

Interação Solo-Estrutura no projeto de um edifício de 50 pavimentos.

Augusto Costa Silva

Pos-graduando, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, augustocscivil@gmail.com

Maurício Martines Sales

Professor Titular, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, sales.mauricio@gmail.com

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi comparar, para edificação hipotética, de 50 pavimentos, com forma quadrangular em planta, as reações de apoio e os recalques obtidos com e sem a interação solo-estrutura (ISE). Foram consideradas três diferentes alternativas de fundações, baseadas em dois perfis de solo. Com a consideração da interação, os edifícios apresentaram redução aproximada de 10% dos recalques na região central da fundação, redução do coeficiente de variação de recalques, em torno de 30% a 40% e redistribuição das reações de apoio, provocando sobrecarga de até 60% em um dos pilares. Destaca-se que entre as alternativas de fundação estudadas aquela que resulta em maiores recalques (menor rigidez) implicou em maiores redistribuições de cargas. O processo da ISE foi realizado de forma iterativa e após cinco ciclos de interação observou-se uma nítida convergência. Destaca-se, entretanto, que após o primeiro ciclo de interação, já foram obtidos resultados satisfatórios, proporcionando aos projetistas praticidade e resultados mais próximos da realidade.

PALAVRAS-CHAVE: Interação Solo-Estrutura, Recalques, Reações de Apoio, Parâmetros de Estabilidade Global.

ABSTRACT: The aim of this work was to compare, for hypothetical construction, 50 floors, with a quadrangular shape in the plan, the support reactions and the settlements obtained with and without the soil-structure interaction (SSI). Three different foundation alternatives were considered, based on two soil profiles. When considering the interaction, the buildings presented a reduction of approximately 10% of the settlements in the central region of the foundation, reduction of the coefficient of variation of settlements, around 30% to 40% and redistribution of support reactions, causing overload of up to 60 % on one of the columns. It should be noted that among the alternatives of foundation studied, the one that results in higher settlements (less rigidity) implied higher redistributions of loads. The SSI process was performed in an iterative manner and after five cycles of interaction there was a clear convergence. It should be noted, however, that after the first cycle of interaction, satisfactory results have already been obtained, providing designers with practicality and results that are closer to reality.

KEYWORDS: Soil-Structure Interaction, Settlements, Support Reactions, Global Stability Parameters.

1 Introdução

Os projetistas de estruturas comumente simplificam os elementos de fundação tratando-os como apoios indeslocáveis e para essa condição de contorno determinam as cargas nos pilares. De posse dessas cargas, mas sem considerar a rigidez da superestrutura, os projetistas de fundações dimensionam os elementos de fundação para que não ocorra ruptura e os recalques sejam admissíveis.

Para melhor simular o comportamento das fundações existem os modelos que consideram o solo como um meio contínuo, os quais possibilitam incorporar o efeito de interação entre as partes da fundação. Nesses modelos, aparece a necessidade de compatibilizar a deformabilidade da fundação com a rigidez da superestrutura, para representar o mecanismo de interação solo-estrutura (ISE).

Os projetistas, ainda em sua maioria, desconsideram o mecanismo de ISE. Então, questiona-se quais os prejuízos da adoção de métodos que não consideram a ISE no desempenho de edificações quanto aos recalques e as reações de apoio nos pilares.

Em relação ao projeto de fundações, a utilização do modelo de ISE na análise de edificações, além de ser mais realista, conduz a menores recalques diferenciais em comparação aos métodos simplificados comumente adotados pelos projetistas (GUSMÃO, 1990, 1994). Dessa forma, pode-se viabilizar a aceitação de projetos de fundações que com os métodos convencionais não seriam aceitos, acarretando em maior economia.

No que se refere ao projeto de estruturas, a consideração da ISE pode acarretar em maiores esforços em partes da superestrutura e menores em outras, relativo aos calculados por métodos que a não consideram. Assim, o cálculo convencional pode estar contra a segurança.

Diversos estudos têm sido realizados sobre a ISE. Dessa forma, a presente pesquisa busca colaborar para o amadurecimento e a disseminação desse conhecimento por meio da constatação da influência da ISE no desempenho de edificações e da identificação de variáveis que afetam o desempenho de edificações quando se considera a ISE.

O objetivo geral é investigar o comportamento de edificações hipotéticas, quanto às reações de apoio nos pilares e aos recalques de fundação, utilizando diferentes formas de cálculo que consideram ou não a ISE. Em relação aos objetivos específicos, destacam-se: (i) Comparar o comportamento de edificações hipotéticas de cinquenta pavimentos, com forma quadrangular em planta, considerando as seguintes condições de apoio: a) indeslocáveis e b) com molas que incorporam o efeito da interação das partes da fundação; e (ii) Alterar as alternativas de fundação, avaliando seu efeito na ISE.

2 Metodologia

2.1 Procedimentos adotados

O procedimento geral de avaliação do efeito da ISE consistiu na comparação dos resultados da análise de edifício hipotético. Tais resultados foram obtidos sem e com interação, os quais se aproximam dos valores medidos em campo, como observado por Fonte, Gusmão Filho e Jucá (1994). A avaliação das reações de apoio e dos recalques, obtida pelos métodos de apoios indeslocáveis (engastados) e o de ISE, foi também realizada utilizando a metodologia de Gusmão (1990, 1994). Nessa metodologia, o parâmetro AR é utilizado para avaliar a redistribuição de carga nos pilares, sendo calculado pela equação 1, onde, w é o recalque em um determinado ponto e w_m é o recalque médio.

$$AR = \frac{w}{w_m} \quad (1)$$

Foram utilizados para obtenção dos resultados os programas CAD/TQS, desenvolvido pela empresa TQS Informática Ltda (1986), e GARP, desenvolvido por Poulos (1994) e aperfeiçoado por Small e Poulos (2007). O primeiro avaliou a superestrutura e o conjunto solo-estrutura com o uso de coeficientes de mola na base dos pilares. O segundo calculou a fundação por meio de uma metodologia híbrida, que combina o método dos elementos finitos (MEF), usado na análise do radier, com as soluções analíticas da teoria da elasticidade para o solo e as estacas.

Os procedimentos convencionais de cálculo do conjunto fundação-superestrutura consideram as hipóteses de apoios indeslocáveis. Os dados de entrada da superestrutura foram os mesmos em todos os procedimentos de cálculo adotados. No procedimento que considera os apoios indeslocáveis, processou-se a superestrutura, resultando em reações de apoio que foram utilizadas como cargas sobre os elementos de fundação para cálculo dos recalques correspondentes a cada pilar. Nesta metodologia, não há processo iterativo para determinar novas cargas e recalques.

A análise de interação solo-estrutura dos casos hipotéticos foi realizada por meio de um procedimento iterativo de obtenção das reações de apoio na superestrutura e de recalques na fundação. Estes foram compatibilizados com a superestrutura por meio da flexibilização dos apoios.

Da análise da superestrutura, com apoios indelocáveis, foram obtidas as reações de apoio ($P_{0,j}$) para todos os pilares, que foram usadas como cargas no cálculo da fundação. Além das cargas dos pilares, as propriedades e geometria da fundação foram dados de entrada no cálculo da fundação.

O resultado obtido da análise da fundação, considerando as interações entre as partes da mesma, foram os recalques dos elementos de fundação. A variável recalque foi escolhida para o teste de convergência, ao invés das cargas verticais e rigidezes dos apoios, porque os projetistas de fundações possuem maior conhecimento de sua ordem de grandeza em relação às demais, o que facilita a definição de um limite admissível.

Os coeficientes de rigidez ($k_{1,j}$) foram obtidos como a razão entre as cargas verticais e os recalques de cada pilar. Ressalta-se que tais coeficientes foram utilizados nos nós da base dos pilares em que se processa a estrutura novamente, de forma a obter novas reações de apoio verticais, que são as novas cargas verticais atuantes nos elementos de fundação.

Com as novas cargas verticais sobre os elementos de fundação, calcularam-se os novos recalques, e verificou-se se a variação entre os recalques do segundo ($w_{2,j}$) e do primeiro ($w_{1,j}$) passos era menor que o limite (Lim), para todos os apoios, por meio da equação 2; se sim, adotaram-se as cargas verticais e os recalques obtidos; se não, continuava-se o processo iterativo até o atendimento do limite admissível. Nos resultados desse artigo, considerou-se 6 estágios de cálculo (previsão inicial mais 5 etapas de iterações) para avaliação da variação de cargas e recalques, independente da convergência ou não em estágios anteriores.

$$\left| \frac{w_{i,j} - w_{i-1,j}}{w_{i-1,j}} \right| \leq Lim \quad (2)$$

2.2 Construção dos Casos

2.2.1 Superestrutura

Baseado no trabalho de Araújo (2009), criou-se um edifício hipotético de formato quadrangular (6x6 linhas de pilares) em planta, com 50 pavimentos e pé direito de 3,2 metros. A altura desse edifício (H) foi igual a 160 m e as dimensões do edifício foram: $L_x=29,8$ m e $L_y=28,8$ m.

Definida a geometria inicial, realizou-se um pré-dimensionamento dos pilares considerando a hipótese de charneiras plásticas, pelo método da carga concentrada, com um carregamento adotado de 12 kN/m² por piso, limite superior para edifícios usuais, baseado em Giongo (2007).

Após o pré-dimensionamento, utilizou-se o programa CAD/TQS para processar o edifício hipotético definido. Para este foram escolhidas lajes maciças com espessura de 12 cm, sendo utilizado o carregamento padrão APART1 dado no programa, correspondente a sala/cozinha/dormitório, em que as cargas permanentes e acidentais distribuídas por área, respectivamente, são iguais a 1,0 kN/m² e 1,5 kN/m². Essas propriedades são as mesmas para todos os pavimentos tipo.

As vigas foram escolhidas com largura de 30 cm e altura de 70 cm, sendo o carregamento sobre as vigas correspondente a alvenaria em blocos de concreto de 19 cm, utilizando o carregamento padrão BLOCO19, em que a carga permanente é 3,2 kN/m e a altura da parede igual a 2,5 m, compatível com o pé direito e com a altura da viga. As vigas baldrame do pavimento fundação apresentaram as mesmas propriedades que as do pavimento tipo. Os pilares nascem no pavimento fundação e morrem no último pavimento tipo com seção constante.

Após definição de todos os dados do edifício, efetuou-se o processamento, considerando o caso de carregamento com todas as cargas permanentes e acidentais. Com o processamento global do edifício hipotético, foram observados elevados valores de parâmetros de estabilidade global, com valores de γ_z superiores a 1,1. Visando obter estruturas com parâmetro γ_z menor do que 1,1, fizeram-se as seguintes alterações no edifício hipotético: (i) Aumento nas dimensões dos pilares; e (ii) Enrijecimento dos pilares

centrais, com adoção de formatos em U e L, sendo os pilares em U utilizados para simular as caixas de elevador do edifício. Com as alterações efetuadas, foi obtida a planta do edifício hipotético que está apresentada na Figura 1. Essa planta foi processada no CAD/TQS, onde foram obtidos parâmetros γ_z menores que 1,1.

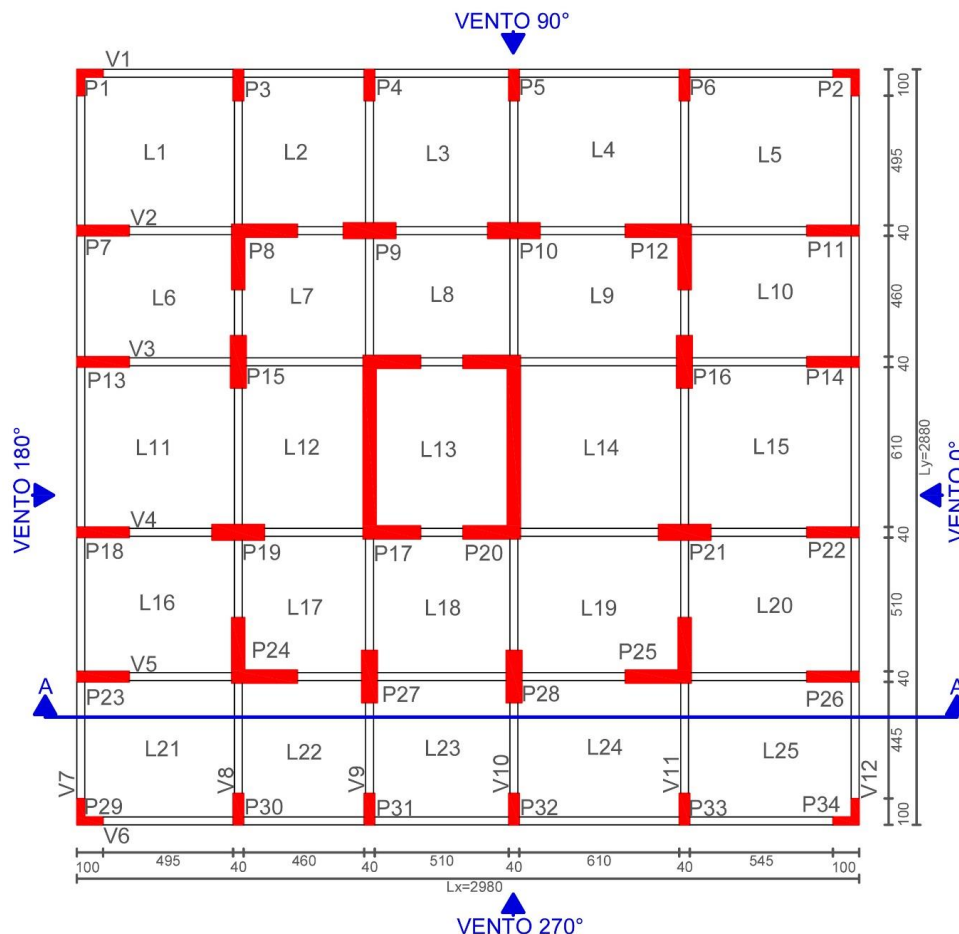


Figura 1. Edifício hipotético de geometria quadrangular em planta (cm).

2.2.2 Fundação

Na definição da fundação, primeiramente, adotou-se o perfil do terreno com base nos resultados de sondagens pelo *Standard Penetration Test* (SPT), em terreno real da cidade de Goiânia/GO. Por meio dessas sondagens, calculou-se a média dos valores de N_{SPT} ao longo da profundidade de 4 furos. Considerou-se o impenetrável na profundidade de 38 m, sendo que nas profundidades onde não se realizou o SPT, adotou-se N_{SPT} igual a 40, já que se supôs serem camadas mais resistentes.

Consideraram-se dois casos, no primeiro, uma fundação superficial foi apoiada na cota de - 3 m, onde o solo abaixo possui baixos valores de N_{SPT} , sendo denominado de solo fraco (FA). No outro caso, a fundação superficial foi apoiada na cota -10 m, similar a um solo que sofreu escavação, onde o solo subjacente apresenta valores de N_{SPT} mais elevados, denominando-se o solo, assim, de forte (FO).

Por meio da média dos valores de N_{SPT} , estimou-se o módulo de elasticidade das camadas pela equação 3, sendo escolhido o valor de 3,5 por estar entre 3 e 4, que é a sugestão utilizada por Araújo (2009). Com o valor do módulo de elasticidade das camadas e as dimensões hipotéticas de estacas de 60 cm e 140 cm, elaborou-se um esquema meramente ilustrativo do perfil de solo e dos tipos de estacas calculadas, que é apresentado na Figura 2, para solos fraco e forte.

$$E(\text{MPa}) = 3,5 \cdot N_{SPT} \quad (3)$$

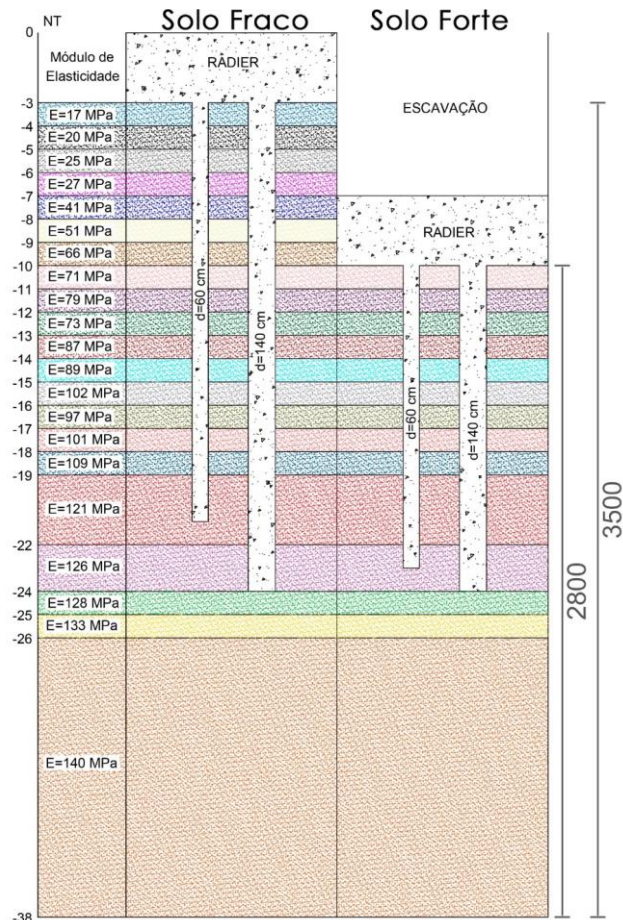


Figura 2. Esquema ilustrativo do perfil de solo e as estacas calculadas, para fundação sobre solo fraco (FA) e forte (FO).

Adotou-se uma nomenclatura padrão para os casos analisados. Nessa nomenclatura, a primeira letra refere-se à geometria do edifício, que é quadrangular, abreviado pela letra Q. A segunda e terceira letras referem-se ao tipo de solo, que pode ser fraco (FA) ou forte (FO). Por fim, a numeração indica o tipo de estaca, que podem apresentar diâmetro de 60 cm ou 140 cm.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos casos analisados, definidos pelo cálculo do número de estacas, juntamente com a distribuição das estacas ($s/d=3$) sob os radiers de espessura de 3 m. Destaca-se que no caso QFO, pelo cálculo estrutural da fundação não houve a necessidade de estacas, ou seja, trata-se de um radier isolado.

Tabela 1. Resumo dos casos analisados.

Casos	Nome	Edifício	Solo	Diâmetro (cm)	Nº Estacas	H* x V**	Comprimento (m)
1	QFA60	Q	FA	60	300	18x18	18
2	QFA140	Q	FA	140	84	10x10	21
3	QFO	Q	FO	-	0	-	-

*H é número de estacas na linha horizontal.

**V é número de estacas na linha vertical.

3 Resultados e Discussões

3.1 Recalques

Na planta do edifício, apresentada na Figura 1, foram selecionados os pilares P23, P24, P27, P28, P25 e P26, obtidos do corte AA. Para observar o efeito da interação, foram computados os recalques desses pilares e construídas bacias de recalques, que são apresentadas nas Figuras 3(a), 3(b), 3(c), respectivamente, para os casos QFA60, QFA140 e QFO.

Notou-se que, após a primeira iteração, houve uma significativa redução nos recalques em todos os casos, na região central. A partir da segunda iteração, essa variação não é tão expressiva. Observou-se a redução dos recalques com o número de iterações, com uma taxa decrescente de uma iteração para outra, tanto, que as curvas da 4ª e 5ª iterações praticamente se sobrepõem.

A Figura 3(b) apresentou que os pilares de extremidade (P23 e P26) tiveram aumento de recalques, e os pilares internos (P24, P27, P28 e P25) redução de recalques com o número de iterações, o que condiz com o comportamento previsto por Gusmão (1990, 1994). Nas Figuras 3(a) e 3(c), observou-se um comportamento distinto, onde os pilares de extremidade (P23 e P26), na curva sem interação, não apresentaram os menores valores de recalques.

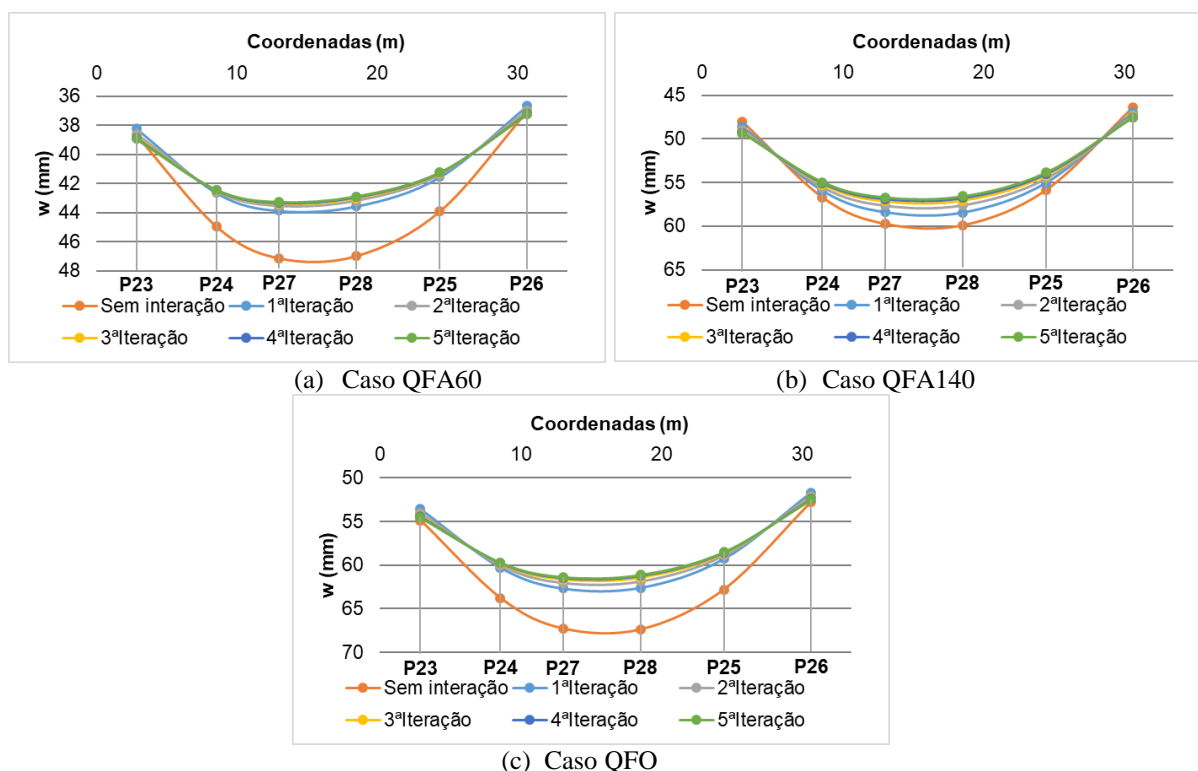


Figura 3. Bacia de recalques obtida de corte horizontal.

A Figura 4 compara os recalques dos pilares do corte AA (Figura 1) para os três casos analisados. Os maiores recalques foram obtidos, sequencialmente, para o edifício com solo forte e sem estacas (QFO), solo fraco com estacas de 140 cm de diâmetro (QFA140) e solo fraco com estacas de 60 cm de diâmetro (QFA60), nas análises com e sem interação solo-estrutura. Como a carga total aplicada ao edifício é a mesma, menores valores de recalques, são resultantes de uma maior rigidez final da fundação.

Os resultados demonstraram que, em uma fundação em radier isolado, mesmo que o solo seja “forte”, onde se espera menores recalques em relação a um solo “fraco”, os recalques foram maiores que a fundação em radier estaqueado, o que mostra a grande capacidade das estacas atuarem como elementos redutores de

recalques. O fato dos recalques do caso QFA60 serem menores que os do QFA140, é devido a maior rigidez da fundação daquele caso.

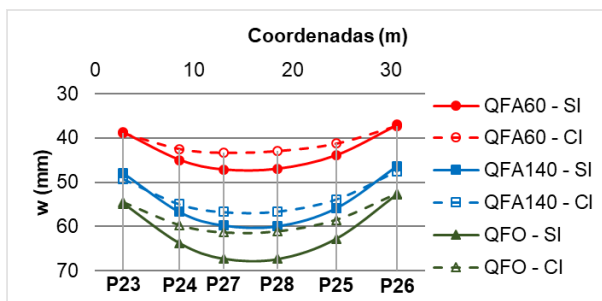


Figura 4. Comparação das bacias de recalques de corte horizontal dos casos analisados.

A Tabela 2 apresenta a média dos recalques (w_m), desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (CV), com e sem interação, para os casos QFA60, QFA140 e QFO. Ao se comparar a média dos recalques com e sem interação para todos os casos, observou-se que a diferença foi inferior a 5%. Por outro lado, a consideração da interação provocou considerável redução (30% a 40%) nos coeficientes de variação, para todos os casos. Dessa forma, prevaleceu o efeito de suavização da curva de recalques (bacia de recalques), devido à interação solo-estrutura, sobre o efeito da magnitude dos recalques, em todos os casos analisados. Além disso, os casos com menores recalques médios (maior rigidez da fundação) apresentam as maiores reduções no coeficiente de variação.

Tabela 2. Média de recalques e coeficiente de variação para os casos do edifício quadrangular.

RECALQUE	QFA60		QFA140		QFO	
	SI	CI	SI	CI	SI	CI
w_m (mm)	41,46	39,95	52,46	51,71	59,24	56,47
σ (mm)	5,79	3,31	7,45	4,92	8,49	5,11
CV	0,14	0,08	0,14	0,10	0,14	0,09

3.2 Reações de Apoio

Os pilares P1 (canto), P7 (extremidade) e P8 (interno) foram escolhidos para avaliar as reações de apoio obtidas com o processo iterativo. Nas Figuras 5(a), 5(b), 5(c), são apresentados os gráficos de reações de apoio normalizadas pelas reações de apoio inicial (sem interação) dos pilares P1, P7 e P8, respectivamente, para os casos QFA60, QFA140 e QFO.

Observou-se para todos os casos avaliados, que os pilares de canto e extremidade apresentaram aumento de carga com a interação, enquanto os pilares internos apresentaram redução de carga com a interação. Destaca-se que, houve um aumento de carga no pilar P1 em torno de 30%, 40% e 60%, respectivamente, para os casos QFA60, QFA140 e QFO. Dessa forma, no pilar de canto P1 o aumento de carga foi maior nos casos com menor rigidez da fundação.

Em relação ao pilar interno P8, a redução das cargas com a interação foi em torno de 5% em todos os casos. Quanto ao pilar de extremidade, observou-se aumento das cargas em torno de 20% nos casos QFA60 e QFO, e de 30% no caso QFA140. Para reforçar as observações, apresenta-se na Figura 6, um esquema com os pilares que sofrem sobrecarga (aumento de carga) e os que sofrem alívio (redução de carga) com a interação.

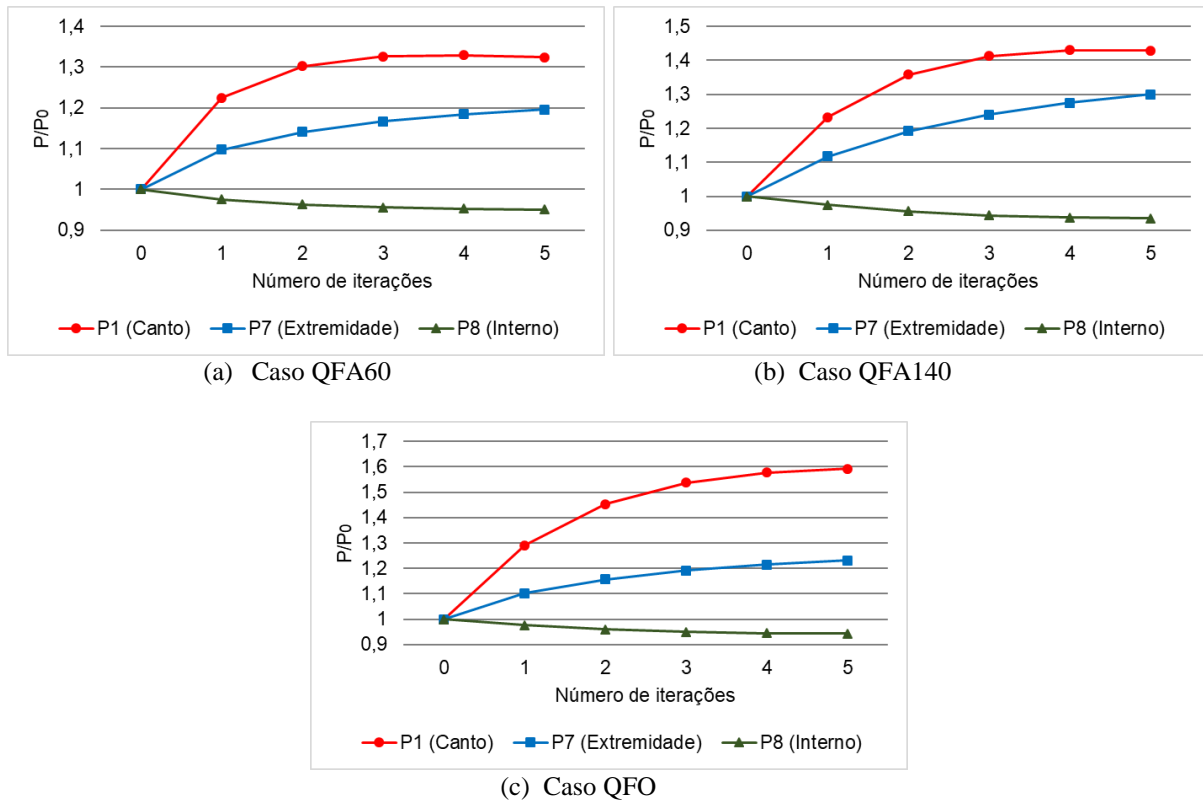


Figura 5. Cargas (P) normalizadas pela carga inicial (P_0) nos pilares versus o número de iterações.

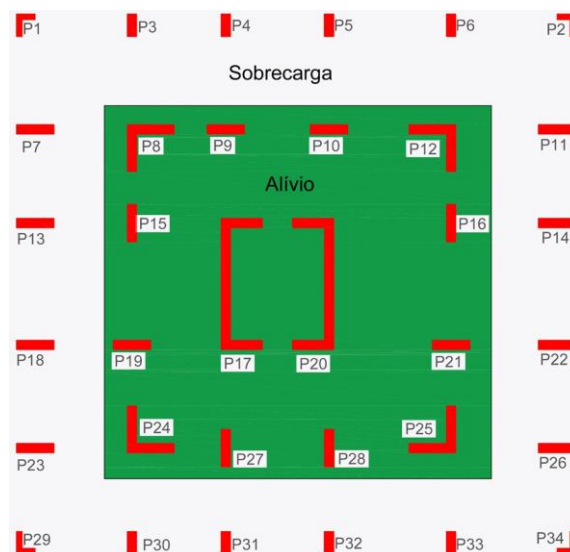


Figura 6. Comportamento dos pilares com a interação em relação a análise sem interação, para os casos QFA60, QFA140 e QFO.

O comportamento de cargas nos pilares, pode também ser obtido indiretamente pelo parâmetro de interação AR , definido por Gusmão (1990, 1994) e calculado pela equação 1. Os valores de AR sem e com (5ª iteração) interação, de cada pilar, são comparados para destacar se os mesmos sofrem sobrecarga ou a alívio com a interação.

Utilizaram-se os pilares do corte AA (Figura 1) para computar os valores de AR , apresentados nas Figuras 7(a), 7(b), 7(c), respectivamente, para os casos QFA60, QFA140 e QFO. Pelas curvas observa-se que os pilares internos (P24, P27, P28 e P25) sofrem alívio com a interação, já que o AR calculado é menor que o estimado pelo método convencional, e o oposto ocorre para os pilares de extremidade (P23 e P26).

Esse comportamento é equivalente ao observado pelas reações de apoio nos pilares, conforme mostrado na Figura 6.

Pelo exposto por Gusmão (1990, 1994), os pilares com AR estimado (sem a interação) menor do 1 tendem a apresentar sobrecarga com a interação e alívio de carga quando o AR estimado é maior que 1. Baseado nisso, reforça-se que os pilares internos apresentam alívio (AR estimado > 1) e os de canto sobrecarga (AR estimado < 1) com a interação.

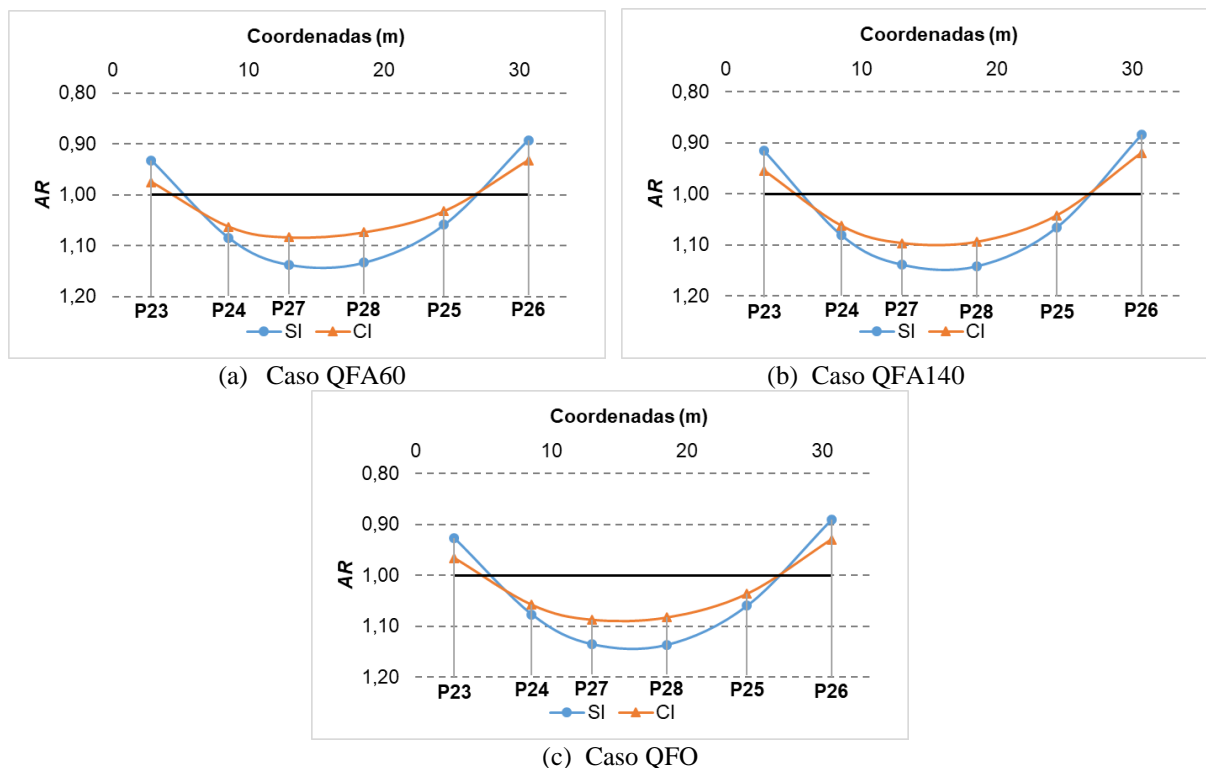


Figura 7. AR 's obtidos de corte horizontal.

4 Conclusões

A superestrutura e a fundação de um edifício trabalham em um mecanismo de interação mútua, no qual a deformabilidade do solo é compatibilizada com a superestrutura. Os projetos de estrutura comumente assumem em suas análises a hipótese de apoios indeslocáveis. Dessa forma, não é considerada a deformabilidade do solo no cálculo das reações de apoio.

Neste trabalho comparou-se o comportamento com e sem a interação da superestrutura e da fundação de casos hipotéticos de edifícios de 50 pavimentos, em fundação do tipo radier isolado/estaqueado com diferentes tipos de solo e estacas. As características de cada caso levaram a uma rigidez da fundação, que é fruto do dimensionamento realizado.

Essa rigidez relaciona carga aplicada ao edifício com o recalque sofrido pelo mesmo. Como as cargas totais aplicadas as diferentes alternativas de fundações foram as mesmas, as fundações de maior rigidez foram as que apresentaram menores recalques. Vale ressaltar que essa rigidez é dependente de vários fatores, como por exemplo: deformabilidade do solo; número e diâmetro das estacas; e espessura do radier.

Em todos os casos analisados, ocorreu a convergência das curvas recalques. No primeiro processamento da ISE houve significativa redução dos recalques na região central da fundação, mas após a segunda iteração, e para as iterações seguintes, a redução não é tão expressiva, tanto que da 4ª para 5ª iterações a variação percentual dos recalques é menor que 1%. O recalque médio calculado com interação apresentou diferença menor que 5% em relação a análise sem interação, para os casos avaliados. Por outro lado, o CV apresentou significativa redução de 30% a 40% com a interação. Esse comportamento evidencia

o efeito de suavização da deformada de recalques devido à interação. Destaca-se também, que os casos com maiores recalques médios apresentaram maior redução de CV com a interação.

Além disso, de modo geral, os pilares internos apresentaram redução dos recalques com a interação, enquanto os pilares de canto e de extremidade apresentaram tendência de aumento do recalque com a interação. A previsão de comportamento dos pilares pelo parâmetro AR se mostrou condizente com as reações de apoio obtidas com a interação, no qual os pilares internos apresentaram alívio e os de canto e extremidade sobrecarga.

Conclui-se que o melhor desempenho da fundação e da estrutura foi obtido para a fundação mais rígida, que conduziu à curvas de recalques e de reações de apoio mais suaves, ao passo que se sugere então, o dimensionamento de projetos com fundação mais rígida. Além disso, o uso de apenas uma interação é suficiente para estimar recalques e reações de apoio mais próximos da realidade, facilitando o seu uso por parte dos projetistas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Goiás e ao CNPq pelo apoio para desenvolvimento da pesquisa e à CAPES pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, A. C. (2009) *Análise da interação solo-estrutura em edifícios altos*. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás.
- Fonte, A.O.C.; Gusmão Filho, I.P.; Jucá, J.F.T. (1994) Interação Solo - Estrutura em Edifícios Altos. *In: Congresso Brasileiro De Mecânica Dos Solos e Engenharia De Fundações*, 10., 1994, Salvador. Anais... Salvador. v. 1, pp. 239-246.
- Giongo, J. S. (2007) *Concreto armado: Projeto Estrutural de Edifícios*. Notas de Aula, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP.
- Gusmão, A. D. (1990) *Estudo da interação solo estrutura e sua influência em recalques de edificações*. 1990. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Gusmão, A. D. (1994) Aspectos relevantes da interação solo-estrutura em edificações. *Solos e Rochas*, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 47-55.
- Poulos, H. G. (1994) An approximate numerical analysis of pile-raft interaction. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, [s.l.], v. 18, n. 2, p.73-92. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/nag.1610180202>.
- Small, J. C; Poulos, H. G. (2007) A method of analysis of piled rafts. *In: Australia New Zealand Conference on Geomechanics*, 10., Common Ground Proceedings Brisbane, p.550-555.
- Tqs informática ltda (São Paulo). *TQS*. 1986. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/>>. Acesso em: 05 out. 2017.