

Análise simplificada do efeito de ações sísmicas em edifícios de concreto armado dimensionados pela norma brasileira

Rafael Nunes da Cunha^[1], Daniel Victor da Cunha Teles^[2], David Leonardo Nascimento de Figueiredo Amorim^[3]

[1] rafaelnunes1996ufs@gmail.com. [2] danielvcteles@gmail.com. [3] david.amorim@ufs.br. Universidade Federal de Sergipe/Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

RESUMO

Sismos são eventos naturais, causados principalmente devido ao movimento relativo entre placas tectônicas (sismos interplacas) e em falhas entre blocos rochosos (sismos intraplacas), ou induzidos pela atividade humana. Pode-se observar uma relação entre as regiões situadas em zonas com maior sismicidade e as zonas que estão próximas de várias falhas intraplacas e reservas de gás xisto no Brasil. De acordo com a NBR 15421/2006, essa condição resulta em um mapa de acelerações sísmicas características de projeto. Tais acelerações podem ser usadas para estimar cargas horizontais equivalentes. Entretanto, não é usual a consideração desses efeitos no dimensionamento de edifícios de concreto armado. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a estabilidade global de edifícios de concreto armado com diferentes sistemas de contraventamento, sujeitos a acelerações sísmicas previstas na NBR 15421/2006. Inicialmente, a estabilidade global foi verificada considerando-se as ações de vento e desaprumo, além das cargas verticais, por meio do coeficiente γ_z . Dessa forma, todos os pórticos deste trabalho comportam-se como estruturas de nós fixos ($\gamma_z \leq 1,10$). Em seguida, as ações de vento foram substituídas por ações sísmicas, pois é improvável a ocorrência simultânea de ambos os eventos. Por fim, a estabilidade global foi reavaliada por meio do coeficiente γ_z . Com isso, observou-se que os todos os edifícios analisados passaram a se comportar como estruturas de nós móveis ($\gamma_z > 1,10$), ou seja, suscetíveis aos efeitos globais de segunda ordem.

Palavras-chave: Sismo. Edifícios de concreto armado. Estabilidade global. Efeitos globais de segunda ordem.

ABSTRACT

Earthquakes are natural events, caused mainly due to the relative movement between tectonic plates (inter-plate earthquakes) and in faults between rocky blocks (intra-plate earthquakes), or induced by human activity. It is possible to observe a relation between the regions located in areas with greater seismicity and the areas that are close to several intraplate failures and shale gas reserves in Brazil. According to NBR 15421/2006, this condition results in a map of seismic accelerations characteristic of the design. Such accelerations can be used to estimate equivalent horizontal loads. However, it is not usual to consider these effects in the design of reinforced concrete buildings. Therefore, this work aims to evaluate the global stability of reinforced concrete buildings with different bracing systems, subject to seismic accelerations provided for in NBR 15421/2006. Initially, the global stability was verified considering the wind and vertical actions by the γ_z coefficient. Therefore, all the frames analysed in this paper behaved as non-sway structures ($\gamma_z \leq 1,10$). Then the wind actions were replaced by seismic ones since it is improbable that both phenomena occur simultaneously. Finally, global stability was re-evaluated by means of the γ_z coefficient. Therewith, it was observed that all the buildings analysed started to behave as structures of mobile nodes ($\gamma_z > 1,10$), that is, susceptible to the second-order global effects.

Keywords: Earthquakes. Reinforced concrete buildings. Global stability. Second order global effects.

1 Introdução

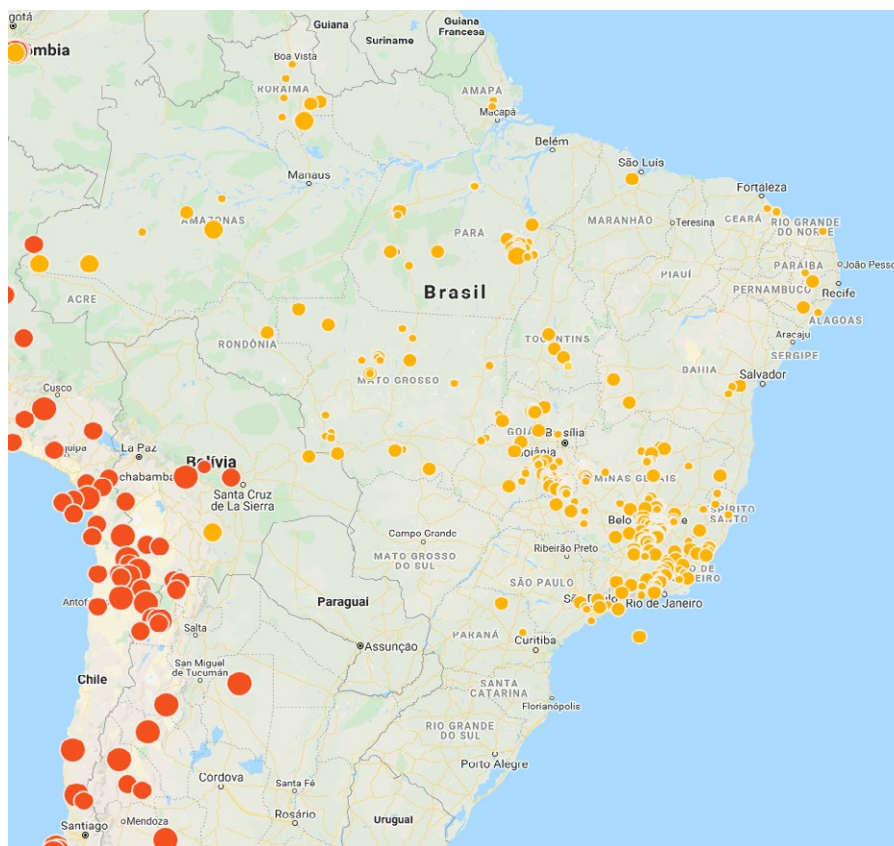
Abalos sísmicos causam ações que podem apresentar consequências catastróficas. Os sismos podem ser naturais ou induzidos pela atividade humana. Os naturais são causados, principalmente, devido ao movimento relativo entre as placas tectônicas (denominados sismos interplacas, mais frequentes e de maior magnitude) e em falhas entre blocos rochosos (denominados sismos intraplacas). Os sismos induzidos ocorrem devido à acomodação do solo, provocadas, principalmente, por mineração, explosão subterrânea e extração de água de aquífero.

Sendo assim, o sismo é uma ação dinâmica com grande poder destrutivo em diversas regiões

do planeta, mas no Brasil a sismicidade é bastante reduzida, devido ao fato de que o território está situado no interior da Placa Sul-Americana sem falha geológica relevante. No entanto, mesmo no país, em obras de grande magnitude, como instalações nucleares, hidroelétricas e sistemas de exploração de petróleo, é necessário considerar a ação sísmica.

Para caracterizar os sismos ocorridos no Brasil foram utilizados os dados do Observatório Sismológico de Brasília (SIS/UnB). Tal observatório registrou 910 eventos sísmicos entre julho de 2019 e janeiro de 2020, sendo quase 700 desses eventos ocorridos no Brasil, com diferentes magnitudes. A Figura 1 ilustra a distribuição de tais eventos.

Figura 1 – Distribuição dos eventos sísmicos no Brasil entre julho de 2019 e janeiro de 2020.



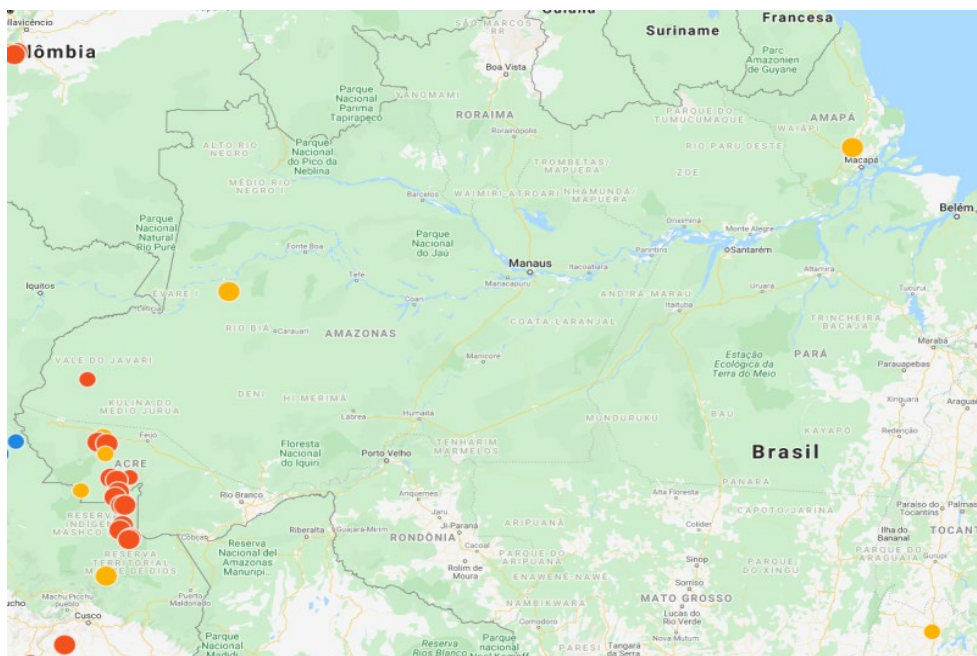
Fonte: Observatório Sismológico (2020).

Ainda segundo os dados do SIS/UnB, os eventos com maiores magnitudes registrados no Brasil, no mesmo período, ocorreram nas cidades de Rorainópolis (RR) e Guajará (AM), ambos com magnitude de 3,9 graus na escala Richter.

De acordo com Soriano (2014), sismos com magnitude a partir de 5 graus são potencialmente

destrutivos. Nos últimos 10 anos foram registrados 14 eventos no Brasil que se enquadram nessa categoria, sendo a maior parte desses ocorridos no estado do Acre, como pode ser visto na Figura 2. No mesmo período, o evento com maior magnitude registrado no Brasil, ocorreu na cidade de Feijó, estado do Acre, com magnitude de 7,4 graus na escala Richter.

Figura 2 – Sismos com magnitude acima de 5 graus ocorridos no Brasil nos últimos 10 anos.



Fonte: Observatório Sismológico (2020).

A NBR 15421 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) apresenta uma metodologia simplificada de cálculo para considerar efeitos sísmicos nas estruturas usuais, de forma a obter forças horizontais equivalentes que podem ser utilizadas para a verificação da segurança da estrutura.

Para analisar estabilidade global, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) indica um processo simplificado de cálculo utilizando o parâmetro γ_z , em que as forças horizontais devido a ação do vento e/ou desaprumo provocam deslocamentos horizontais, acarretando o acréscimo dos esforços internos atuantes na estrutura (esforços de segunda ordem).

Estudos anteriores avaliam a utilização do parâmetro γ_z . Bueno e Loriggio (2016) mostraram que o parâmetro γ_z foi efetivo para quantificar os efeitos de segunda ordem em termos de deslocamento horizontal e momento fletor para estruturas de concreto armado. Vieira, Rodrigues Junior e Veloso (2017) realizaram uma análise comparativa em diferentes estruturas idealizadas e propuseram um fator de amplificação semelhante ao γ_z , com resultados satisfatórios para um dado intervalo deste parâmetro. Diniz, Lages e Barboza (2019) avaliaram a influência da ligação viga-pilar-parede na instabilidade global da estrutura por meio do coeficiente γ_z . Por fim, Cunha, Mendes e Amorim (2020) apresentaram um parâmetro alternativo para avaliar estabilidade global de estruturas com sistema

de contraventamento formado pela associação de pórticos e pilares-parede com boa acurácia.

Diante do exposto, o presente trabalho visou comparar a estabilidade global devido a ações horizontais equivalentes causadas por sismos confrontando-as com as comumente utilizadas em projetos (vento e desaprumo). Para tanto, a estabilidade global de pórticos planos foi analisada com diferentes sistemas de contraventamento, por meio do parâmetro γ_z . Além disso, também foi considerado o desaprumo devido a imperfeições geométricas, conforme indicado no item 11.3.3.4.1 da NBR 6118/2014.

2 Referencial Teórico

Culturalmente, admite-se que no Brasil não há ocorrência de sismos. Entretanto, tremores de terra de baixa intensidade ocorrem em todo o território brasileiro devido ao desgaste da placa tectônica ou por influência de sismos com epicentro em países próximos.

Os códigos normativos de projeto recomendam análises dinâmicas em regiões com sismos de maior relevância, enquanto que possibilitam análises determinísticas com forças estáticas horizontais equivalentes para estruturas usuais em locais com sismos de pequena intensidade. O primeiro procedimento é mais geral e consistente, porém, o segundo procedimento é mais utilizado em projetos

de edificações usuais devido à sua simplicidade, facilidade de definição da ação sísmica e por requerer processamento computacional menos custoso.

Uma das maneiras de avaliar sismos é pela quantidade de energia liberada, e entre as várias escalas dessa avaliação, a mais utilizada é a Escala Richter. Tal escala é logarítmica, não tem limite superior, e um sismo é potencialmente destrutivo a partir de 5,0 graus, sendo que o de maior magnitude já registrado foi de 9,5 graus que ocorreu em 22 de maio de 1960, no Chile. Por ser uma escala logarítmica, um sismo de grau 7,0 libera cerca de 30 vezes mais energia do que um sismo de grau 6,0. Além disso, um sismo de grau 6,0 corresponde a cerca de 3,7 bombas de Hiroshima, enquanto que um de grau 8,9, corresponde aproximadamente a 108400 dessas bombas (SORIANO, 2014).

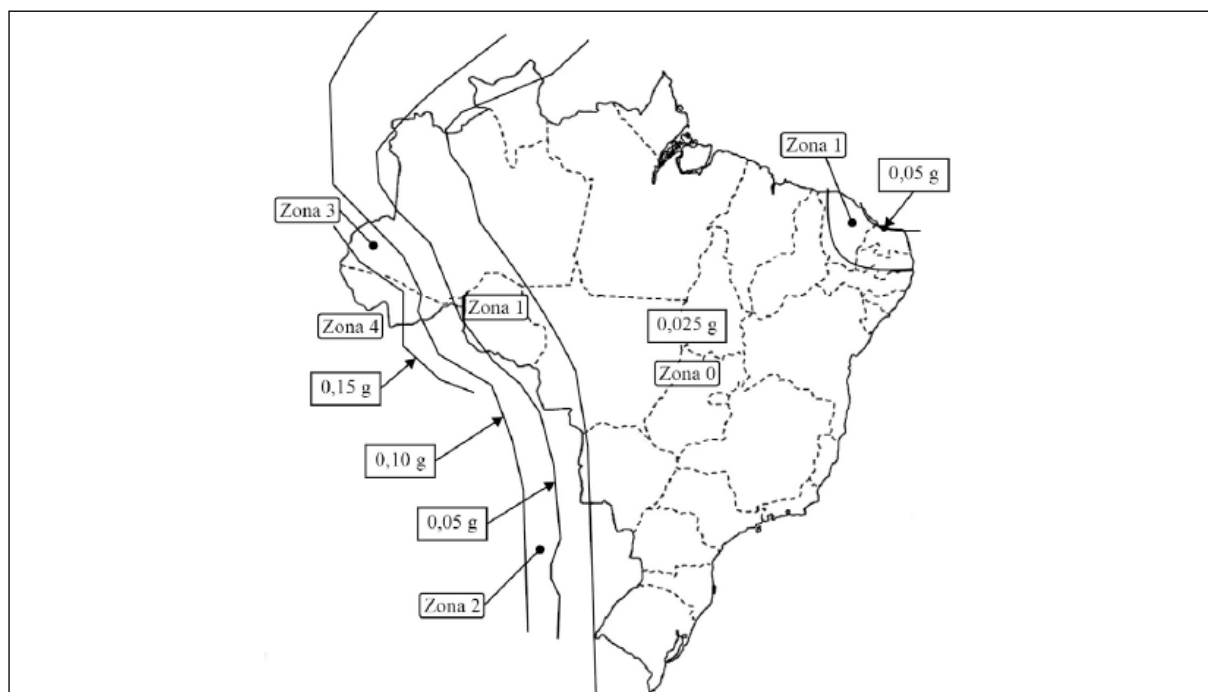
Apesar de importantes para quantificar os efeitos do sismo, a avaliação da magnitude e da intensidade de sismos não tem utilidade prática no projeto de estruturas. Porém, é possível definir as regiões mais suscetíveis a sismos com prováveis acelerações máximas. Sendo assim, os países sujeitos a sismos severos disponibilizam códigos normativos que quantificam as ações sísmicas e apresentam critérios para projeto de edificações sismorresistentes.

No Brasil, a norma NBR 15421 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), que se destina ao projeto das estruturas civis usuais resistentes a sismos, divide o país em cinco zonas com acelerações sísmicas horizontais características de projeto, em percentuais da aceleração da gravidade, como ilustrado na Figura 3. Para estruturas localizadas nas zonas 1 a 3, os valores de aceleração devem ser obtidos por interpolação.

A NBR 15421/2006 apresenta procedimento simplificado para uma análise com forças horizontais equivalentes (semelhante ao feito com cargas de vento), que levam em consideração a aceleração sísmica e o efeito da amplificação dessa no solo, como também orienta a utilização de métodos de análise dinâmica.

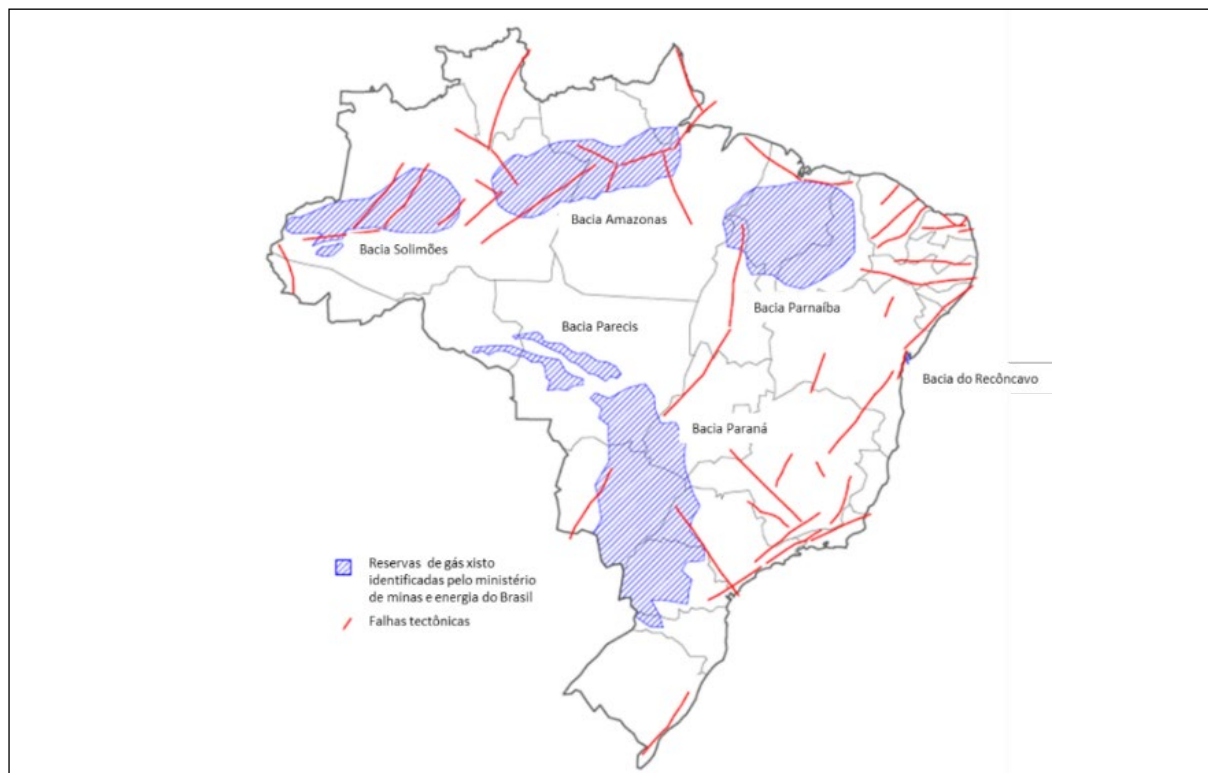
Como mencionado em Assumpção *et al.* (2014), terremotos no Brasil são de duas a três vezes mais propensos a acontecer próximo às falhas neotectônicas. Dessa forma, pode-se notar uma relação entre a Figura 3 e a Figura 4, nas quais as regiões situadas em zonas com maior sismicidade estão próximas de várias falhas neotectônicas e/ou regiões de reservas de gás xisto.

Figura 3 – Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica de projeto.



Fonte: NBR 15421 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006)

Figura 4 – Falhas tectônicas no Brasil e reservas de gás xisto.



Fonte: Silva et. al. (2018).

Vale ressaltar que o efeito de um sismo em uma estrutura depende não apenas de sua magnitude, mas também das propriedades da estrutura, como distribuições de rigidez e massa, assim como sua ductilidade. Dessa forma, uma estrutura mais rígida do que outra não significa necessariamente que tenha melhor comportamento contra sismo. Sabe-se que os edifícios mais flexíveis são os mais suscetíveis ao efeito do vento, enquanto que no caso de sismos, a situação se inverte, e os edifícios mais rígidos são os mais sensíveis.

Na análise dinâmica de estruturas de edifícios de base rígida podem ser concebidos modelos com diferentes graus de refinamento. A NBR 15421/2006 admite a idealização das lajes como rígidas, e como flexíveis em seus próprios planos, em procedimento de análise com a representação da ação sísmica por meio de forças horizontais estáticas equivalentes.

O procedimento de cargas estáticas equivalentes depende da altura do pavimento, peso total vertical da estrutura, tipo de solo, sistema estrutural resistente e importância da estrutura. Inicialmente, a força equivalente total na base é determinada, utilizando a Equação 1:

$$H = C_s W \tag{1}$$

, em que W é o peso total da estrutura e C_s é o coeficiente de resposta sísmica, calculado pela Equação 2:

$$C_s = \frac{2,5 \frac{a_{gs} 0}{g}}{\frac{R}{I}} \tag{2}$$

, sendo $a_{gs} 0$ a aceleração espectral dada na Equação (4); g é a aceleração da gravidade; I é o fator de importância da estrutura, adotado para o presente trabalho como estruturas de importância substancial para a preservação da vida humana, com o valor de 1,25, dado na Tabela 4 na NBR 15421/2006; e R é o coeficiente de modificação da resposta, dado na Tabela 6 da supracitada norma, adotado igual a 3 para as estruturas sistema de contraventamento formado apenas por pórticos e 4,5 para as estruturas com sistema de contraventamento formado por pórticos e pilares-parede. O parâmetro $a_{gs} 0$, que é a aceleração espectral é calculado pela Equação 3, dado por:

$$a_{gs0} = C_a a_g \quad (3)$$

O valor de C_a é obtido de acordo com o tipo de solo o qual a estrutura se situa, apresentados na Tabela 3 da NBR 15421/2006 e a_g é a aceleração relativa do sismo, referente a cada zona, ilustrada na Figura 3.

O valor de C_s , dado na Equação 2, “não precisa ser maior que o valor” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) dado na Equação 4 e deve ser maior que 0,01:

$$C_s = \frac{\frac{a_{gs1}}{g}}{T_a \frac{R}{I}} \quad (4)$$

, em que a_{gs1} é a aceleração espectral dada na Equação (5) e T_a é o período da estrutura, dado na Equação (6).

$$a_{gs1} = C_v a_g \quad (5)$$

$$T_a = C_r h_n^x \quad (6)$$

O valor do parâmetro C_v também é obtido na Tabela 3 da NBR 15421/2006, de acordo com o tipo de solo o qual a estrutura se situa. h_n é a altura total do pórtico analisado, C_r e x são os coeficientes de período da estrutura iguais a 0,0466 e 0,9, respectivamente, para estruturas com sistema de contraventamento formado apenas por pórticos e 0,0488 e 0,75, respectivamente, para estruturas com sistema de contraventamento formado por pórticos e pilar-parede.

A distribuição da carga equivalente ao longo dos pavimentos leva em consideração a ponderação das cargas verticais de cada pavimento e é dada pela Equação 7,

$$F_x = C_{vx} H \quad (7)$$

, sendo H a altura do pavimento analisado e C_{vx} o coeficiente de distribuição vertical, dado pela Equação 8:

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (8)$$

, onde w_i e w_x são as parcelas do peso efetivo total que correspondem às elevações i ou x , respectivamente, h_i e h_x são as alturas entre a base e as elevações i ou x , respectivamente e k é o coeficiente de distribuição, relacionado ao período da estrutura, dado pela Equação 9:

$$k = \begin{cases} 1, & \text{se } T_a < 0,5 \text{ s} \\ \frac{T_a + 1,5}{2}, & \text{se } 0,5 \text{ s} \leq T_a \leq 2,5 \text{ s} \\ 2, & \text{se } T_a > 2,5 \text{ s} \end{cases} \quad (9)$$

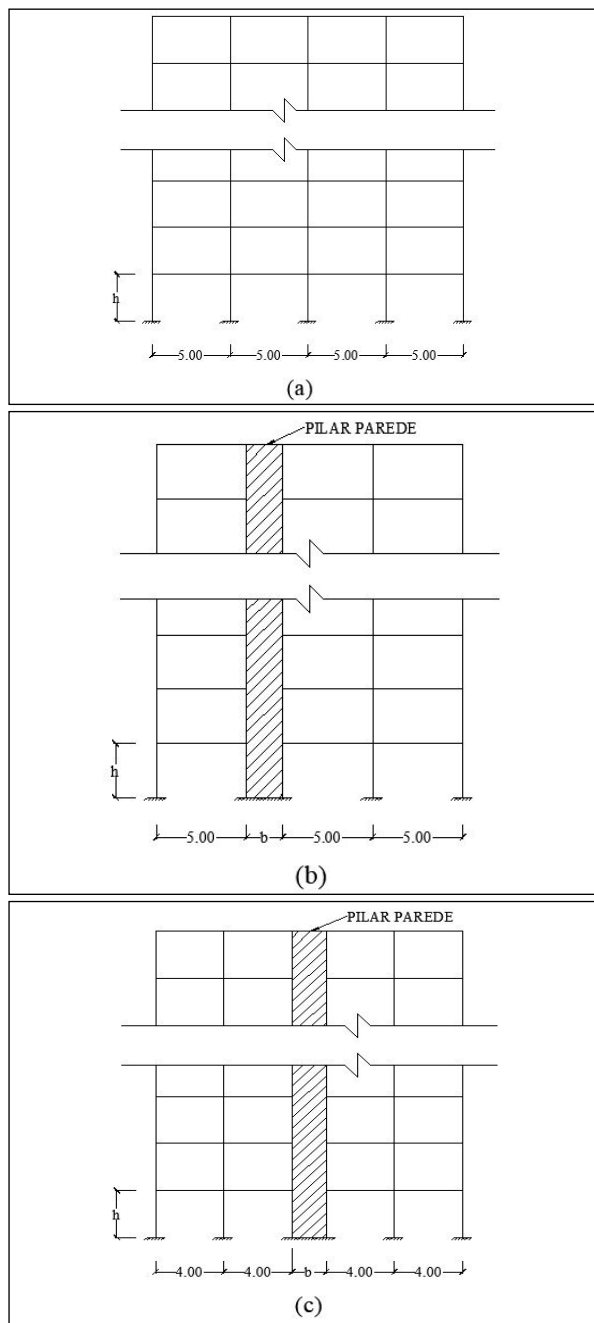
3 Metodologia

No presente estudo, a análise de estabilidade global de estruturas (item 15.5.3 da NBR 6118/2014) foi realizada com diferentes números de pavimentos, e com sistemas de contraventamento formado por pórticos planos (Figura 5a) e pela associação de pórticos e pilares-parede (Figuras 5b e 5c). O modelo da Figura 5a foi utilizado para avaliar estruturas de 5, 10 e 20 pavimentos. Já o modelo da Figura 5b foi utilizado para avaliar estruturas com 5 e 10 pavimentos, e o modelo da Figura 5c para avaliar estruturas com 20 pavimentos. Em todos os casos a altura entre níveis () foi adotada igual a 3,0 m.

Para analisar a estabilidade global das estruturas, primeiramente foi utilizado o procedimento apresentado na NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), a fim de determinar as cargas horizontais devido ao vento em edificações usuais. A velocidade básica utilizada foi 30 m/s, com fator topográfico igual a 1,00 (terrenos planos com poucas ondulações), considerando o terreno na categoria IV para o cálculo do fator de rugosidade, e coeficiente de arrasto calculado para situação de baixa turbulência.

Tal carregamento foi aplicado nos pórticos, sendo determinados os deslocamentos horizontais de cada pavimento. Com tais deslocamentos, e considerando as imperfeições geométricas, foi possível calcular o coeficiente γ_z . Para que as estruturas fossem consideradas indeslocáveis ou de nós fixos, e assim não fosse necessário realizar uma análise global de segunda ordem, tal parâmetro foi calculado de forma que o valor obtido ficasse abaixo de 1,10.

Figura 5 – Modelos dos pórticos analisados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A fim de determinar as possíveis consequências da não consideração das cargas horizontais equivalentes, por meio do uso da NBR 15421/2006 na estabilidade global das estruturas, os procedimentos de cálculo apresentados na seção 2 foram aplicados nas estruturas apresentadas na Figura 5. A Tabela 1 indica as características geométricas dos elementos de tais estruturas.

Inicialmente, apenas os efeitos causados pela ação do vento foram considerados, além de considerar possíveis desaprumos causados por imperfeições geométricas, conforme sugerido no item 11.3.3.4.1 da NBR 6118/2014. Posteriormente, foi realizado o procedimento descrito na seção 2 da norma NBR 15421/ 2006 com a finalidade de determinar as forças horizontais equivalentes sísmicas, que foram aplicadas em substituição à carga de vento, dado que é improvável a ocorrência simultânea de ambas as ações, de acordo com a norma NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Após aplicados tais carregamentos horizontais, o parâmetro de estabilidade global γ_z foi recalculado para cada uma das estruturas (Tabela 2).

Em todos os casos analisados as ações oriundas do vento e sismo prevaleceram em relação as ações devido ao desaprumo provocado pelas imperfeições geométricas.

4 Resultados e discussão

Conforme exposto na Tabela 2, o parâmetro de estabilidade global γ_z aumentou em todas as estruturas analisadas, de forma que todas deixam de ser consideradas de nós fixos ($\gamma_z > 1,10$). Na estrutura com 20 pavimentos, com sistema de contraventamento formado apenas por pórticos, poderia ser realizada uma análise simplificada, conforme indicado no item 15.7.2 da norma NBR 6118/2004, em que as ações horizontais devem ser majoradas por $0,95\gamma_z$. Enquanto que para as estruturas de 5 e 10 pavimentos, ainda com o mesmo sistema de contraventamento, devem ser realizadas análises mais sofisticadas, para determinação dos esforços finais, incluindo os de segunda ordem.

Com relação as estruturas com sistema de contraventamento, formado pela associação de pórticos e pilares-parede, uma análise mais sofisticada seria necessária para determinar os esforços finais da estrutura de 10 pavimentos. Por outro lado, para as estruturas de 5 e 20 pavimentos, a análise simplificada supracitada, apresentada na NBR 6118/2014 pode ser utilizada. Além disso, para todas as estruturas com o último sistema de contraventamento citado, poderia ser utilizado uma análise com o coeficiente alternativo ζ_g proposto por Cunha, Mendes e Amorim (2020).

Tabela 1 – Dimensões das estruturas analisadas.

Nº de pavimentos	Sistema de contraventamento				
	Apenas pórticos		Pórticos associados a pilares-parede		
	Dimensões (cm)		Dimensões (cm)		
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares	Pilares-parede
5	20x30	35x35	15x40	35x35	25x125
10	25x40	40x40	15x40	30x50	25x200
20	30x55	45x45	20x60	30x60	20x400

Fonte: Dados dos autores.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros de estabilidade global γ_z .

Nº de pavimentos	Sistema de contraventamento					
	Apenas pórticos		Aumento relativo (%)	Pórticos associados a pilares-parede		
	Ação			Ação		
	Vento	Sismo	Vento	Sismo	Aumento relativo (%)	
5	1,0768	1,3040	21,10	1,043	1,1522	9,45
10	1,0795	1,3908	28,84	1,067	1,3156	18,87
20	1,0854	1,1761	8,36	1,054	1,2028	12,38

Fonte: Dados dos autores.

5 Conclusões

No Brasil, usualmente para efeitos de projetos estruturais, admite-se a não ocorrência de sismos. No entanto, é sabido que tremores de terra de baixa intensidade ocorrem em todo o território brasileiro. Assim, o presente trabalho analisou a estabilidade global de estruturas considerando a ação horizontal equivalente a sismos, apresentada na norma NBR 15421/2006.

Após realizadas as análises, observou-se que o parâmetro de estabilidade global γ_z aumentou em todas as estruturas analisadas. Mesmo com tal acréscimo, em algumas das estruturas a análise simplificada dada no item 15.7.2 da NBR 6118/2014 poderia ser realizada. No entanto, algumas das estruturas tiveram o parâmetro demasiadamente ampliado, de forma a não ser possível a utilização do critério simplificado anteriormente citado. Nestes casos, uma análise mais acurada torna-se necessária, para determinação dos esforços finais, incluindo os de segunda ordem. Além disso, novos estudos propõem a utilização de critérios alternativos para avaliação de estabilidade global, tais como o processo P- Δ ou o coeficiente alternativo ζ_g (CUNHA, MENDES e AMORIM, 2020).

Diante do exposto, nota-se que todas as estruturas analisadas passaram a se comportar como de nós móveis, ou seja, suscetíveis aos efeitos globais de segunda ordem. Assim, os esforços internos de tais estruturas são ampliados com relação aos obtidos realizando apenas a análise de estabilidade global considerando a ação do vento. Dessa forma, conclui-se que as estruturas usuais do Brasil poderiam estar subdimensionadas para a ocorrência de sismos de baixa magnitude.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro (Brasil): ABNT, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 8681**: ações e segurança nas estruturas - procedimento. Rio de Janeiro (Brasil): ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15421**: Projeto de estruturas resistentes a sismos - Procedimento. Rio de Janeiro (Brasil): ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto
- Procedimento. Rio de Janeiro (Brasil): ABNT, 2014.

ASSUMPÇÃO, M. *et al.* Intraplate seismicity
in Brazil. In: TALWANI, P. (Ed.) **Intraplate
earthquakes**. Cambridge (United Kingdom):
Cambridge University Press, 2014. p. 50-71.

BUENO, J. R.; LORIGGIO, D. D. Análise de efeitos de
2ª ordem: estudo de caso. **Revista IBRACON de
Estruturas e Materiais**, v. 9, n. 4, p. 494-509, 2016.

CUNHA, R. N.; MENDES, L. A.; AMORIM, D. L. N.
F. Proposta de critério simplificado para estimar
efeitos de segunda ordem em edifícios de concreto
armado. **Revista IBRACON de Estruturas e
Materiais**, v. 13, n. 2, p. 200-211, 2020.

DINIZ, C. W. S.; LAGES, E. N.; BARBOZA, A. S.
R. Estabilidade global de sistemas estruturais
de edifícios considerando a ligação viga-pilar
parede. **Revista IBRACON de Estruturas e
Materiais**, v. 12, n. 4, p. 705-737, 2019.

OBSERVATÓRIO SISMOLÓGICO. UNIVERSIDADE
DE BRASÍLIA. UnB. Disponível em: <http://www.sisbra.unb.br/sisbra>. Acesso em: jan. 2020.

SILVA, A. H. A. *et al.* Towards a methodology to
evaluate the impact of induced seismicity on the
structural integrity of reinforced concrete structures.
In: ICVRAM ISUMA UNCERTAINTIES CONFERENCE,
2018, Florianópolis (Brasil). **Proceedings...** 2018.

SORIANO, H. L., **Introdução à dinâmica das
estruturas**. 1. ed. Rio de Janeiro (Brasil): Elsevier, 2014.

VIEIRA, V. V. S.; RODRIGUES JUNIOR, S. J.;
VELOSO, L. A. C. M. Análise da estabilidade
global de edifícios de concreto armado utilizando o
coeficiente α_z . **Revista IBRACON de Estruturas
e Materiais**, v. 10, n. 5, p. 1113-1140, 2017.