

Efeitos da interação solo estrutura em edifícios em aço sobre fundação profunda

Renan Moura Guimarães², Alex Sander Clemente de Souza^{1*}, Silvana De Nardin¹

¹Prof. Dr. do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, alex@ufscar.br

² Mestre em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal de São Carlos

Effects of soil–structure interaction in steel building on deep foundation

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre diferentes edifícios em aço sobre fundação do tipo estacas pré-moldadas de concreto com a finalidade de analisar a influência da interação solo-estrutura (ISE) nos recalques e nos esforços solicitantes. Foram dimensionadas 5 estruturas e suas respectivas fundações, variando o número de pavimentos e tipos de contraventamento. As estruturas foram analisadas de forma convencional, considerando o solo indeformável e considerando a deformabilidade do solo por meio de coeficientes de reações aplicando a Hipótese de Winkler. Foram analisados os resultados de reações de apoio e momentos fletores na base dos pilares, coeficientes de estabilidade global B_2 , deslocamentos laterais, recalques e também a variação dos esforços de compressão axial e momentos fletores ao longo da altura dos edifícios.

Palavras-chave: Interação solo-estrutura, estruturas metálicas, fundação profunda

Abstract

This work presents a comparative study between different steel structures on a pile foundation with the purpose of analyzing the influence of the soil-structure interaction (SSI) on soil displacements and stresses. Five structures and their respective foundations were designed, varying the number of floors and types of bracing. The structures were analyzed in a conventional way considering rigid base and considering the deformability of the soil by means of reaction coefficients applying the Winkler Hypothesis. Were analyzed the results of base reactions and bending moments at the base of the columns, global stability coefficients B_2 , lateral displacements, soil displacements and also the variation of the axial compression forces and bending moments along the height of the buildings.

Keywords: soil-structure interaction, steel structures, deep foundation

*autor correspondente

1 Introdução

Na prática atual de projetos de estruturas de edifício a superestrutura e as fundações tem sido analisadas e dimensionadas de forma independentes. Durante a etapa de projeto da superestrutura, o solo é considerado como um elemento indeformável, ou seja, infinitamente rígido, permanecendo assim após a aplicação dos carregamentos. As fundações são projetadas com base na análise do solo e das reações nos apoios oriundas do projeto estrutural. Porém, a redistribuição de esforços na superestrutura devido aos recalques da fundação não é levada em consideração durante a etapa de projeto podendo, assim, gerar patologias e comportamento estrutural não previsto (GUSMÃO, 1990; IWAMOTO, 2000; ANTONIAZZI et. al., 2010; REIS 2014).

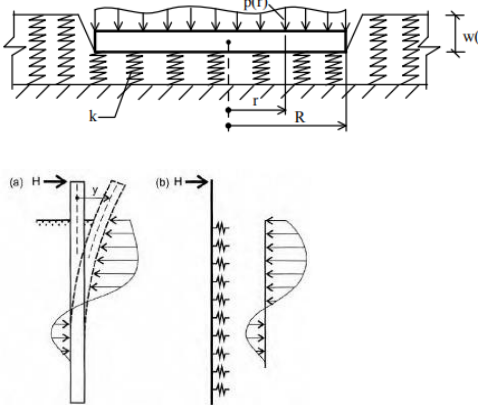
O conhecimento da interação solo-estrutura (ISE) leva à uma modelagem mais realista, podendo-se prever melhor o comportamento físico da estrutura. Um dos principais efeitos provocados pela interação solo-estrutura é a redistribuição de esforços na estrutura, principalmente nos pilares, onde há a possibilidade de incremento dos efeitos globais de segunda ordem, de deslocamentos laterais e de esforços de compressão (GUIMARAES e SOUZA, 2018; ANTONIAZZI, 2011). Além disso, podem surgir patologias ou redução nos níveis de segurança sem a consideração adequada da análise conjunto solo-estrutura. Colares (2006) aponta vários problemas de manifestações patológicas e/ou problemas estruturais originadas pela não consideração da interação solo-estrutura, como por exemplo a Torre de Pisa, o Edifício Copam em São Paulo, a Companhia Paulista, além de vários casos nas cidades de Santos e Cidade do México, cujos terrenos apresentam grandes dificuldades para a execução das fundações devido à formação geológica.

O estudo da interação solo-estrutura exige do engenheiro um conhecimento mais abrangente dos diversos tipos de materiais que compõem o sistema, assim como conhecimentos nas áreas de fundações, solos e estruturas.

Vários estudos tem sido desenvolvidos com objetivos de compreender e modelar a interação solo-estrutura propiciando a determinação da deformabilidade do sistema estrutura-fundação e a distribuição de esforços decorrente (CHAMECKI, 1954; BURAGOHAINS & RAGHAVAN, 1977; GUSMÃO, 1990; AYALA et. al. 2015).

Com relação a modelagem do problema de interação solo-estrutura várias metodologias tem sido desenvolvidas. O modelo mais simples e direto é o modelo de Winkler, que admite que as cargas aplicadas na superfície do solo geram deslocamentos somente no ponto de aplicação da mesma, ou seja, o efeito da continuidade do meio não é considerado. Desta forma o maciço de solo pode ser substituído por um sistema de molas com rigidez equivalente dando origem aos coeficientes de reação verticais C.R.V. e horizontais C.R.H. que simulam a rigidez do solo (GUIMARÃES, 2018). Para fundações profundas os coeficientes de reação horizontais (C.R.H.) podem ser determinado em função das tensões e dos deslocamentos horizontais no fuste da estaca como sendo uma parcela dos C.R.V. O Quadro 1 apresenta de forma sintética o equacionamento para determinação dos coeficientes de reação.

Quadro 1 – Cálculo dos coeficientes de reação pela hipótese de Winkler

 $P(r) = K_v w$ $w = PB \left(\frac{1-\nu^2}{E} \right) I_p$ $k_v = \left(\frac{E}{1-\nu^2} \right) \frac{B}{I_p}$ $k_h = a \ k_v$	$P(r)$ – Pressão aplicada ao solo pela fundação K_v – Coef. de reação vertical (C.R.V.) K_h – Coef. de reação horizontal (C.R.V.) w – Recalque p: carregamento imposto B: menor largura da sapata E: módulo de elasticidade I_p: fator de influência k_v: coef. de recalque vertical ν: coeficiente de Poisson a = 0,29 solo arenoso e 0,40 solo argiloso
--	---

A evolução da modelagem numérica do problema de interação solo-estrutura passa pela aplicação do método dos elementos finitos (MEF) que permitem acoplar estrutura, solo e fundações. Além disso, o método dos elementos de contorno (MEC) também tem sido utilizado para modelar o solo e, em várias situações, o acoplamento MEC-MEF tem se mostrado eficiente para as análises de interação solo-

estrutura com o solo sendo discretizado em elementos de contorno e o MEF utilizado para modelar fundação e estrutura (SILVA & CODA, 2010; ALMEIDA, 2003; MENDONÇA, 2015).

Outra linha de pesquisa bastante pertinente é a avaliação do efeito da interação solo-estrutura nos esforços nos elementos estruturais e nos recalques de fundação. Neste sentido vale destacar que os principais parâmetros que influenciam o comportamento do conjunto solo-fundação-estrutura são a rigidez relativa estrutura-solo, número de pavimentos, geometria do pavimento, sequência construtiva e a presença de edificações vizinhas (REIS, 2000; HOLANDA JR. , 1998; GUSMÃO E GUSMÃO FILHO, 1994; ANTONIAZZI, 2011 GUIMARÃES E SOUZA, 2018). A grande maioria dos trabalhos nesta linha estão focado em edificações em concreto armada e em comum concluem que considerando a interação solo-estrutura na análise os recalques nos apoios tendem a ser mais uniformes, há alívio de cargas nos pilares centrais e aumento nos pilares periféricos e que as alterações nos esforços estruturais são mais significativo nos primeiros pavimentos. O número de pavimentos é umas das variáveis de maior influência para a análise da interação solo-estrutura nestes casos.

Em relação às estruturas metálicas, os efeitos da interação solo-estrutura ainda não são completamente conhecidos e as pesquisas são escassas. Ferro et. Al. (2016) fizeram um estudo em galpões metálicos treliçados com cobertura em arco circular, percebendo que os deslocamentos e esforços aumentaram com a consideração da ISE e os recalques foram mais uniformes. Guimarães et. al. (2018) mostrou que o efeito da ISE nos esforços e recalques de edifícios em aço é pouco significativo, no entanto a estrutura por resultar mais deslocável e conseqüentemente mais sensível aos efeitos de 2ª ordem.

Pelo exposto ainda é necessário entender melhor o efeito da interação solo-estruturas em edifícios em aço e mistos de aço e concreto. Este trabalho tem como objetivo analisar as alterações nos esforços e nos recalques em edifício em aço sob fundação profunda.

2 Metodologia

Para a análise do efeito da interação solo-estrutura tomou-se como base um edifício modelo de uso residencial variando-se a altura resultando em cinco estruturas com 4, 8, 12, 16 e 20 pavimentos. As Figuras 1, 2 e 3 apresentam as plantas da estrutura modelo juntamente com a disposição dos sistemas de contraventamento adotados em função do número de pavimentos. Foi utilizado o aço ASTM A572 Gr50 e concreto C20 para dimensionamento da estrutura e fundações e, seguindo as recomendações das normas brasileiras NBR 8800 (ABNT, 2008), NBR 6122 (ABNT, 2010), NBR 6123 (ABNT, 1988), NBR 8681 (ABNT, 2003), NBR 6122 (ABNT, 2010).

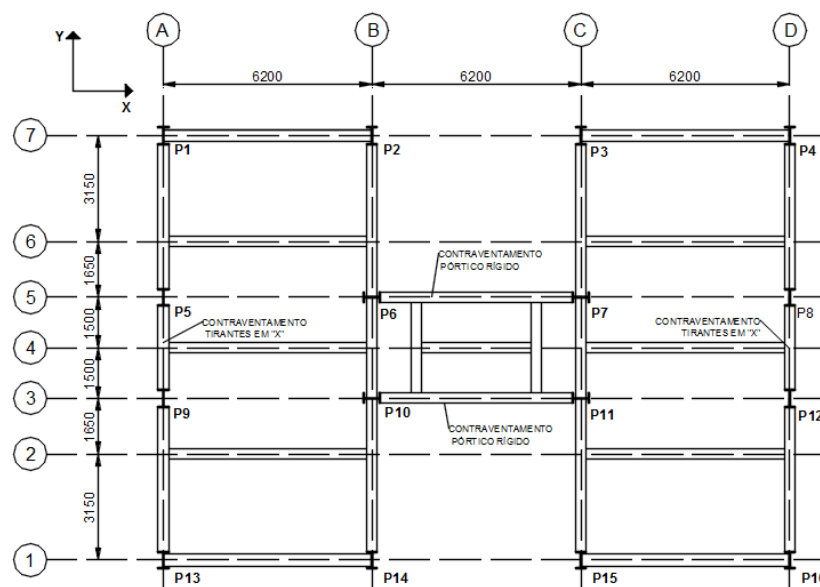


Figura 1 – Planta das edificações de 4 e 8 pavimentos (dimensões em mm)

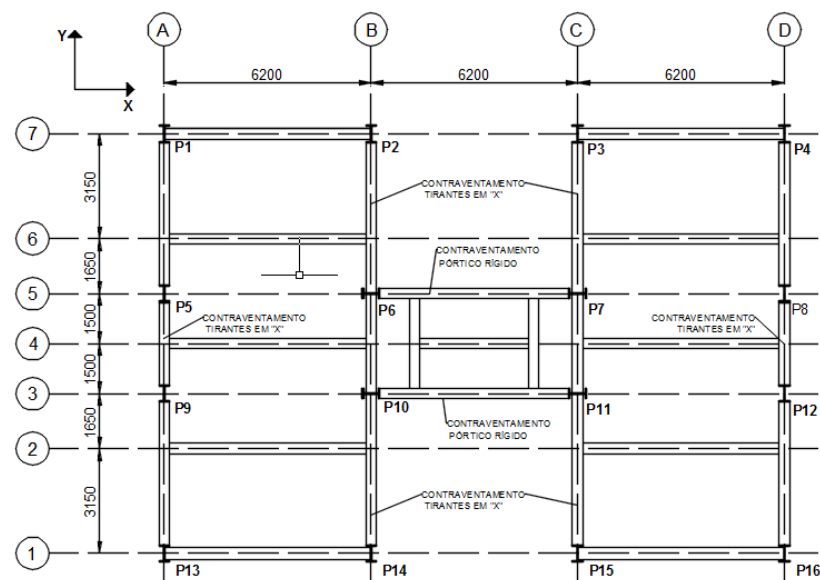


Figura 2 – Planta das edificações de 12 e 16 pavimentos (dimensões em mm)

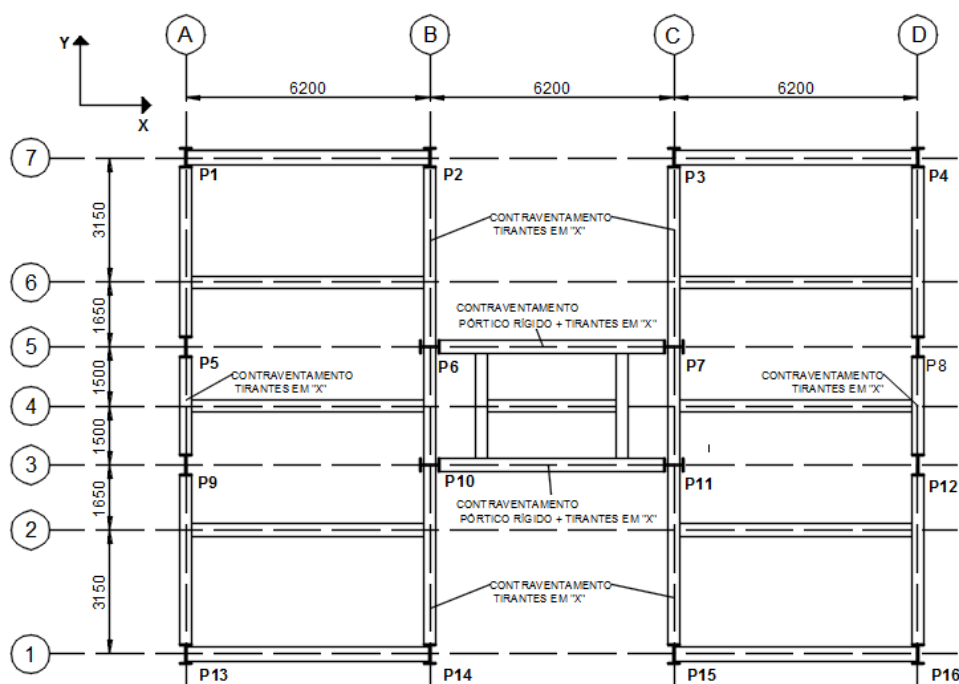


Figura 3 – Planta da edificação de 20 pavimentos (dimensões em mm)

Os elementos estruturais foram dimensionados com base nos esforços obtidos em análise de 2ª ordem considerando vínculos ideais nas bases dos pilares, ou seja, admitindo solo indissociável (análise sem interação solo-estrutura). As reações de apoio resultantes foram utilizadas para projeto das fundações e cálculo dos recalques iniciais.

Para o projeto das fundações foram consideradas estacas pré-moldadas com resistência nominal de 750 kN e diâmetro de 33 cm, sendo a profundidade das estacas e o número de estacas por bloco as únicas variáveis nos projetos das fundações. O solo é predominantemente argiloso com valores de SPT por camadas adequados para a fundação profunda em estacas conforme pode ser observado na Figura 4.

Para o dimensionamento do elemento de fundação, formado por estacas mais solo, foi utilizado o Método de Aoki-Velloso (1975) utilizando a equação 1.

$$R = \frac{K \cdot N_p \cdot A_p}{F_1} + \frac{U}{F_2} \sum (\alpha \cdot K \cdot N_L \cdot \Delta_L) \quad (1)$$

Sendo,

A_p é área da ponta da estaca.

U é o perímetro da estaca.

ΔL é a espessura da camada de solo.

N_p e N_L , respectivamente, os índices de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca e o índice de resistência à penetração médio na camada de solo de espessura ΔL , sendo estes valores obtidos através de ensaio de sondagem do solo.

K e α são parâmetros que dependem do tipo de solo. Para este caso, K e α valem respectivamente 220 KPa e 0,04 para Argila Siltosa e 350 KPa e 0,024 para Argila Arenosa.

F1 e F2 são fatores de correção que dependem do tipo de estaca adotada. Para este caso, F1 vale 1,41 e F2 vale 2,82.

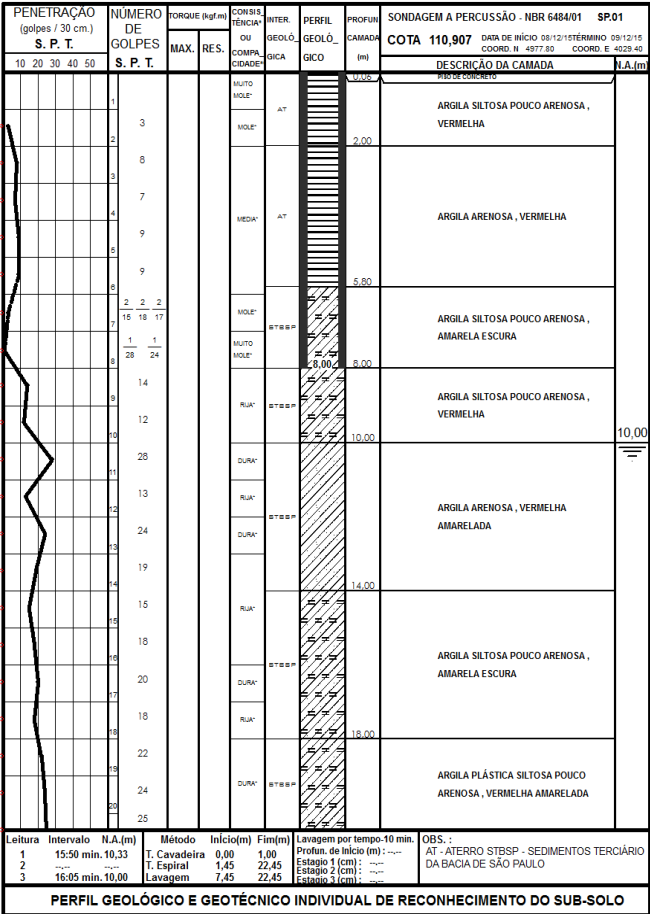


Figura 4 – Sondagem utilizada

Para o Edifício Modelo de 4 pavimentos, a resistência do elemento de fundação, segundo o Método de Aoki-Velloso é de 178,63 kN. O número de estacas por pilar foi obtido em função da carga na fundação oriunda na análise da estrutura e da resistência do elemento de fundação (R.E.F.). A Figura 5 apresenta a planta de

fundação para a Estrutura Modelo de 4 pavimentos, o mesmo procedimento foi adotado para os demais casos em estudo.

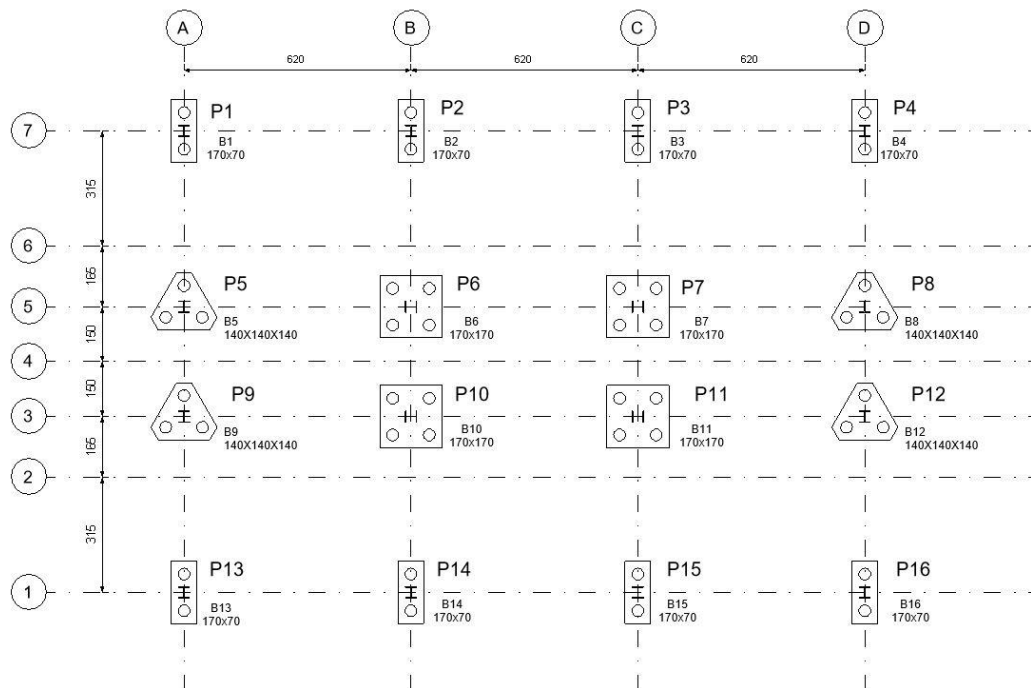


Figura 5 – Planta de fundação profunda estrutura de 4 pavimentos

O recalque foi obtido através do Método de Aoki-Lopes (1975), dado pela equação 2 a 3.

$$\rho = \sum \left(\frac{\Delta\sigma}{E_s} \cdot H \right) + \frac{1}{A \cdot E_c} \cdot \sum (P_i \cdot L_i) \quad (2)$$

$$E_s = E_0 \left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \right)^n \quad (3)$$

$$E_0 = 6 \cdot K \cdot N_{SPT} \quad (4)$$

Sendo:

ρ é o recalque total final.

A é a área da seção transversal do fuste.

$\Delta\sigma$ é a contribuição total das parcelas de recalque devido ao fuste da estaca.

E_c é o módulo de elasticidade do concreto.

H é a altura da camada considerada, nesta caso igual a 1 m.

P é a carga vertical na estaca na camada considerada.

L é o comprimento da estaca na camada considerada.

Es é o módulo de deformabilidade do solo

E_0 é o módulo de deformabilidade do solo antes da execução da estaca

σ_0 é a tensão geostática no centro da camada.

n é um expoente que depende da natureza do solo, igual a 0 para solos argilosos.

K o coeficiente empírico do método de Aoki-Velloso (1975).

A análise estrutural foi desenvolvida utilizando o software SAP 2000 e de acordo com as recomendações da NBR 8800 (ABNT, 2008). A estrutura foi modelada tridimensionalmente incluindo a laje de concreto. A Figura 6 apresenta uma ilustração 3D da geometria do modelo estrutural, a discretização de um pavimento e o detalhe do bloco mais estacas para o caso da análise considerando a ISE.

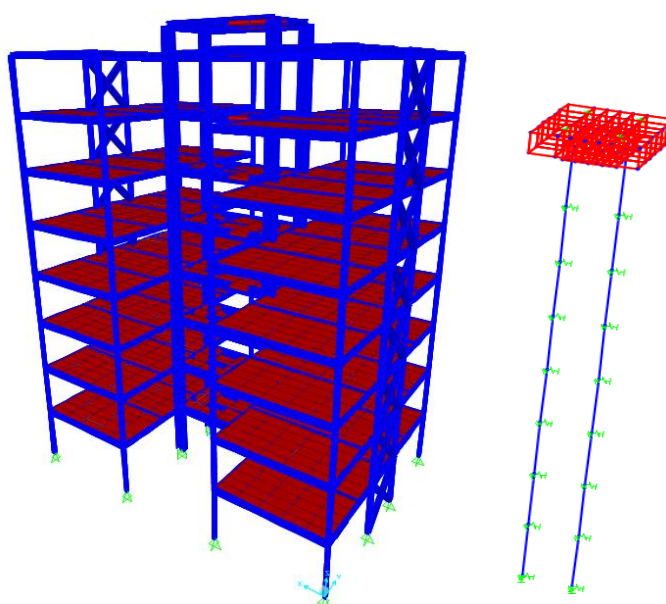


Figura 6 – Geometria do modelo estrutural e detalhe bloco-estaca

Para consideração da interação solo-estrutura foram modelados, posteriormente, os blocos de fundação com elementos finitos sólidos e as estacas com elementos finitos de barra. Para simulação do solo foram inseridas molas horizontais e verticais para simular a rigidez do solo por meio dos coeficientes de rigidez C.R.V. e C.R.H. calculados conforme hipótese de Winkler.

Foi desenvolvido um aplicativo para o cálculo dos coeficientes de reação tendo como dados de entrada as características do solo, características das fundações e reações nos apoios da estrutura. A Figura 7 apresenta algumas telas do aplicativo denominado MOLA.

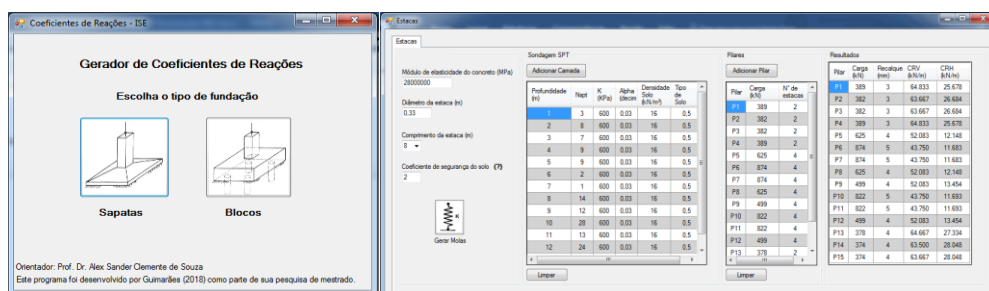


Figura 7 – Aplicativo Mola para cálculo dos coeficientes de reação

A molas correspondentes ao C.R.V foram inseridas na ponta da estaca enquanto as molas correspondentes ao C.R.H. foram distribuídas ao longo do comprimento da estaca.

3 Resultados e discussões

Apresenta-se e discute-se em seguida os resultados de recalques, deslocamentos e esforços com e sem a consideração da interação solo estrutura para os 5 edifícios analisados. Foi adotada a seguinte nomenclatura ENpav (E = edifício e Npav – número de pavimentos) para identificar os modelos sem interação solo estrutura e para os modelos como interação solo estrutura ENpavISE-Est.

O gráfico da Figura 8 apresenta uma comparação dos esforços de compressão na base dos pilares para análise convencional (apoio rígido) e considerando a ISE para a combinação de ações mais desfavorável.

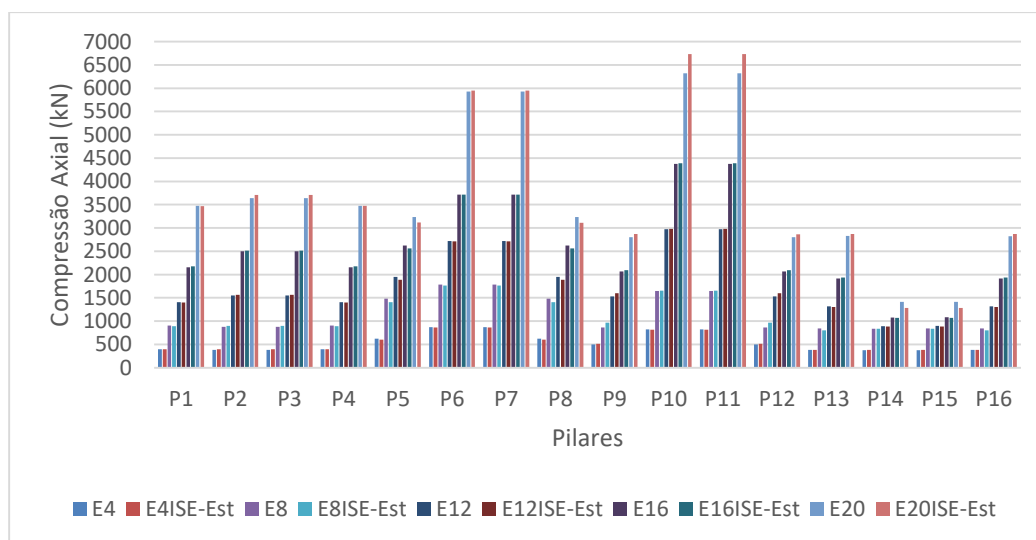


Figura 8 – Comparação de reações nos apoios com e sem ISE (kN)

Para os pilares centrais (P6, P7, P10 e P11) foram observadas pequenas reduções nos valores dos esforços axiais de compressão, para todas as estruturas analisadas. A estrutura que apresentou o comportamento mais evidente da influência da interação solo-estrutura foi a estrutura de 20 pavimentos, possivelmente devido à rigidez global da mesma. O gráfico da Figura 9 apresenta uma comparação entre os recalques finais para análise convencional e considerando a ISE.

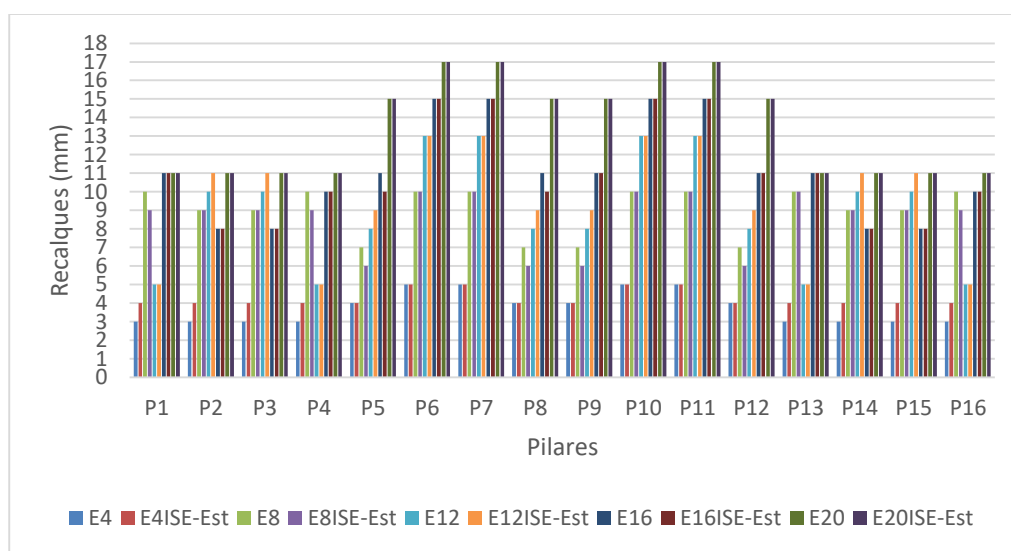


Figura 9 – Comparação de recalques com e sem ISE (mm)

Percebe-se pela Figura 9 que não houve alterações significativa dos recalques devido a análise considerando a ISE, para nenhuma das estruturas analisadas. A Figura 10 apresenta de forma comparativa os momentos fletores finais nos apoios com e sem consideração da ISE.

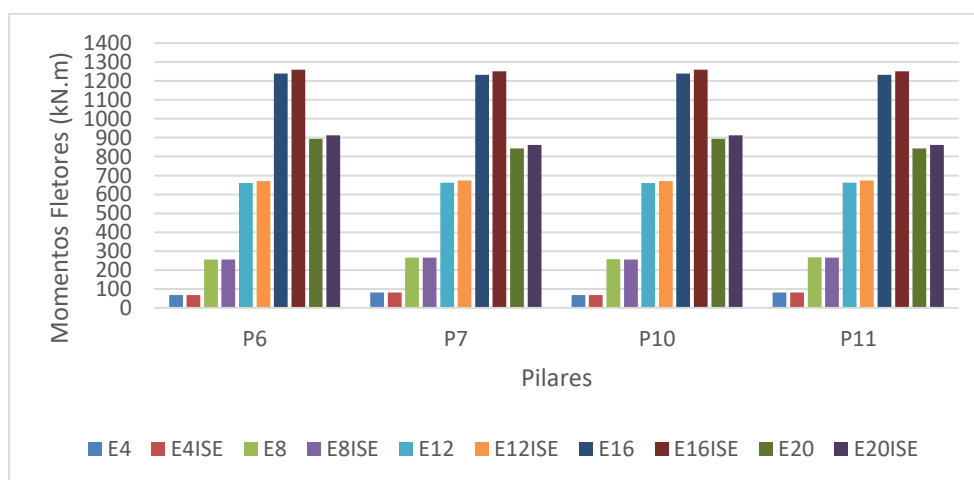


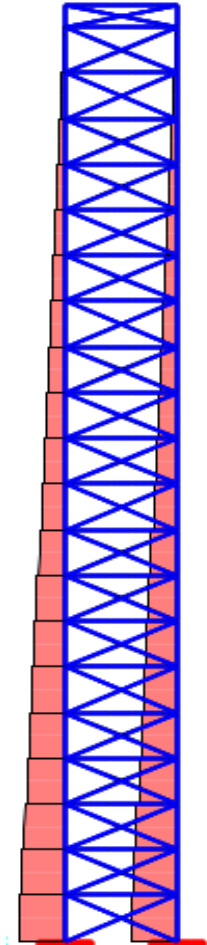
Figura 10 – Comparação dos momentos fletores com e sem ISE (kN.m)

Foi observado variações significativas dos momentos fletores na base dos pilares apenas para estruturas de 12 ou mais pavimentos. Estes aumentos foram de 11 kN.m (+1,67%) para a estrutura de 12 pavimentos, 19 kN.m (+1,53%) para as estruturas de 16 e de 19 kN.m (+2,12%) para as estruturas de 20 pavimentos.

Foram analisados também a variação dos esforços normais e momentos fletores ao longo da altura dos pilares. Para ilustrar esses resultados foi utilizado como exemplo o pilar P11 da estrutura de 20 pavimento.

A Tabela 1 apresenta os resultados de esforços axiais nos pilares ao longo da altura com e sem a consideração da interação solo estruturas para o edifício de 20 pavimentos.

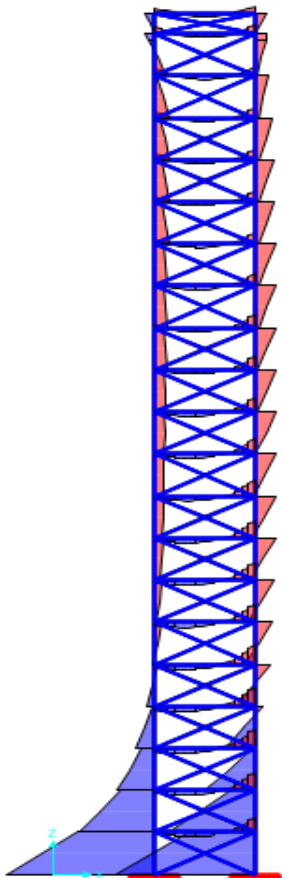
Tabela 1 – Variação do esforço de compressão axial ao longo da altura do pilar

	Pavimento	P11-E20 (kN)	P11-E20ISE (kN)	Diferença (%)
	Pav1	6324	6295	-0,44
	Pav2	5999	5978	-0,35
	Pav3	5638	5621	-0,30
	Pav4	5284	5262	-0,42
	Pav5	4922	4898	-0,49
	Pav6	4600	4578	-0,48
	Pav7	4268	4255	-0,30
	Pav8	3942	3931	-0,28
	Pav9	3605	3592	-0,36
	Pav10	3305	3292	-0,39
	Pav11	2992	2981	-0,37
	Pav12	2684	2672	-0,45
	Pav13	2378	2362	-0,67
	Pav14	2076	2059	-0,82
	Pav15	1776	1762	-0,79
	Pav16	1480	1471	-0,61
	Pav17	1187	1181	-0,51
	Pav18	898	893	-0,56
	Pav19	615	611	-0,65
	Pav20	338	336	-0,59

Observa-se que ocorrem maiores diferenças entre os esforços com e sem ISE para os pavimentos mais elevados, no entanto essa diferença não alcança 1%. Para as demais estruturas esse comportamento se mantem.

A Tabela 2 apresenta a variação dos momentos fletores ao longo da altura da edificação com e sem a consideração da iteração solo estruturas para o edifício de 20 pavimentos.

Tabela 2 – Variação do momento fletor ao longo da altura do pilar



Pavimento	P11-E20 (kN.m)	P11-E20ISE (kN.m)	Diferença (%)
Pav1	843	855	1,42
Pav2	516	520	0,78
Pav3	303	303	0,00
Pav4	180	180	0,00
Pav5	112	112	0,00
Pav6	73	73	0,00
Pav7	49	49	0,00
Pav8	32	31	-3,13
Pav9	20	20	0,00
Pav10	10	10	0,00
Pav11	3	3	0,00
Pav12	-4	-4	0,00
Pav13	-10	-12	20,00
Pav14	-15	-16	6,67
Pav15	-20	-20	0,00
Pav16	-23	-24	4,35
Pav17	-25	-25	0,00
Pav18	-25	-26	4,00
Pav19	-21	-22	4,76
Pav20	-5	-6	1,42

Para a maioria dos pavimentos a variação do momento fletor foi pouco significativa, já para outros pavimentos, como o Pav13, observou-se uma variação significativa, porém em valor absoluto esta variação foi pequena. No caso do Pav13 houve uma variação de 2 kN.m no momento fletor.

Com relação aos deslocamentos laterais as Figuras de 11, 12 e 13 apresentam uma comparação entre os deslocamentos laterais para análise convencional e considerando a ISE para combinações de serviço.

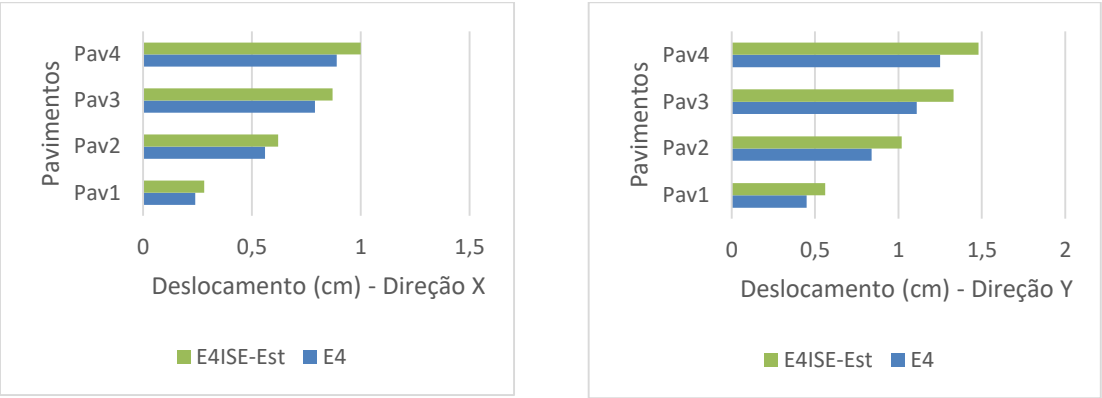


Figura 11 – Comparação deslocamentos laterais - Estrutura de 4 pavimentos

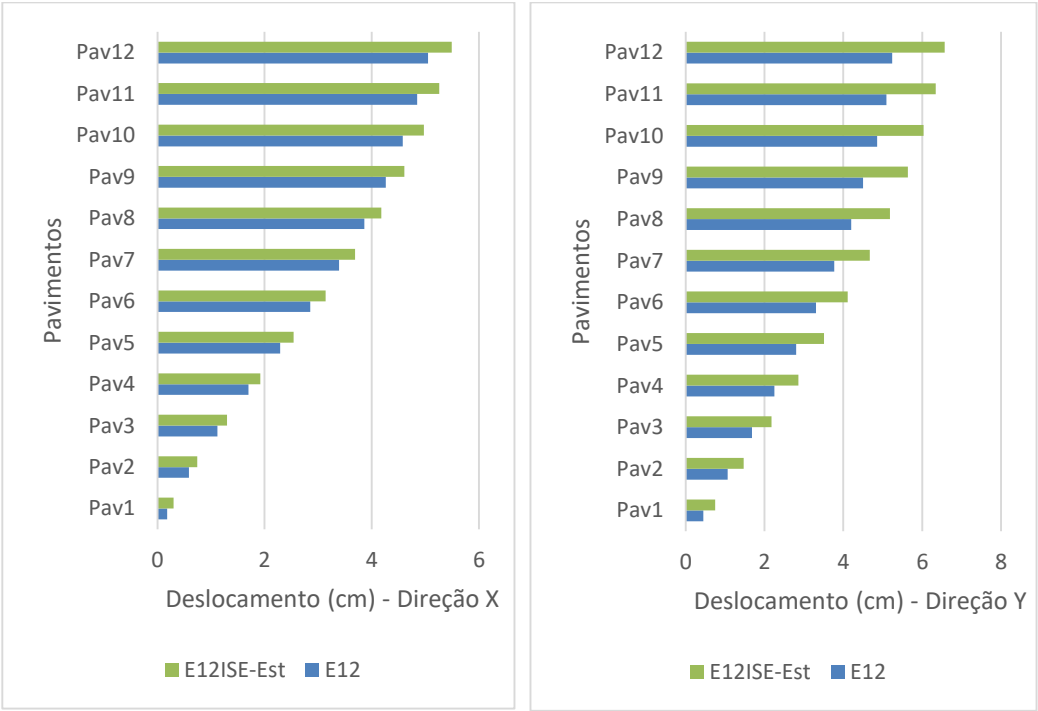


Figura 12 – Comparação deslocamentos laterais - Estrutura de 12 pavimentos



Figura 13 – Comparação deslocamentos laterais - Estrutura de 20 pavimentos

Para a estrutura de 4 pavimentos, os deslocamentos laterais apresentaram variações para ambas as direções, sendo maiores na direção “Y”. A variação dos deslocamentos na direção “Y” da estrutura apresentou variação de 33,6% (passando de 1,25 cm para 1,67 cm) no topo da estrutura e variação de 33,34% (passando de 0,45 cm para 0,60 cm) no primeiro pavimento. A direção “X” apresentou variações um pouco menores, sendo de 16,85% no topo da estrutura (passando de 0,89 cm para 1,04 cm) e variação de 25% no primeiro pavimento (passando de 0,24 cm para 0,30 cm). Para a estrutura de 12 pavimentos, os deslocamentos laterais apresentaram variações bastante significativas. Os deslocamentos na direção “Y” apresentaram variações de 51,72% no topo da estrutura (passando de 5,24 cm para 7,95 cm) e de 93,33% no primeiro pavimento (passando de 0,45 cm para 0,87 cm). Os deslocamentos na direção “X” apresentaram variações menores, sendo de 17,43% no topo da estrutura (passando de 5,05 cm para 5,93 cm) e de 88,89% no primeiro pavimento (passando de 0,34 cm para 0,18 cm). Para a estrutura de 20 pavimentos, os deslocamentos na direção “Y” apresentaram variações de 21,63% no topo da estrutura (passando de 8,97 cm para

10,91 cm) e de 48,98% no primeiro pavimento (passando de 0,45 cm para 0,67 cm). Os deslocamentos na direção “X” apresentaram variações menores, sendo de 4,64% no topo da estrutura (passando de 6,68 cm para 6,99 cm) e de 23,53% no primeiro pavimento (passando de 0,17 cm para 0,21 cm).

Deve-se levar em consideração que houve alterações nos contraventamentos para viabilizar o aumento do número de pavimentos das estruturas, portanto não são estruturas exatamente idênticas no que se refere ao sistema de contraventamento.

A Figura 14 apresenta uma comparação para a variação ao longo da altura para o coeficiente de classificação quanto a deslocabilidade “B₂”, no caso dos edifícios de 20 pavimentos, para análise convencional e considerando a ISE. A Figura 15 apresenta os valores máximos de B₂ utilizados para classificar cada estrutura quanto a deslocabilidade.

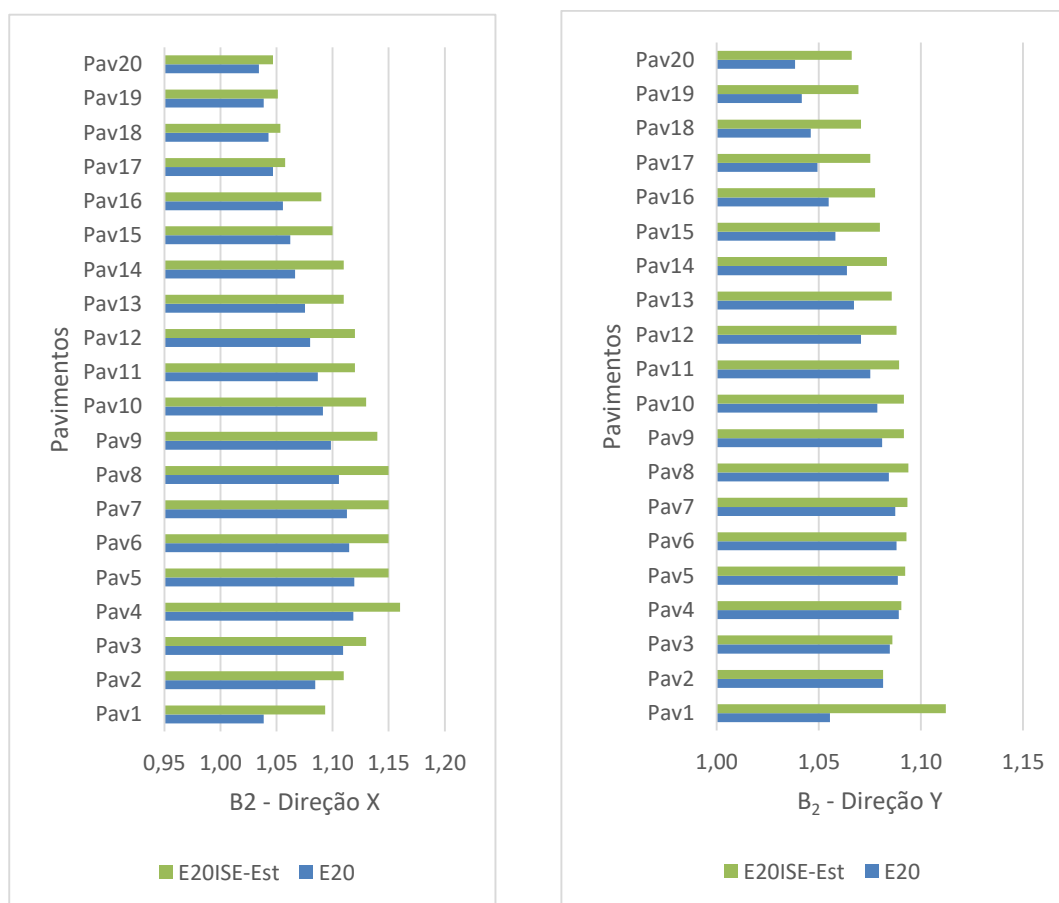


Figura 14 – Comparação dos coeficientes de estabilidade global - Estrutura 20 Pav.

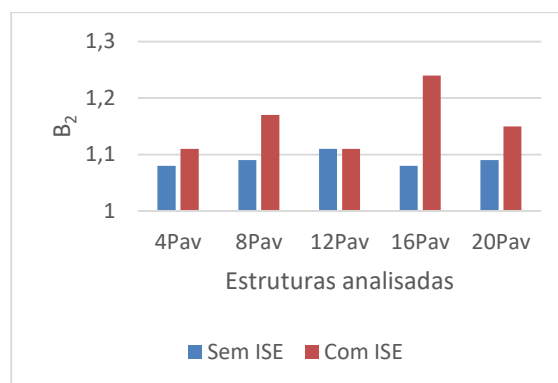


Figura 15 – Comparação dos coeficientes de estabilidade global - Direção “X”

Observou-se alterações significativas no coeficiente B_2 com a introdução da ISE na análise estrutural, sobretudo para os edifícios de maior altura. Para as estruturas de 8, 16 e 20 pavimentos houve, inclusive, mudança da classificação quanto a deslocabilidade de “pequena deslocabilidade” para “média deslocabilidade”. A mudança de classificação da estrutura quanto a deslocabilidade acarretaria na necessidade de procedimentos de análise mais rigorosos no que se refere a consideração das imperfeições geométricas e de material.

4 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da interação solo-estrutura em estruturas metálicas apoiadas em fundações profunda do tipo bloco sobre estacas.

Pelos resultados expostos foi observado a tendência à redistribuição de esforços com alívio dos pilares centrais e a sobrecarga dos pilares de extremidade, resultados que estão de acordo com os encontrados na literatura para estruturas de concreto armado. Porém os esforços normais na base dos pilares, momentos fletores e recalques sofreram variações pouco significativas, possivelmente devido à relação de rigidez estrutura-fundação-solo. Os deslocamentos laterais, por sua vez, apresentaram variação importante alterando a deslocabilidade da estrutura. Os coeficientes de estabilidade B_2 , também apresentaram variações significativas, onde inclusive houve alterações da classificação da estrutura quanto a deslocabilidade. Em alguns casos a classificação da estrutura passou de pequena para média deslocabilidade, o que implicaria em diferentes considerações na análise estrutural. Os esforços de compressão axial e de momentos fletores apresentaram variações

constante ao longo da altura dos pilares, ou seja, a mesma taxa de variação encontrada na base dos pilares em média foi observada ao longo de toda a altura dos pilares. Portanto, observa-se que, nas estruturas analisadas, os deslocamentos laterais e os coeficientes de estabilidade global foram os mais afetados pela consideração da ISE na análise estrutural.

5 Referências bibliográficas

ALMEIDA, V. S. **Análise da interação solo não homogêneo/estrutura via acoplamento MEC/MEF**. São Carlos, 192p. Tese (Doutorado em Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ANTONIAZZI, J.P. **Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais**. 2011. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

ANTONIAZZI, J.P.; ALVA, G.M.S.; SOARES, J.M.D. Procedimento para a consideração da interação solo-estrutura em edifícios com fundações em sapatas isoladas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2010, Curitiba. **Anais...** Santa Maria, 2010. p. 1-16.

ARON, C.; JONAS, E. **Structural element approaches for soil-structure interaction**. Göteborg, 64p. Master of Science Thesis. Division of Structural Engineering and GeoEngineering Concrete Structures and Geotechnical Engineering, Göteborg, Sweden, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações Rio de Janeiro, 1996.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

AYALA, R. J. L.; FRANÇA, W. P. F. F.; SILVA, S. E. Estado da arte da interação solo-estrutura e sua influência nos recalques do solo. **Periódico Científico Outras Palavras**, v.11, n. 2, 2015.

BURAGOHAINS, D. N; RAGHAVAN, N. Interaction of frames with pile foundations. **Proc. of International Symposium on Soil-Structure Interaction Roorke**, Vol.1, pp 109-115. 1977.

CHAMECKI, S. Consideração da rigidez no cálculo de recalques de fundações. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. **Anais**. Porto Alegre: Ipsis Gráfica e Editora, 1954. p. 35-80.

COLARES, G.M. **Programa para análise da interação solo-estrutura no projeto de edifícios**. 2006. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CRESPO, V.A.S. **Estudo da sensibilidade de edificações em relação ao solo**. 2004. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2004.

FERRO, F. L. de B.; SIMPLÍCIO, M. A. de S.; ASSIS, W. S. de; CARVALHO, E. N. de. Interação solo-estrutura em galpões metálicos treliçados com cobertura em arco circular. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 203-219, jan/mar. 2016.

GODOY, N.S; TEIXEIRA, A. H. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: HACHICH et al. (eds.). **Fundações: Teoria e prática**. São Paulo: Pini. Cap. 7, p.227-264, 1996.

GONÇALVES, J. C. **Avaliação da influência dos recalques das fundações na variação de cargas dos pilares de um edifício**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GUIMARÃES, R.M. **Análise dos efeitos da interação solo-estrutura em edifícios estruturados em aço**. 2018. 147fl. DISSERTAÇÃO (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2018.

GUIMARÃES, R.M. , SOUZA, A.S.C. , De NARDIN, S. Efeitos da interação solo-estrutura em edifícios de aço sobre fundação superficial. **Revista da estrutura de aço**. Volume 7. Número 3 (dezembro de 2018). p. 300.

GUSMÃO, A.D. **Estudo da interação solo-estrutura e sua influência em recalques de edificações**. 1990. 165 p. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, A. J. Avaliação da interação solo-estrutura em edificações. **X COBRAMSEG**, Foz do Iguaçu, ABMS. Vol 1. Nov 1994. p. 67-74.

HOLANDA JR, O.G. **Interação solo-estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas**. 1998. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

IWAMOTO, R.K. **Estrutura em edifícios de múltiplos andares com fundação profunda**. 2000. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MENDONÇA, F.R.S.; SILVA, J.G.S.; SIEIRA, A.C.C.F. Avaliação do efeito da interação solo-estrutura sobre a resposta estrutural de edifícios mistos (aço-concreto). In: CONGRESSO DE MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA, 2015, Lisboa. Portugal: APMTAC, 2015. p. 1-20.

REIS, J. H. C. **Interação solo-estrutura de grupo de edifícios com fundações superficiais em argila mole.** 2000. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SILVA, W. Q e CODA, H. B. Desenvolvimento de programa computacional para análise de edificações considerando a interação solo-estrutura em conjunto com o comportamento não linear geométrico **In:** 52º CONGRESSO NACIONAL DO CONCRETO. Fortaleza, 2010.