15421 (2006), b) NT E.030 (2018), c) NP EN 8 (1998) para sismo tipo 1 e d) NP EN 8 (1998) para tipo 2.**



**Figura 4 – Deslocamentos entre pavimentos na direção y para a) ABNT NBR 15421 (2006), b) NT E.030 (2018), c) NP EN 8 (1998) para sismo tipo 1 e d) NP EN 8 (1998) para tipo 2.**

## Conclusões

A partir dos resultados aqui apresentados e discutidos, são concluídos e destacados os seguintes aspectos:

I. A ABNT NBR 15421 (2006), possui uma formulação espectral que gera os maiores patamares de acelerações espectrais elásticas entre as normas analisadas, como já apontado por Arai (2013) e Pinto (2020).

II. Com relação aos modos de vibração, os fatores de participação indicaram que a estrutura é irregular estruturalmente e que seu principal comportamento é torsional. Esta verificação dos modos de vibração permite uma percepção prévia das irregularidades estruturais antes que sejam aplicadas as verificações indicadas pelas normas.

III. Os fatores de participação modal também possibilitam uma interpretação inicial dos resultados de deslocamentos. Sendo que os deslocamentos produzidos pela norma brasileira foram superiores aos obtidos pela norma peruana e portuguesa, tal como os autores Arai (2013) e Pinto (2020) identificaram em seus estudos.

IV. O comportamento de edificações com irregularidades estruturais interfere nos resultados de deslocamentos ao longo da edificação. Havendo variação de configurações estruturais entre pavimentos que resultem em pontos de maior irregularidade estrutural, ocorre uma consequente maior variação de deslocamentos.

V. Adaptações normativas são necessárias quando se objetiva uma comparação entre diferentes normas, de modo que a utilização de uma mesma aceleração de zoneamento sísmico, perfil de solo e massa estrutural, ainda que representem situações hipotéticas, permitem uma comparação mais realística entre os espectros de resposta elástica.

## Referências

- ALVES, F. V. Estudo de sismicidade do Brasil para revisão da ABNT NBR 15421. Dissertação (Mestrado), Programa de Projeto de Estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2020.
- ARAI, A. Estudo comparativo de normas de projetos de estruturas resistentes a sismos. Dissertação (Mestrado), Programa de Projeto de Estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- ARAÚJO, J. M. Projeto estrutural de edifícios de concreto armado: um exemplo completo. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15421: Projeto de estruturas resistentes a sismos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
- CHOPRA, A. K. Dynamics of Structures. Fourth Edition. Pearson Education, 2012.
- FRANÇA, D. H. R. Análise sísmica de um edifício de concreto armado situado em diferentes zonas do Brasil. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2021. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/19560>.
- LIN, J.-L. TSAUR, C.-C. TSAI, K.-C. Two-degree-of-freedom modal response history analysis of buildings with specific vertical irregularities. Engineering Structures, [S.L.], v. 184, p. 505-523, Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.106>. 2019.
- LIMA, S. S. SANTOS, S. H. C. Análise dinâmica das estruturas. Rio de Janeiro. Ciência Moderna, 2008.
- MENDES, R. B. Análise dinâmica de um edifício alto irregular na cidade de João Pessoa: solução de melhoria do comportamento torsional. 2021. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, 2021. Disponível em: [https://sigarra.up.pt/fcnaup/en/pub\\_geral.pub\\_view?pi\\_pub\\_base\\_id=504561](https://sigarra.up.pt/fcnaup/en/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=504561).
- MINISTÉRIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Norma Técnica E.030: Diseño Sismorresistente. Lima, 2018.

- MIRANDA, P. S. T. A Influência das Ações Sísmicas nas Edificações Brasileiras em Concreto Armado. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2021. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/133133>.
- NORMA PORTUGUESA-NP EN 8. NP EN 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos, 1998. Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios. Lisboa. 1998.
- PALAGALA, V. SINGHAL, V. Structural score to quantify the vulnerability for quick seismic assessment of RC framed buildings in India. *Engineering Structures*, [S.L.], v. 243, p. 1-13, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112659>.
- PÉREZ PEÑA, L. A. Análise dos efeitos provocados por abalos sísmicos em estruturas irregulares. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília, 2012.
- PINTO, J. H. D. S. Estudo comparativo de normas de projetos de estruturas resistentes a sismos. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Projeto de Estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.
- SORIANO, H. L. Introdução à dinâmica das estruturas. Rio de Janeiro. Elsevier, 2014.
- TENA-COLUNGA, A. Conditions of structural irregularity. Relationships with observed earthquake damage in Mexico City in 2017. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, [S.L.], v. 143, p. 1-29, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106630>.
- VEIGA, T. P. Comportamento de um edifício alto assimétrico quando submetido à ação dinâmica sísmica por diferentes normativas. Trabalho de Iniciação Científica e Tecnológica apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Itajaí, Escola do Mar, Ciência e Tecnologia. 2022.