

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL EM FUNÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO COM DIFERENTES AGREGADOS

Leonardo Martins e Silva (UFSCAR) E-mail: leonardo_ms@msn.com
Roberto Chust Carvalho (UFSCAR) E-mail: robertochustcarvalho@gmail.com
Fernando Menezes de Almeida Filho (UFSCAR) E-mail: almeidafilho@ufscar.br
Wallison Angelim Medeiros (UFSCAR) E-mail: wamedeiros@gmail.com

Resumo: Discorre-se sobre o módulo de elasticidade e sua influência no efeito de segunda ordem nas edificações e no deslocamento de topo de edifícios sob a perspectiva da ABNT NBR 6118/2014, que recomenda maior ou menor rigidez em função do agregado do concreto. Para tal análise, utiliza-se um edifício modelo de 16 pavimentos e planta simétrica. Um modelo de referência é idealizado, com o módulo de elasticidade intermediário que segue a norma anterior de estruturas de concreto ABNT NBR 6118/2007 e então análises adicionais com valor máximo e mínimo de rigidez baseado apenas no agregado. Os efeitos de segunda ordem são avaliados com o coeficiente γ_z e do processo P-Delta, realizado com o software SAP2000. O modelo atribui menor resistência e rigidez para o concreto nos pavimentos superiores, simulando uma prática de projeto comum. Os resultados são confrontados com modelo de referência. Assim como já consolidado, em primeira ordem a relação entre módulo de elasticidade e deslocamento de topo é linear. Porém a influência é superior na análise de segunda ordem: situação em que um acréscimo de rigidez de 1,2 decorreu em reduções maiores que 1,2 no deslocamento e coeficiente γ_z , e reduções no módulo de elasticidade em 30% acarretaram acréscimos superiores aos deslocamentos.

Palavras-chave: Efeitos de segunda ordem, módulo de elasticidade, agregado, estabilidade global.

GLOBAL STABILITY EVALUATION AS A FUNCTION OF THE CONCRETE ELASTIC MODULUS WITH DIFFERENT AGGREGATES

Abstract: The elastic modulus and its influence on the second-order effect on buildings and the top displacement of buildings are discussed in the perspective of ABNT NBR 6118/2014, which recommends more or less rigidity as a function of the concrete aggregate. For this analysis, a 16-storey model building with a symmetrical plan is used. A reference model is idealized, with the intermediate elastic modulus following the previous standard for concrete structures ABNT NBR 6118/2007 and then additional analyzes with maximum and minimum value of stiffness based only on the aggregate. The second order effects are evaluated with the coefficient γ_z and the P-Delta process, performed with software SAP2000. The model assigns lower strength and rigidity to the concrete on the upper floors, simulating a common design practice. The results are compared with the reference model. As already consolidated, in the first order the relationship between elastic modulus and top displacement is linear. However, the influence is higher in the second order analysis: a situation in which an increase in stiffness of 1.2 occurred in reductions greater than 1.2 in the displacement and coefficient γ_z , and reductions in the elastic modulus in 30% entailed increases higher than the displacements.

Keywords: Second order effects, elastic modulus, aggregate, global stability.

1. Introdução

Várias são as características dos materiais que são utilizadas nos projetos estruturais, por exemplo, resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade, deformação de escoamento e ruptura, entre outras. Para projetos de edificações em concreto armado, tanto o aço quanto o concreto deverão ter suas características analisadas, para que possam ser aplicadas no projeto estrutural adequadamente, e provendo segurança e economia.

No Brasil, o projeto e dimensionamento de estruturas de concreto armado e protendido

seguem as diretrizes da norma ABNT NBR 6118/2014, a versão mais atual da norma de concreto armado, cuja versão anterior é a ABNT NBR 6118/2007.

Em ambas, permite-se que certas características do concreto, por exemplo, a resistência à tração f_{ct} e módulo de elasticidade E_c , sejam estimados em função da resistência à compressão característica f_{ck} na ausência de ensaios próprios.

Uma grande diferença entre a versão atual e anterior da norma de estruturas de concreto é que a mais recente acrescenta o fator α_E que considera a influência que o agregado confere ao módulo de elasticidade E .

Com essa possibilidade, pode-se fixar o valor de f_{ck} , e usando as equações da norma obter valores das outras características citadas para serem usadas no projeto. Em diferentes análises, podem ser usadas diversas variáveis: e no que diz respeito das análises de deslocabilidade o E_c é de grande relevância, pois indica a rigidez da estrutura em análises simplificadas.

Por sua vez, a deslocabilidade diz respeito ao estado-limite de serviço, mas também ao estado-limite último, pois como recomenda a norma, “deve sempre ser verificado o estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, em todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem” (ABNT NBR 6118/2014:54). O deslocamento lateral decorre à ocorrência de esforços de segunda ordem, portanto destaca a grande influência do módulo de elasticidade sobre o estado-limite último.

Pelas recomendações da norma ABNT NBR 6118/2014, o módulo de elasticidade do concreto é multiplicado pelo parâmetro α_E , que poderá variar de 0,7 a 1,2. Isso indica um módulo maior ou menor, dependendo do tipo de agregado utilizado.

O objetivo deste trabalho é determinar qual a influência das alterações do módulo de elasticidade nos efeitos de segunda ordem, comparando deslocamentos no topo e o coeficiente γ_z frente a mudanças na rigidez em função do agregado utilizado.

A análise é importante por mostrar ao meio técnico as decorrências nos efeitos de segunda ordem devido ao cálculo estrutural com 30% menos rigidez ou 20% mais rigidez. Com tal elucubração, é possível ponderar sobre o desempenho estrutural em relação aos deslocamentos provocado apenas pela mudança no agregado. Para mérito de comparação, dados tais coeficientes, um modelo pode ser 71% mais rígido que o outro em função apenas do agregado, o que salienta a relevância do estudo.

2. Revisão bibliográfica

Os diagramas tensão-deformação da maioria dos materiais estruturais apresentam uma região inicial que tem comportamento linear e elástico. A relação constante entre tensão deformação é expressa pela Lei de Hooke, que segue a equação (1) (TIMOSHENKO, 1983).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Sendo σ a tensão atuante na seção, E o módulo de elasticidade do material que a compõe e ε a deformação que esta deverá apresentar.

A norma brasileira que discorre sobre o ensaio para a determinação do E é a norma ABNT NBR 8522/2008, que sugere que o valor do E inicial seja estimado pela relação entre tensão e deformação aos 30% do valor de resistência f_c , e o E secante pelo mesmo cálculo, porém aos 50% do valor de resistência f_c .

Já a norma de estruturas de concreto permite estimar estes valores a partir do f_{ck} . Assim, a Figura 1 apresenta os conceitos de módulo de elasticidade inicial E_{ci} e secante E_{cs} .

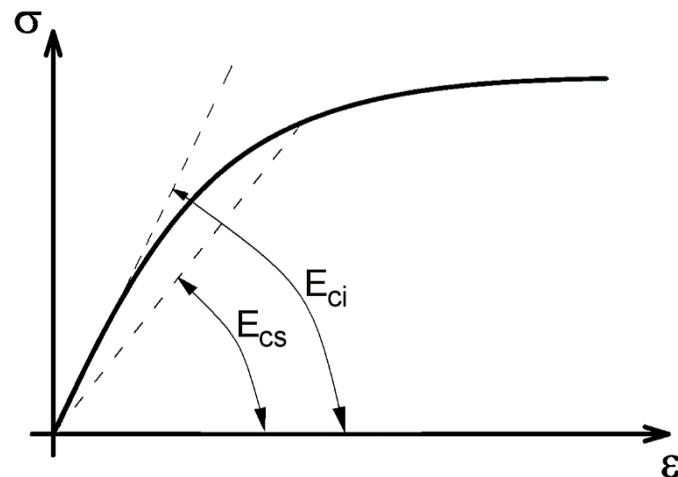


Figura 1. Módulo de elasticidade inicial E_{ci} e secante E_{cs} .

Embora a tensão mostrada na equação trate-se de uma tensão normal que atua sobre a seção, um módulo de elasticidade superior também contribui com rigidez em relação à esforços transversais atuantes nas estruturas, como é apresentado pela teoria da linha elástica (TIMOSHENKO, 1983).

Além disso, indica EA como o parâmetro de rigidez axial de barra, e EI como o parâmetro de rigidez por flexão de barra, mostrando como o módulo de elasticidade é uma das principais características no que se trata dos deslocamentos (MARTHA, 2010).

E no intuito de considerar a influência do tipo de agregado do concreto nos valores de rigidez, a norma ABNT NBR 6118: 2014 propõe que o módulo de elasticidade seja multiplicado pelo coeficiente α_E . Este coeficiente tem valor dado segundo o tipo de agregado usado, sendo:

$\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaiss;

$\alpha_E = 0,9$ para calcário;

$\alpha_E = 0,7$ para arenito;

Portanto, o valor do módulo de elasticidade inicial é dado pela equação (2) ou (3).

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad \text{para } f_{ck} \leq 50 \quad (2)$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25\right)^{1/3} \quad \text{para } f_{ck} \text{ de } 55 \text{ MPa a } 90 \text{ MPa para } f_{ck} \text{ de } 55 \text{ MPa a } 90 \text{ MPa} \quad (3)$$

Sendo E_{ci} e f_{ck} dados em Megapascals (MPa).

Para cálculo do módulo de elasticidade secante E_{cs} , a norma propõe as equações (4) e (5):

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (4)$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (5)$$

Tais equações são aplicáveis apenas para concretos com idade superior a 28 dias.

3. Estabilidade global e Coeficiente γ_z

Os deslocamentos laterais possuem valores máximos limitados pela norma como exigência de estado-limite de serviço, para que possa se garantir o conforto e evitar mau funcionamento de elementos não estruturais.

Além disso, a atuação de cargas verticais em locais sujeitos a deslocamentos horizontais acarretam em esforços de segunda ordem, isto é, esforços característicos da estrutura deslocada, assim como mostrado na Figura 2.

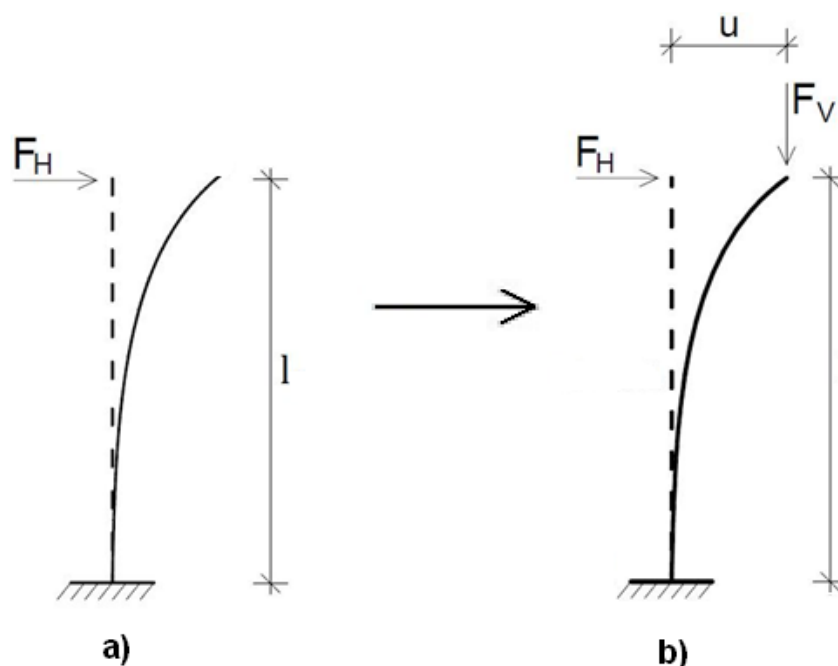


Figura 2. Ação e Reação na barra indeslocada (a) e deslocada(b). Fonte: Moncayo, 2011.

Os esforços de segunda ordem são obtidos levando-se em conta o equilíbrio da estrutura na sua posição deformada. Considerando-se a figura 2, o momento na base na posição inicial é de $F_H \times l$, porém, considerando-se que o equilíbrio ocorre na posição deslocada *b*, tem-se na base o momento de $F_H \times l + F_V \times u$. Portanto, pode-se considerar que a parcela de momento $F_V \times u$ trata-se de um esforço de segunda ordem. Porém, esta é apenas uma parcela do momento de segunda ordem, pois a ação carga F_V sobre o deslocamento horizontal u resultará em outro deslocamento horizontal, portanto, trata-se de um cálculo iterativo (MONCAYO, 2011).

Existem diferentes métodos para se estimar a importância dos efeitos de segunda ordem, e estimá-los, caso sejam importantes. Na norma brasileira de estruturas de concreto, são descritos os métodos com o parâmetro α e com o coeficiente γ_z : O α é denominado parâmetro de instabilidade, e seu cálculo indica se a estrutura é de nós fixos ou móveis, isto é, se pode se desprezar os efeitos de segunda ordem ou não.

Já o γ_z é o coeficiente de majoração dos esforços globais de 1ª ordem para obtenção dos finais de 2ª ordem, e é calculado pela equação (6). Pode ser usado para determinar se a estrutura é de nós fixos ou móveis, bem como para estimar os esforços de segunda ordem, dentre certos limites.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (6)$$

Em que:

$\Delta M_{tot,d}$: é o somatório do produto de todas as cargas verticais, em seus valores de cálculo pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos em análise de primeira ordem;

$M_{1,tot,d}$: é o momento de tombamento, isto é, o somatório dos produtos das forças horizontais pelas suas respectivas alturas de aplicação em relação ao solo, ou a um ponto pouco deslocável;

Se $\gamma_z \leq 1,1$; pode-se considerar a estrutura como de nós fixos, e se $1,1 < \gamma_z \leq 1,3$; a norma indica que se pode considerar os efeitos de segunda ordem pelo produto de $0,95\gamma_z$ e dos esforços em análise de primeira ordem.

Um método não simplificado de se considerar a não linearidade geométrica é o processo P-Delta, que relaciona uma força P a um deslocamento Δ . Existem diversos métodos para aplicá-lo (MONCAYO, 2011). Neste estudo, esta análise é feita pelo uso do software SAP2000, que possui o P-Delta integrado.

4. Ação do vento e combinações de esforços

Os esforços provocados pelo vento são estimados pelas recomendações da norma ABNT NBR 6123:1988. Calcula-se a pressão estática do vento q_k (N/m²) que incide sobre uma área (m²), resultando num valor absoluto de força (N). Tais forças podem ser consideradas atuando na altura em que estão presentes as lajes, evitando complicações em sua inserção no modelo, e reduzindo a chance de erros grosseiros em sua inclusão.

Para o cálculo de q_k , calcula-se as variáveis V_0 , S_1 , S_2 , S_3 , V_K , que são função da localização geográfica da edificação a ser construída, das dimensões desta e da altura em que o esforço atua.

Os esforços laterais provocados pelo vento são os principais no Brasil e são as únicas ações laterais no escopo deste artigo, pois a atividade sísmica é baixa. Em várias regiões do país é possível desprezar tais ações em projeto, desde que se respeite as técnicas e normas de construção (NÓBREGA; NÓBREGA, 2016).

No cálculo estrutural também são aplicados coeficientes de segurança. Atendendo as recomendações da norma de concreto, há duas combinações que devem ser avaliadas: uma em que a sobrecarga acidental é a ação principal, e outra em que a ação do vento é a principal.

$$\text{Combinação 1: } F_d = 1,4 \cdot F_g + 1,4 F_q + 0,84 \cdot F_{vento}$$

$$\text{Combinação 2: } F_d = 1,4 \cdot F_g + 1,4 F_{vento} + 0,7 \cdot F_{acidental}$$

Sendo: F_d : esforço no valor de cálculo; F_g : esforço de peso próprio no valor característico; F_q esforço oriundo da sobrecarga acidental em valor característico; F_{vento} esforço do vento em valor característico;

5. Metodologia

Para realizar as comparações de interesse, idealiza-se um edifício. A estrutura apresenta simetria e elementos semelhantes e a forma é apresentada na figura 3. São 16 pavimentos e a distância entre topos de lajes é de 3,3m.

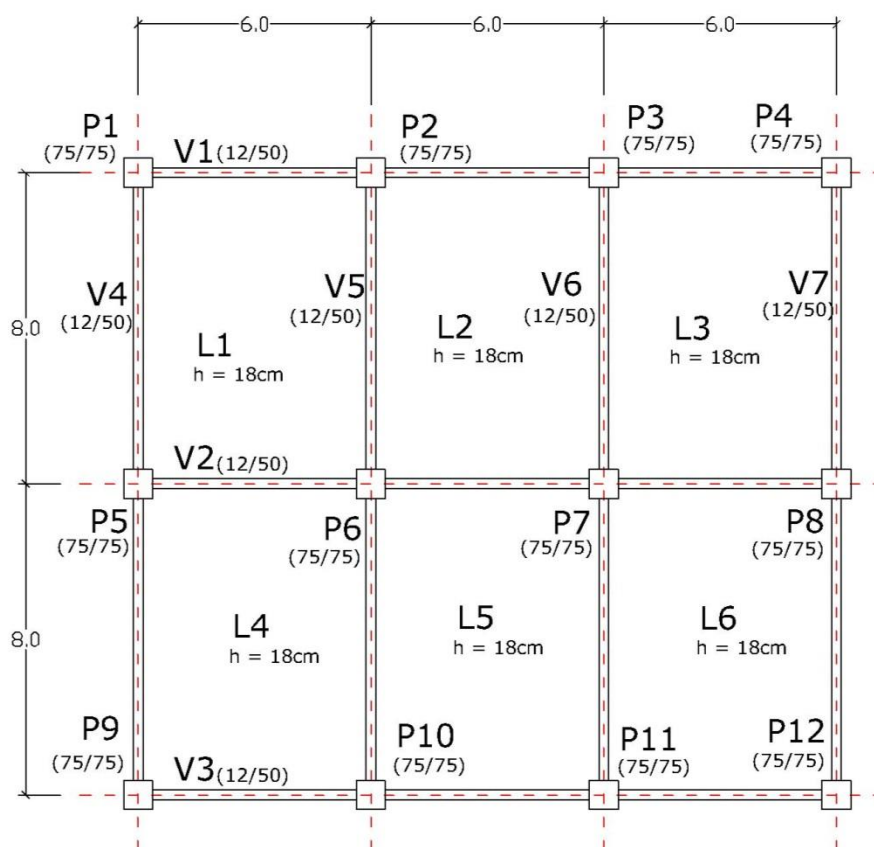


Figura 3. Forma do pavimento tipo utilizado.

Como recomenda a norma de estruturas de concreto (ABNT NBR 6118/2014; 106), “para a análise dos esforços globais de segunda ordem, [...] pode ser considerada a não linearidade física de maneira aproximada, tomando-se como rigidez dos elementos estruturais os valores seguintes”:

Lajes: $(EI)_{sec} = 0,3 E_c I_c$

Vigas: $(EI)_{sec} = 0,4 E_c I_c$ se $A_s' \neq A_s$
 $= 0,5 E_c I_c$ se $A_s' = A_s$

Pilares: $(EI)_{sec} = 0,8 E_c I_c$

O módulo de elasticidade E usado para análises de estabilidade global é o módulo elasticidade secante que pode ser majorado em 10% para análises de estabilidade global, seguindo a recomendação da norma de estrutura de concreto.

Uma prática comum é reduzir a rigidez com a altura, geralmente reduzindo as medidas dos pilares a cada pavimento. Para manter a geometria, aqui reduz-se a propriedade do material aplicado: dos 16 pavimentos, o f_{ck} é de 30 MPa nos 6 primeiros; nos 5 pavimentos intermediários reduzido para 25 MPa; e nos 5 pavimentos superiores reduzido novamente para 20 MPa.

Por fim são propostos 3 modelos em que a única alteração é o agregado utilizado para o cálculo do módulo de elasticidade. O modelo de referência possui agregados que acarretam α_E igual a 1, como granito e gnaiss. O modelo com α_E igual a 1,2 simula a situação com agregado de basalto ou diabásio e o modelo com α_E de 0,7 simula agregado de arenito.

Portanto, o módulo de elasticidade para diferentes agregados e f_{ck} adotados consta na tabela 1.

Tabela 1 – Módulos utilizados na análise do modelo

f_{ck} (MPa)	E_c (MPa)		
	$\alpha_E = 1,0$	$\alpha_E = 1,2$	$\alpha_E = 0,7$
30	29522	35427	20666
25	26565	31878	18596
20	23416	28099	16391

Adicionalmente, um 4º modelo é simulado mantendo o f_{ck} em 30MPa em todos os pavimentos, para mérito de comparação. O agregado é considerado granito, para manter o valor de $\alpha_E = 1,0$ e aproximar ao modelo de referência.

Para calcular os esforços do vento, adota-se velocidade básica do vento $V_o = 40$ m/s; $S_1 = 1$ (Terreno plano), Classe C. Categoria IV, supondo obstáculos próximos com altura de 10m, simulando território urbano.

E foram usadas as equações (7) e (8), da norma ABNT NBR 6123:1988.

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot (z/10)^p \quad (7)$$

$$q_k = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (8)$$

Sendo V_k em m/s, e q_k em N/m²;

Os valores obtidos para cada pavimento são considerados como carregamentos pontuais em nós na altura do pavimento.

E sua aplicação na estrutura é considerada segundo a idealização da figura 4. Considera-se que as forças concentradas de ação do vento são aplicadas nos mesmos nós de junção de pilares e vigas. Na figura, as linhas pontilhadas limitam as regiões de contribuição do vento análogo a nó que é destacado como círculos na figura.

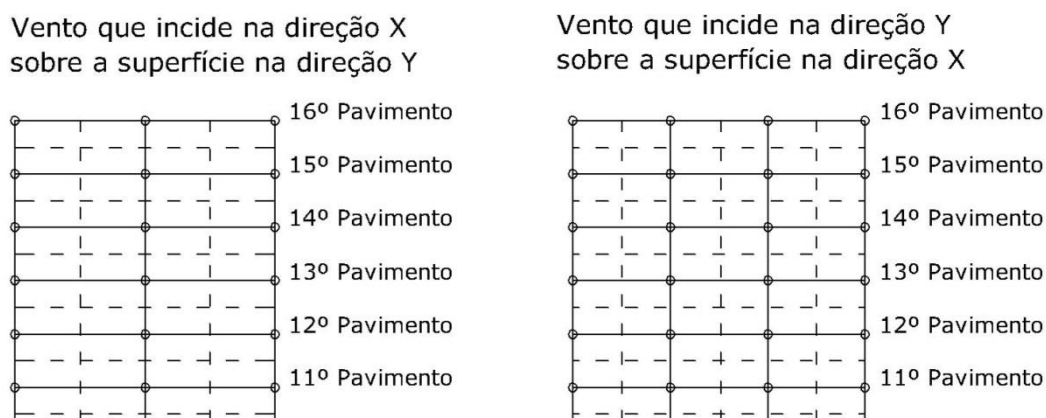


Figura 4. Aplicação das forças na estrutura e divisão das áreas de ação do vento.

A contribuição do peso próprio do pilar é considerada como metade do seu peso atribuído ao nó superior, e a metade restante para o nó inferior. As ações verticais permanentes e de uso e ocupação são distribuídas pelos elementos estruturais horizontais.

6. Resultados obtidos e análise

Os resultados que constam nesta seção são obtidos ao aplicar a modelagem proposta no

programa SAP2000. Os valores obtidos consistem são oriundos de análises de primeira e segunda ordem. O deslocamento em primeira ordem é confrontado com o resultado da análise de segunda ordem, mas também é utilizado para o cálculo do γ_z .

Para a análise com a combinação 1, cuja ação acidental é principal, os resultados de deslocamentos de primeira ordem, deslocamentos de segunda ordem e coeficientes γ_z apenas na direção mais deslocada estão dispostos na tabela 2, que apresenta os valores obtidos para cada modelo: com α_E igual a 1,0, α_E de 1,2 e α_E de 0,7; e também para o modelo com α_E de 1,0 e f_{ck} constante.

Tabela 2 – Deslocamentos em primeira e segunda ordem e coeficiente γ_z na combinação 1.

	$\alpha_E = 1$	$\alpha_E = 1,2$	$\alpha_E = 0,7$	$\alpha_E = 1$ e f_{ck} constante
Deslocamento no topo em primeira ordem (cm)	16.4	13.7	23.4	15.2
Deslocamento no topo em segunda ordem (cm)	23.3	18.2	40.9	21.1
Coeficiente γ_z	2.067	1.755	3.811	1.958

Analogamente, a tabela 3 apresenta deslocamentos em primeira e segunda ordem e coeficiente γ_z na combinação 2.

Tabela 3 – Forças concentradas características totais aplicadas em cada altura.

	$\alpha_E = 1$	$\alpha_E = 1,2$	$\alpha_E = 0,7$	$\alpha_E = 1$ e f_{ck} constante
Deslocamento no topo em primeira ordem (cm)	27.4	22.8	39.1	25.3
Deslocamento no topo em segunda ordem (cm)	37.5	29.4	64.0	34.0
Coeficiente γ_z	1.358	1.281	1.603	1.333

Como mostra o coeficiente γ_z e o quociente entre deslocamentos de segunda ordem pelos de primeira ordem, a combinação 1 é mais vulnerável a efeitos de segunda ordem, apesar da combinação 2 apresentar maiores deslocamentos em primeira e segunda ordem.

Sendo o deslocamento de topo de primeira ordem $\delta_{x,i}$ e de segunda ordem, $\delta_{x,ii}$, a comparação entre deslocamentos alterando apenas o módulo de elasticidade é apresentada na tabela 4. A comparação é feita pelo quociente entre os deslocamentos de topo de cada modelo. A modelagem de referência é usada como denominador em todos os cálculos.

Tabela 4 – Comparação entre deslocamentos de topo.

$\alpha_E = 0,7$ e $\alpha_E = 1,0$	$\alpha_E = 1,2$ e $\alpha_E = 1$	$\alpha_E = 0,7$ e $\alpha_E = 1,0$	$\alpha_E = 1,2$ e $\alpha_E = 1$
-------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------

$\frac{\delta_{x,i;1,0}}{\delta_{x,i;0,7}}$	$\frac{\delta_{x,ii;1,0}}{\delta_{x,ii;0,7}}$	$\frac{\delta_{x,i;1,0}}{\delta_{x,i;1,2}}$	$\frac{\delta_{x,ii;1,0}}{\delta_{x,ii;1,2}}$	$\frac{\delta_{x,i;1,0}}{\delta_{x,i;0,7}}$	$\frac{\delta_{x,ii;1,0}}{\delta_{x,ii;0,7}}$	$\frac{\delta_{x,i;1,0}}{\delta_{x,i;1,2}}$	$\frac{\delta_{x,ii;1,0}}{\delta_{x,ii;1,2}}$
0.700	0.570	1.200	1.284	0.7	0.587	1.2	1.275

Na análise de segunda ordem, a alteração do módulo de elasticidade E devido ao coeficiente α_E gerou resposta superior à linear. Em primeira ordem, a resposta foi é linear, dentro do esperado e consolidado.

E na última coluna da tabela 5 constam os deslocamentos da situação de f_{ck} constante. Ao comparar com o modelo de referência com f_{ck} constante de 30 MPa, nota-se decréscimo de deslocamento de topo de apenas 9%. Porém, ao comparar os módulos de elasticidade, obtém-se 11% e 26% de aumento de rigidez, como mostram as equações (9) e (10).

$$\frac{E_{CS,30 \text{ MPa}}}{E_{CS,25 \text{ MPa}}} = \frac{\alpha_i(30) \cdot \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{30}}{\alpha_i(25) \cdot \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{25}} = 1,111 \quad (9)$$

$$\frac{E_{CS,30 \text{ MPa}}}{E_{CS,20 \text{ MPa}}} = \frac{\alpha_i(30) \cdot \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{30}}{\alpha_i(20) \cdot \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{20}} = 1,261 \quad (10)$$

Isso ocorre, visto que nos pavimentos inferiores a rigidez é mantida a mesma, e são exatamente estes os pavimentos cuja curvatura mais influencia o deslocamento do topo. Sendo assim, alterar a rigidez dos pavimentos superiores acarreta pouca mudança no deslocamento.

7. Conclusão

Observa-se a relação entre módulo de elasticidade e a deslocabilidade do edifício, que na análise de segunda ordem mostrou-se superior à relação linear. Exemplificando com os resultados obtidos, aumentar o módulo de elasticidade 20% significa reduzir deslocamentos em análise de segunda ordem em mais que 20%. Analogamente, ao reduzir o módulo de elasticidade, é esperado incremento ainda maior nos deslocamentos.

Portanto, projeto e execução devem ser atentos ao tipo do agregado utilizado, pois alteração destes pode acarretar mudanças nos deslocamentos superiores àquelas previstas por cálculo linear. Salienta-se assim que o agregado ou módulo de elasticidade conste em projeto, e que este devidamente considerado na execução.

Outra comparação foi entre o modelo de referência, no qual o módulo de elasticidade é reduzido conforme a altura do edifício, a outro modelo em que o módulo de elasticidade é constante. Embora a rigidez seja superior em 11% e 26%, a redução no deslocamento é de apenas 9% em segunda ordem. Assim, confirma-se que reduzir a rigidez conforme a altura pode ser uma alternativa viável em projeto, visto que o aumento no deslocamento de topo é menor.

Referências

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

_____. ABNT NBR 6120: Cargas para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____. ABNT NBR 6123: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. ABNT NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

MARTHA, L. F. Análise de Estruturas: conceitos e métodos básicos. vol 1. Elsevier Editora

Ltda. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

MONCAYO, Z. W. J. Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado. 2011. 221f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2011.

NÓBREGA, P. G. B.; NÓBREGA, S. H. S. Perigo sísmico no brasil e a responsabilidade da engenharia de estruturas. HOLOS, v. 4, p. 162–175, 2016.

SAP2000. V11. Berkeley: Computers and Structures, Inc, 2007.

TIMOSHENKO, S. P; GERE, J. E. Mecânica dos sólidos. vol 1. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, RJ, 1983.