

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

INTERAÇÃO SOLO - ESTRUTURA: análise de um caso de obra em Recife, Pernambuco

Mikhael Ferreira da Silva Santos 1

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, mikhaelmkf@gmail.com

Roberto Quental Coutinho 2

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, robertoqcourtinho@gmail.com

RESUMO: Conforme Gusmão (1990), a interação solo-estrutura pode modificar significativamente o desempenho da edificação a depender do nível de deformação do solo e da rigidez da estrutura. Não considerar essa interação pode conduzir a resultados irreais em certas situações, levando um desempenho insatisfatório (Estado Limite de Serviço – ELS) e até mesmo o comprometimento da obra (Estado Limite Último – ELU). A própria norma de fundações, ABNT NBR 6122 (2019), trouxe a obrigatoriedade dessa análise em alguns casos, conforme pode ser verificado no seu item 5.5. Até então, baseado na norma de ABNT NBR 6122 (2010), não havia essa obrigatoriedade. O objetivo principal do presente estudo é analisar um caso de obra em fundações profundas tipo hélice contínua situada no município de Recife/PE frente uma análise de interação solo-estrutura (ISE), buscando contribuir para futuros projetos de fundação em solos da região metropolitana de Recife/PE. Da mesma forma, esse estudo irá integrar o banco de dados do Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies – GEGEP da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

PALAVRAS-CHAVE: interação solo-estrutura, ISE, método indireto.

ABSTRACT: According to Gusmão (1990), the soil-structure interaction can significantly modify the building's performance depending on the level of soil deformation and the rigidity of the structure. Not considering this interaction can lead to unrealistic results in certain situations, leading to unsatisfactory performance (Service Limit State – ELS) and even the compromise of the work (Ultimate Limit State – ELU). The foundations standard, ABNT NBR 6122 (2019), made this analysis mandatory in some cases, as can be seen in item 5.5. Until then, based on the standard of ABNT NBR 6122 (2010), there was no such requirement. The main objective of the present study is to analyze a case of work in deep continuous helix type foundations located in the city of Recife/PE against a soil-structure interaction analysis (ISE), seeking to contribute to future foundation projects in soils in the metropolitan region of Recife PE. Likewise, this study will integrate the database of the Slopes and Plains Geotechnical Engineering Group – GEGEP of the Federal University of Pernambuco – UFPE.

KEYWORDS: soil structure interaction, SSI, substructure method.

1 Introdução

Na grande maioria dos projetos estruturais, as estruturas é usualmente discretizadas e submetidas a uma análise numérica com o objetivo de se determinarem os esforços nelas atuantes. Diversos modelos teóricos foram criados na busca de representar a estrutura real, como teoria das vigas contínuas, pórtico plano, grelha, pórtico espacial, entre outros, todos aplicados nas práticas de projetos.

Seja qual for o modelo utilizado pelos projetistas, a estrutura é normalmente considerada como apoiada em uma superfície rígida indeformável (HOLANDA JUNIOR, 1998). Nesse sentido, o projetista estrutural não se preocupa com a deformabilidade dos apoios e nem dos efeitos dela decorrentes.

O projetista das fundações, na verdade, recebe as cargas do projetista da estrutura com a hipótese dos apoios indeslocáveis e realiza o projeto considerando que a fundação em conjunto com o solo garanta o bom desempenho das bases de todos os pilares, garantindo que os recalques sejam os admissíveis da estrutura.

Essa mudança ou redistribuição dos esforços pode provocar o aparecimento de fissuras em lajes, vigas, nas alvenarias e até mesmo o esmagamento dos pilares (AOKI, 1987; GUSMÃO e GUSMÃO FILHO, 1990).



Conforme Gusmão (1990), a interação solo-estrutura pode modificar significativamente o desempenho da edificação a depender do nível de deformação do solo e da rigidez da estrutura. Não considerar essa interação pode conduzir a resultados irreais em certas situações, levando um desempenho insatisfatório (Estado Limite de Serviço – ELS) e até mesmo o comprometimento da obra (Estado Limite Último – ELU). A própria norma de fundações, ABNT NBR 6122 (2019), trouxe a obrigatoriedade dessa análise em alguns casos, conforme pode ser verificado no seu item 5.5. Até então, baseado na norma de ABNT NBR 6122 (2010), não havia essa obrigatoriedade, o engenheiro deveria determinar a importância em cada caso.

Gusmão (1990) afirmou que existem dois efeitos importantes decorrentes da interação solo-estrutura: a redistribuição dos esforços nos elementos estruturais, principalmente nos pilares; e a rigidez proveniente da solidariedade entre os elementos estruturais, considerando uma estrutura monolítica, restringindo as deformações relativas entre os apoios, fazendo com o que os recalques diferenciais observados sejam menores que o estimado na metodologia convencional.

Diante do exposto, O objetivo principal do presente estudo é analisar um caso de obra em fundações profundas tipo hélice contínua situada no município de Recife/PE frente uma análise de interação solo-estrutura (ISE). Buscou-se verificar a previsão de danos ocorridos, sua extensão e localização, mesmo com uma caracterização simplificada do modelo geotécnico, buscando contribuir para futuros projetos de fundação em solos da região metropolitana de Recife/PE.

2 Característica da edificação analisada

O prédio de engenharia de produção está situado no campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. A figura 01 ilustra a localização do prédio em análise no contexto urbano de Recife/PE, em específico, dentro da cidade universitária.

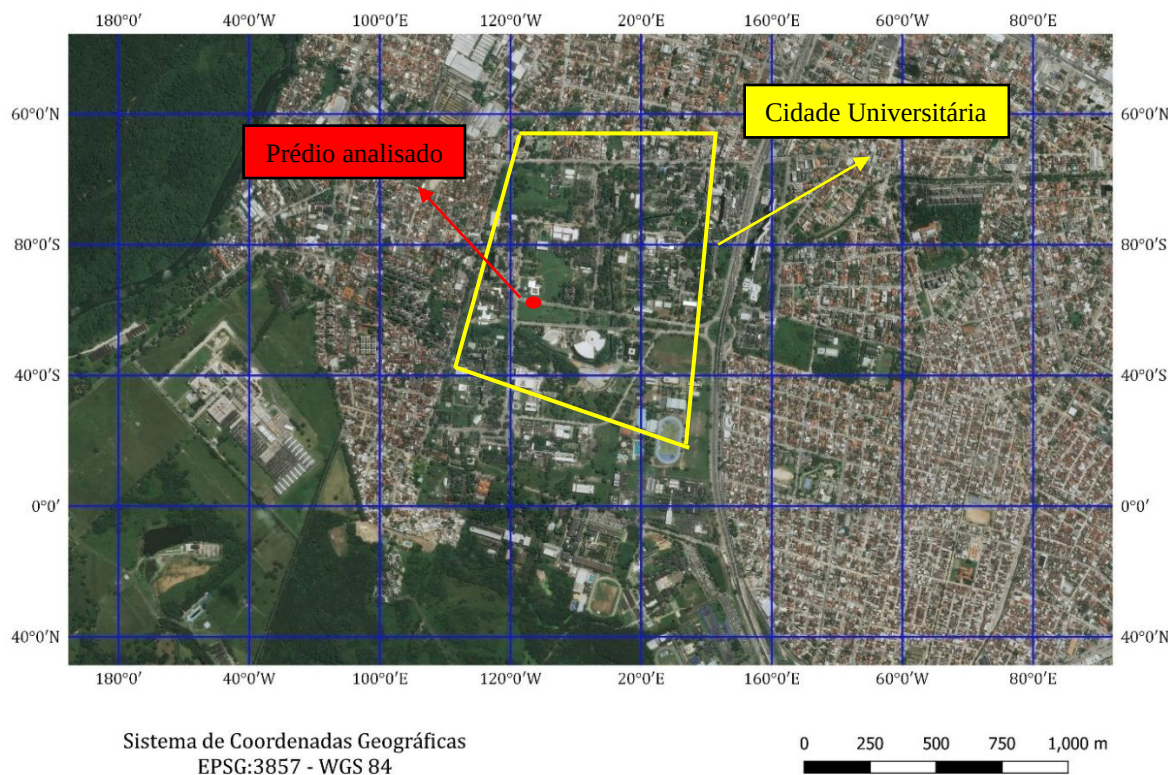


Figura 1. Localização da edificação no contexto urbano de Recife, Pernambuco.

O edifício é composto de quatro pavimentos, contendo sala de professores, laboratórios de informática, salas administrativas, salas de reunião e banheiros. As figuras 02-A e 02-B ilustram a fachada da edificação. A edificação possui uma área construída aproximada de 2.570 m².



Figura 2. Vistas da fachada da edificação analisada.

A edificação é composta por 4 pavimentos (um pavimento térreo, dois pavimentos tipos e uma cobertura). A figura 03 ilustra o corte longitudinal extraído da planta estrutural do prédio.

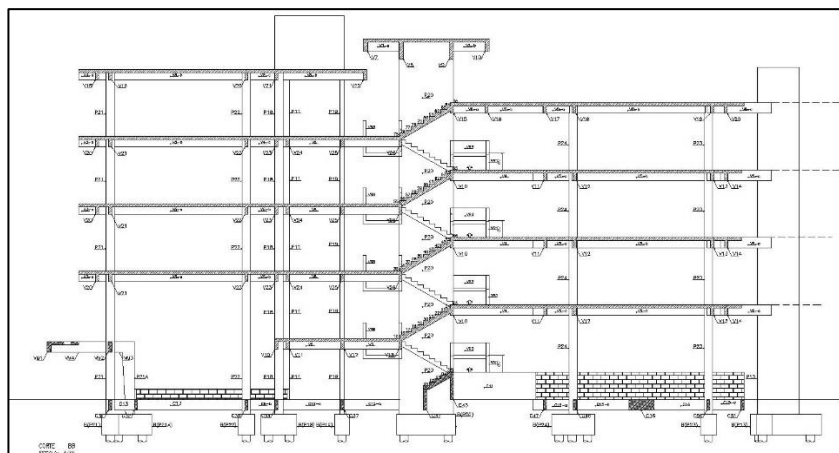


Figura 3. Corte longitudinal extraído do projeto de estrutura da edificação analisada.

As fundações projetadas para edificação em análise foram concebidas com 53 estacas hélice contínua de diâmetro 400 mm e 45 estacas hélice contínua de diâmetro de 500 mm, totalizando 98 estacas executadas. Todas as estacas foram previstas com 18 metros de comprimento. Quanto à carga de projeto, a estaca de 400 mm possui uma carga de projeto de 500 kN (50 tf), enquanto a de 500 mm possui 700 kN (70 tf).

As fundações foram apoiadas na cota de -18 metros, especificamente, em uma camada de areia média com areia fina, medianamente compacta a compacta.

Segundo projeto de fundações, recomendou-se a execução de uma prova de carga estática no bloco do pilar P22, sendo o pilar com maior solicitação proveniente da superestrutura. A tabela 01 ilustra as cargas consideradas nesse pilar.

Tabela 1. Quadro resumos de cargas do pilar de maior solicitação (P22).

HIPÓTESES	Nk (tf)	Mxk (tf.m)	Myk (tf.m)
Permanente	171,81	-5,20	0,09
Sobrecarga	23,75	-0,58	0,03
Vento +X	0,11	26,84	0,01
Vento -X	-0,11	-26,84	-0,01
Vento +Y	-3,04	-4,11	0,78
Vento -Y	3,04	4,11	-0,78



4 Caracterização do estrutural da edificação

A partir do projeto estrutural original da edificação analisada, bem como a planta arquitetônica, foi possível modelar a estrutura através do software baseado no Método dos Elementos Finitos (MEF). O modelo buscou caracterizar as hipóteses do projeto original da edificação, conforme pode ser visto na figura 6.

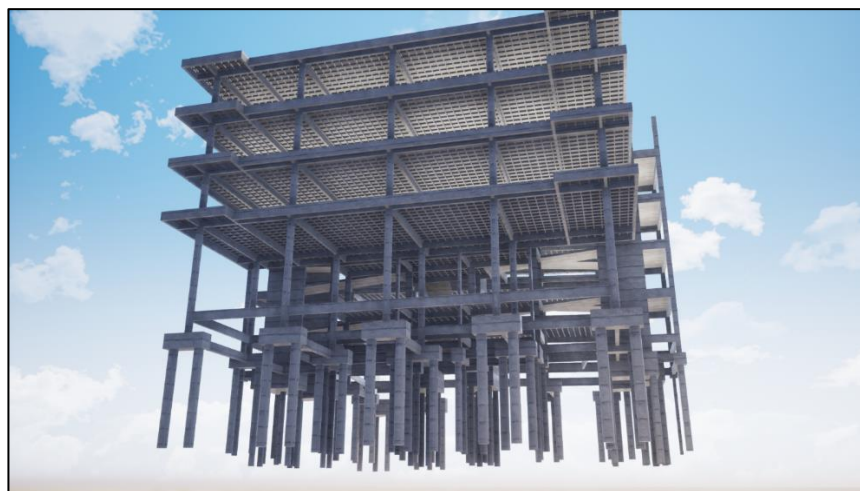


Figura 5. Modelo tridimensional estrutural e das fundações.

A tabela 2 compara as cargas do projeto estrutural da edificação com as cargas obtidas no modelo estrutural com apoios indesejáveis, conforme projeto original.

Tabela 2. Comparativo de cargas nos pilares -projeto original e modelo numérico.

Pilar	Carga do projeto original (kN)	Carga do modelo numérico (kN)	Pilar	Carga do projeto original (kN)	Carga do modelo numérico (kN)
P1	220	203.2	P22	1170	948.9
P2	220	216.6	P23	1330	1092.5
P3	750	940.6	P24	1750	1440
P4	1420	855	P25	750	546.6
P5	700	746.8	P26	870	624.7
P6	590	506.9	P27	1960	1690.1
P7	1080	1007.8	P28	1190	984.3
P8	1050	1023.8	P29	1350	1002
P9	1080	1112.4	P30	1150	977.8
P10	1200	1170.3	P31	1310	1184.7
P11	580	500.9	P32	660	492.4
P12	430	230	P33	430	225.2
P13	700	624.1	P34	750	700.3
P14	1350	1002.3	P35	910	897.5
P15	1170	978.9	P36	1080	884.2
P16	980	1024.4	P37	1080	1007.1
P17	1280	1207.6	P38	1100	1031.8
P18	580	548.5	P39	1040	1023.1
P19	870	640.8	P40	1560	814.5
P20	1900	1798.4	P41	190	180.8
P21	1270	933.4	P42	180	160.8
Média				981.67	837.67
Desvio Padrão				436.4151	381.38



5 Análise da edificação

A análise da edificação considerou dois cenários: a edificação sem a consideração da ISE e com a consideração da ISE. Para isso, foi utilizado a metodologia indicada por Aoki (1989; 1997). A figura 6 ilustra a metodologia utilizada para considerar a interação solo-estrutura.

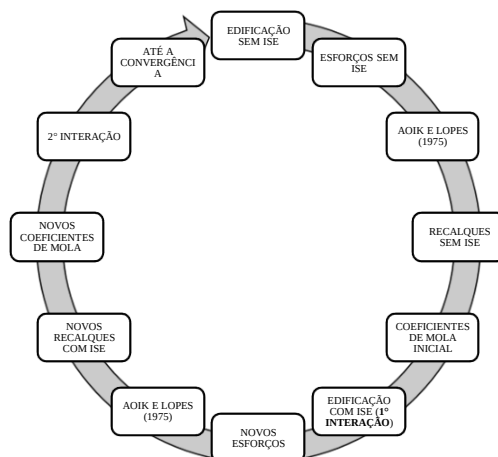


Figura 6. Síntese da metodologia de Aoki (1989; 1997).

Os resultados mostraram que o desvio padrão, bem como o coeficiente de variação, tendem a reduzir quando se considera o efeito da rigidez da estrutura e sua interação com o solo de fundação. Esse comportamento é esperado, conforme os estudos indicados por Gusmão (1994), cujo efeito da dispersão, em outras palavras, o recalque diferencial, tendem a reduzir com o efeito da interação solo-estrutura. Uma forma interessante de verificar a tendência de uniformização dos recalques é através das curvas de iso-recalques nas duas situações. As figuras 7 e 8 ilustram, na devida ordem, o desenvolvimento de recalque (em centímetros) em planta da edificação sem a consideração da ISE e com a consideração da ISE.

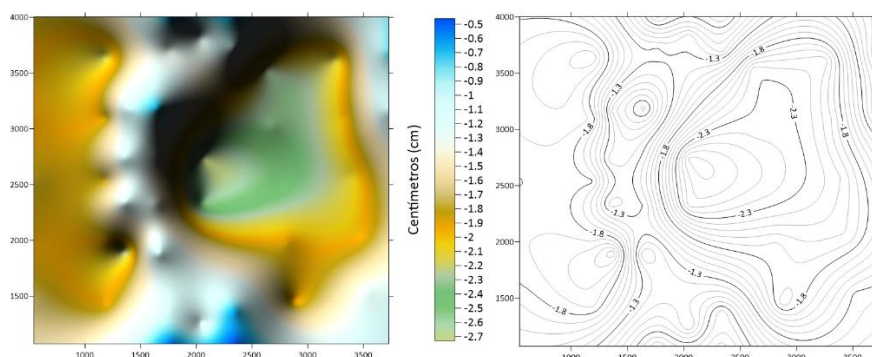


Figura 7. Curvas de iso-recalque SEM consideração da ISE.

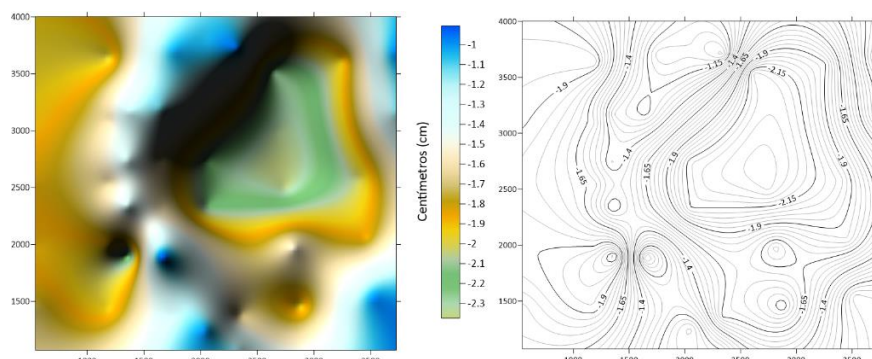


Figura 8. Curvas de iso-recalque COM consideração da ISE.



É possível verificar, comparando as figuras supracitadas, a tendência de uniformização dos recalques quando se considera a interação solo-estrutura. Essa uniformização é mais bem visualizada na figura 9, relçando um recorte esquemático e os níveis de recalques em cada um dos pilares.

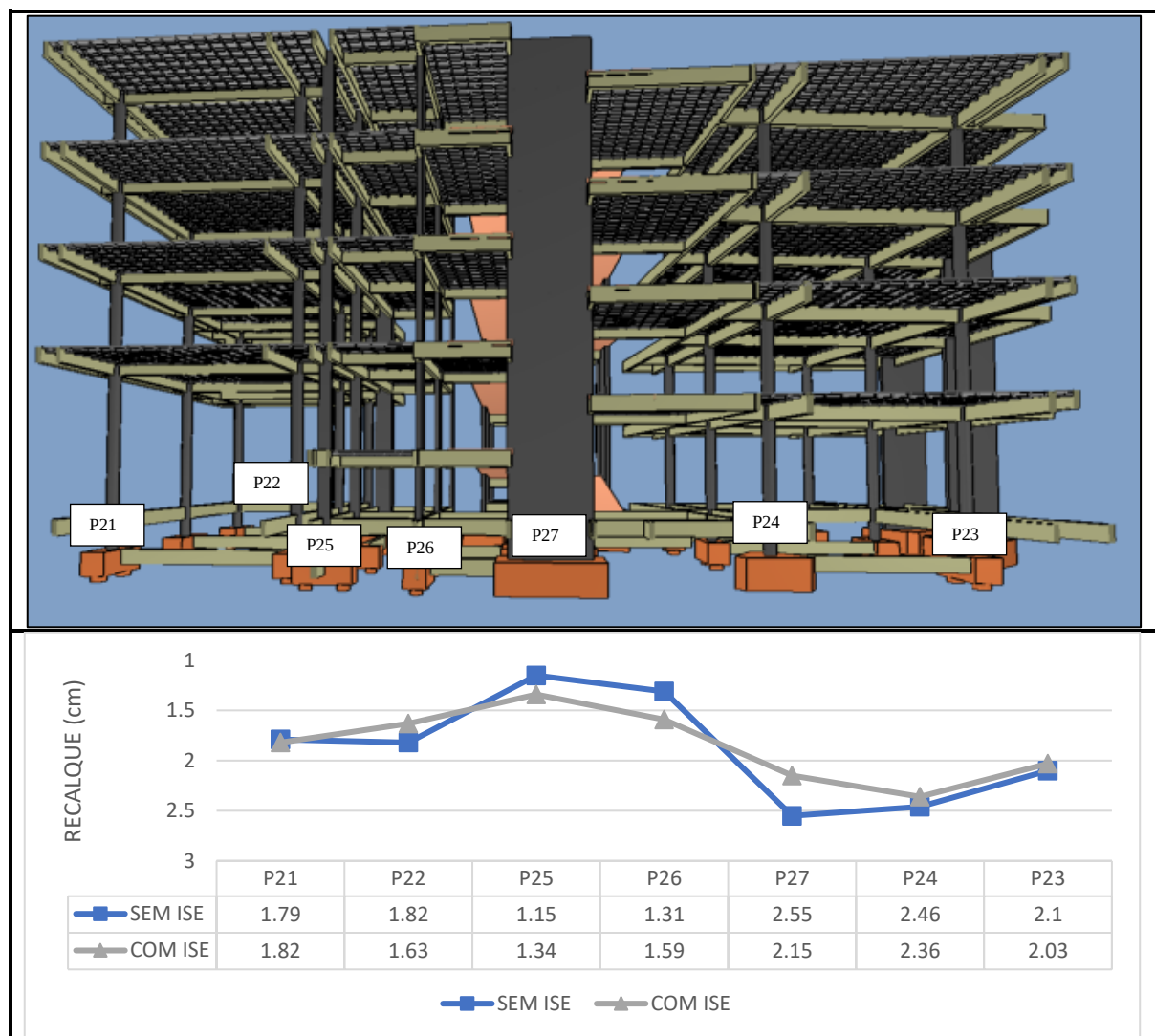
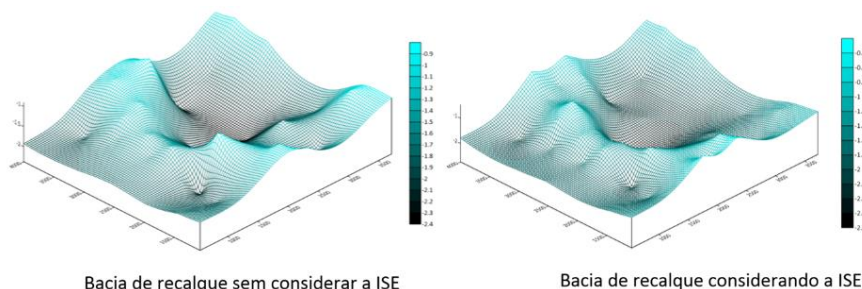


Figura 9. Recorte esquemático e recalques para uma região da edificação analisada.

A figura 10 ilustra as bacias de recalques nas duas situações: com ISE e sem ISE. É possível verificar com maior clareza a tendência de uniformização dos recalques, bem como a distribuição dos carregamentos quando se considera a rigidez da superestrutura.



Bacia de recalque sem considerar a ISE

Bacia de recalque considerando a ISE

Figura 10. Comparação das bacias de recalques considerando a ISE (figura à esquerda) e não considerando a ISE (figura à direita).



6 Conclusões

Os recalques médios estimados sem considerar a interação solo estrutura e considerando a interação solo estrutura foram muito próximo. O recalque médio para hipótese de projeto foi de 1,54 cm, enquanto o recalque médio considerando a interação solo estrutura foi de 1,59 cm. O coeficiente de variação, bem como o desvio padrão, reduziram, pois o efeito da rigidez da estrutura e sua interação com o solo foi acoplado na análise, o que é de se esperar, conforme Gusmão (1994).

As curvas de isorecalques mostraram, considerando a hipótese original de projeto, maiores valores de recalques na região central da edificação. Houve uma suavização dos recalques na hipótese considerando a interação solo estrutura, pelo mesmo efeito que houve a redução do coeficiente de variação e desvio padrão. A curva de isorecalque também mostra uma redução dos recalques na região superior da planta e um aumento na região inferior, isso devido a migração das cargas e consequente redução dos recalques gerados. Percebe-se também uma predominância de rigidez na seção transversal da edificação, o que pode também ser inferido através das migrações de cargas e aumento e redução dos recalques avaliados. A suavização da curva também realça a alteração dos recalques diferenciais.

Uma seção transversal passando pelo trecho do pilar de maior carregamento, onde justamente fora realizado a Prova de Carga Estática (PCE), indica uma tendência significativa de redução dos recalques diferenciais e, consequentemente, dos recalques distorcionais considerando a interação solo estrutura. Portanto, no sentido transversal, a influência da rigidez da estrutura na redução das distorções e recalques diferenciais foi mais acentuada. Essa conclusão está de acordo com o estado atual da edificação em análise, o que justifica a ausência de danos importante na estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GUSMÃO, A.D. Aspectos Relevantes da Interação Solo-Estrutura em Edificações”. Solos e Rochas, 17, n. 1 (abril), pp. 47-55, São Paulo. 1994.
- AOKI, N. Discussion to session 14. Proceedings, 12th ICSMFE, Rio de Janeiro, v. 5, pp. 2963-2966. 1989.,
- AOKI, N. Modelo Simples de Transferência de Carga de Estaca Vertical Sujeita a Carga Axial de Compressão. Anais do Ciclo de Palestras sobre Fundações, ABMS-NRNE, Recife, pp. 79-95. 1987.
- HOLANDA JUNIOR, O. G. Interação solo-estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 1998.
- GUSMÃO, A.D., e GUSMÃO FILHO, J.A. Um caso GUSMÃO, Prático dos Efeitos da Interação Solo-Estrutura em Edificações, Anais do IX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Salvador, Vol. II, pp. 437-446. 1990.