

Consideração da interação solo-estrutura: influência nos recalques diferenciais e nas distorções angulares de uma fundação

Consideration of soil-structure interaction: influence on differential settlements and angular distortions of a foundation

José Valdeildo Moreira Jordão Junior¹, Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello^{1*}, Raimundo Paulo da Silva Júnior¹, Jonny Dantas Patrício², Jefferson Pedro da Silva¹

RESUMO

Os valores dos recalques por distorção angular ou deslocamentos limites de uma fundação são fundamentais para verificação de atendimento à segurança e desempenho da construção. Este artigo apresenta os efeitos dos recalques por distorção angular em fundação de um edifício com sistema construtivo parede de concreto armado. Foram utilizados os valores dos recalques absolutos estimados no anteprojeto (sem consideração da interação solo-estrutura), os calculados pelo modelo numérico e os obtidos por monitoramento de campo. Verificou-se que o recalque diferencial máximo estimado em anteprojeto foi 0,59 mm, 8,0 mm para o modelo numérico e 8,4 mm para recalques monitorados em campo, não ultrapassando o limite de 25 mm para fundação radier em areia, sendo considerados admissíveis. Os valores da distorção angular para o modelo numérico e a estimativa do anteprojeto foram abaixo do 1/1000, sendo irrelevante. Considerando os recalques absolutos monitorados, os valores da distorção angular ficaram acima de 1/500, sendo o limite seguro para impedir danos em paredes. Todos os valores dos recalques diferenciais e das distorções angulares foram satisfatórios, não oferecendo risco estrutural.

Palavras-chave: Radier estaqueado; Monitoramento de recalque; Deslocamentos limites.

ABSTRACT

The values of settlements for angular distortion or limit displacement of the foundation are essential to verify compliance with safety and construction performance. This article presents the effects of the settlements and angular distortion in the foundation of a building with a reinforced concrete wall construction system. It was used the values of absolute settlement that were estimated in the preliminary project (without considering the soil-structure interaction), those calculated by the numerical model and those obtained by field monitoring were used. It was found that the maximum differential settlement estimated in the preliminary design was 0.59 mm, 8.0 mm for the numerical model and 8.4 mm for field-monitored differential settlement. These values did not exceed the limit of 50 mm for a raft foundation in sand and are therefore considered admissible. The angular distortion values for the numerical model and the preliminary project estimate were below 1/1000, being irrelevant. Considering the monitored absolute settlements, the angular distortion values were above 1/500, being the safe limit to prevent damage to walls. All the values of differential settlements and angular distortions were satisfactory, so did not structural risk.

Keywords: Pile raft foundation; Settlements monitoring; Limits displacements.

¹ Universidade Federal de Pernambuco

*isabelamcvbello@hotmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande

INTRODUÇÃO

A fundação tipo radier estaqueado tem grande capacidade de aceitação em estruturas sobre solo mole devido seu ótimo desempenho no controle de recalques e capacidade de carga de dois tipos de fundação unidos em um único sistema, ainda podendo ser projetado economicamente para construções populares. No sistema de fundação por radier estaqueado, as cargas são absorvidas pelas duas estruturas tanto pelo radier quanto pelas estacas, assim favorecendo a segurança para o modelo.

Rincon (2016) afirma que no sistema radier estaqueado uma estrutura compensa as falhas da outra, o radier sendo responsável por uniformizar e absorver as cargas e as estacas agindo pelo bom desempenho nos recalques totais.

Existem diversos estudos que buscam analisar a redução de recalques a valores aceitáveis, dos elementos de fundação superficiais, por meio do uso combinado de estacas com o radier: Bezerra (2003), Mandolini (2003), Soares (2011), Freitas Neto (2013), Garcia (2015), Poulos (2017), Souza (2020), Patrício (2021), entre outros.

Na Região Metropolitana do Recife, verifica-se um crescente emprego do radier estaqueado, como solução de fundação em obras de médio e grande porte. Por se tratar de uma área que apresenta solos bastante heterogêneos, com baixa capacidade de carga, justifica-se a importância e necessidade de realizar esse tipo de estudo na região.

Entretanto, o monitoramento contínuo dos recalques de uma edificação só passou a ser estabelecido como critério obrigatório na ABNT NBR 6122:2010. Segundo Rodrigues et al. (2020) com o monitoramento contínuo é possível evitar problemas na estrutura como, trincas, desaprumo da edificação, locação de tubulações hidráulica e elétricas e diversas outras patologias. Devem-se analisar no monitoramento da estrutura os quesitos de recalques absolutos e diferenciais, distorções angulares, dentre outros, a qual se obtém resultados mais expressivos quanto ao comportamento da estrutura.

Outra possível causa de problemas nas edificações é a não consideração da interação solo-estrutura (ISE). Tanto a rigidez do radier quanto a da superestrutura de parede de concreto são desprezadas, assim, sendo tratado de maneiras independentes no projeto idealizado convencionalmente. Além dessas rigidezes não consideradas, existe a não consideração dos deslocamentos do solo, que provoca fenômenos extremamente importantes como a redistribuição de carga modificando completamente o quadro de tensões da estrutura. Gusmão (1994) afirma que os recalques diferenciais podem ser

reduzidos se considerado a rigidez da estrutura, e enfatiza que isso pode ser contornado considerando a ISE.

Este artigo apresenta uma análise dos efeitos dos recalques por distorção angular em fundação de um edifício com sistema construtivo parede de concreto armado, localizado na Região Metropolitana do Recife. Trata-se de uma continuidade ao projeto de pesquisa intitulado “Estudo de fundação por radier-estaqueado de edifícios com sistema construtivo parede de concreto”, no qual já foram realizados na mesma área, previsão de comportamento das fundações utilizando métodos de elementos finitos nas análises de prova de carga (Silva, 2021), a avaliação da interação solo estrutura (ISE) com monitoramento de recalque e análise da influência da sequência construtiva no desempenho de radiers estaqueado (Silva Junior, 2021), e análise de diferentes cenários de apoio de fundação (Alves, 2021).

REFERENCIAL TEÓRICO

Recalque de fundação

Recalque é definido como um movimento descendente do solo e o levantamento tem como definição o movimento ascendente (ABNT NBR 6122:2019), sendo causadas quando solicitado por cargas provenientes da superestrutura. Esses deslocamentos verticais são a principais causa de complicações nas estruturas como, por exemplo: danos estéticos como, trincas em elementos de vedação e de acabamento; danos funcionais como, desaprumos da edificação, irregularidade no piso e danos no sistema hidráulico; danos estruturais como, fissuras e trincas em elementos estruturais, distorções em vãos, dentre outros (SARAVIS, 2008).

Cunha et al (2013) afirma que em qualquer edificação ocorre recalque ou levantamento, sendo este dividido em três tipos: recalque absoluto, diferencial e diferencial específico (distorção angular).

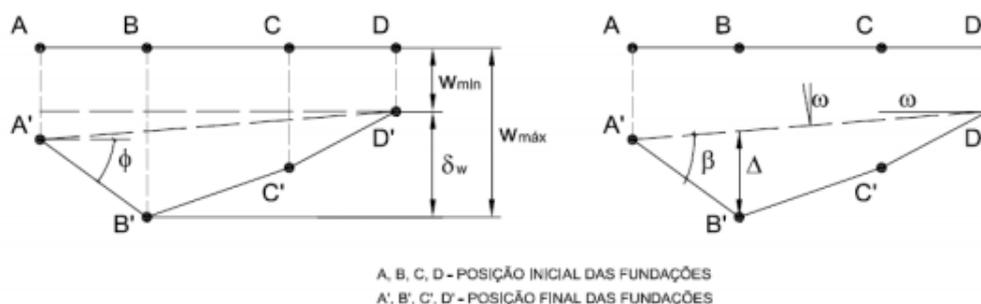
Segundo a ABNT NBR 6122:2019 o recalque absoluto (ρ), também conhecido como recalque total, é definido como um movimento absoluto entre dois pontos de fundação, sem levar em consideração o conjunto da fundação, apenas o elemento específico. Com relação ao recalque diferencial (δ), sua análise corresponde à diferença entre os recalques de dois pontos distintos da fundação. Por fim, o recalque diferencial

específico (β) ou distorção angular é a relação entre o recalque diferencial e a distância horizontal "l" entre dois pontos quaisquer da fundação, como demonstrado na Equação 1.

$$\beta = \frac{\delta}{l} = \frac{\text{recalque diferencial}}{\text{distância entre os elementos}} \quad (1)$$

Na Figura 1 estão sintetizados os deslocamentos sofridos pela estrutura (I.S.E., 1989). A rotação designada por ϕ é usada para descrever a variação da inclinação da reta que une dois pontos de referência da fundação; desaprumo é designado por ω , descreve a rotação de corpo rígido da superestrutura como um todo ou de uma parte dela bem definida e deflexão relativa é designada por Δ , representa o deslocamento máximo em relação à reta que une dois pontos de referência afastados de L.

Figura 1 – Deslocamento de uma estrutura



A, B, C, D - POSIÇÃO INICIAL DAS FUNDAÇÕES
A', B', C', D' - POSIÇÃO FINAL DAS FUNDAÇÕES

Fonte: I.S.E (1989)

Recalques admissíveis

A fixação de recalques limites está relacionada às deformações limites. Não existe uma regra universal para esse limite, a própria NBR 6122/19, utiliza o estado limite de serviço (ELS) para verificar as deformações da fundação, mas não deixa claro os limites que devem ser adotados. Os valores-limites são estabelecidos com base em estudos de caso, feito por especialistas, para averiguação dos possíveis problemas/patologias que podem ocorrer na estrutura. O recalque admissível ou aceitável é determinado como a magnitude da qual a edificação suporta (OLIVEIRA, 2013).

Velloso e Lopes (2010) afirma que fixar recalques totais limites não é simples. Os autores apresentam uma relação entre danos associados às distorções angulares. As principais distorções angulares limites são: $\beta = 1/500$, (limite seguro para impedir danos em paredes); $\beta = 1/300$, (limite a partir do qual espera-se uma primeira fissura em

paredes); $\beta = 1/150$, (limite a partir do qual espera-se danos estruturais). Para os recalques diferenciais máximos de fundação radier em areia recomenda-se um valor na ordem de 25 mm e em argila na ordem de 40 mm.

Interação solo-estrutura (ISE)

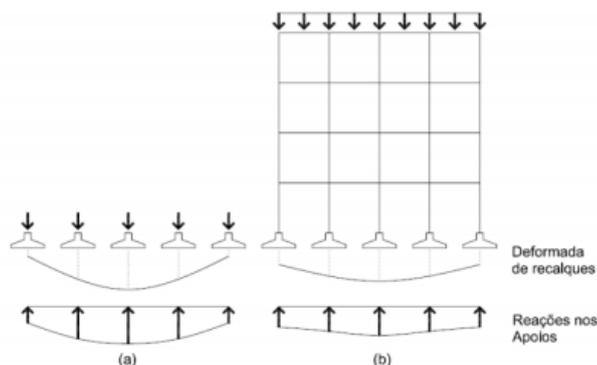
Segundo Oliveira (2013), toda edificação é composta por três partes: a infraestrutura, a superestrutura e o solo. A interação entre essas partes é fundamental para o entendimento do seu comportamento.

Gusmão (1990) afirma que mesmo havendo pesquisas nessa área desde 1950 são poucas as edificações brasileiras que são projetadas considerando o efeito da ISE. A estrutura calculada por projetistas comumente modela a supra-estrutura sem considerar os movimentos do solo, assim sendo apoiados em superfícies indeslocáveis em todas as direções, com grau de liberdade dos apoios nulo, o que não é uma condição realista. A partir da ISE é possível simular um comportamento próximo da realidade para a estrutura.

A consideração da ISE pode ocasionar efeitos divergentes da estrutura calculada de maneira convencional, como: a redistribuição de cargas e esforços nos elementos estruturais, especialmente vigas e pilares; alívio de carga nos pilares mais carregados e sobrecarga nos pilares menos carregados; evitando danos nos elementos estruturais.

Com a ISE, as rigidezes da fundação e da estrutura são avaliadas além dos recalques do solo previstos e considerados. Mas além da rigidez, outro fator que norteia a redistribuição das cargas é a aplicação da evolução da estrutura por etapas, considerando assim a sequência construtiva. Na Figura 3 estão demonstrados os efeitos da ISE nos recalques e reações de apoio das edificações.

Figura 1 – Efeito da interação solo-estrutura nos recalques e reações de apoio de edificações.



Fonte: Adaptado Gusmão (1994).

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da obra e da fundação

A obra em estudo trata-se de um condomínio residencial, localizado na cidade de Jaboatão dos Guararapes, Região Metropolitana de Recife, no Estado de Pernambuco (Figura 4). O empreendimento é composto por 13 (quatorze) blocos de 05 (cinco) pavimentos (térreo + 04 andares), com distribuição linear de cargas para a fundação, realizada através de paredes de concreto armado moldado in loco.

Figura 2 – Localização real da obra



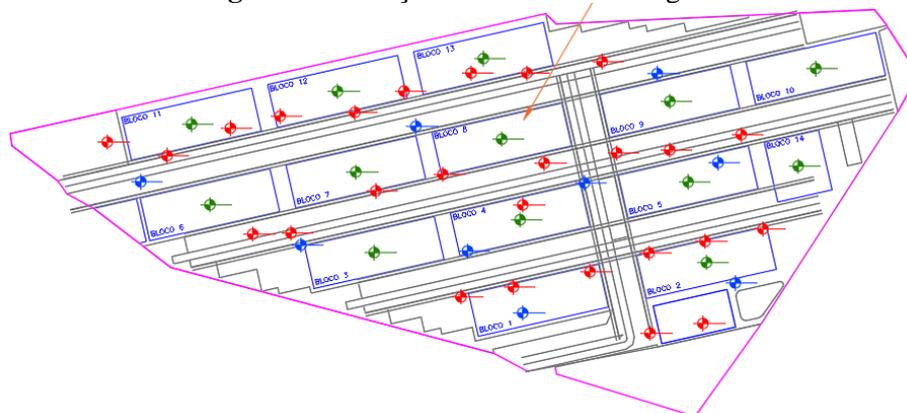
Fonte: Google Maps (2021)

Na Figura 5 está apresentada a locação dos furos de sondagem a percussão (SPT) realizados no local da obra. As sondagens mostraram, em geral, um perfil do solo de fundação heterogêneo, composto, inicialmente, por uma camada de areia com matéria orgânica, mole a pouco compacta, variando até as cotas 6,0 e -7,0 m, seguida por uma camada de areia, medianamente compacta, variando até as cotas +1,0 a -11,0 m. A camada seguinte é composta por uma areia silto-argilosa, pouco compacta, variando até as cotas -11,0 a -21,0 m, finalizando com uma camada de areia, medianamente compacta a compacta, até o limite das sondagens, nas cotas -18,0 a -25,0 m. O nível d'água freático foi encontrado em torno da cota +1,0m. Em virtude das características geotécnicas do terreno e da transmissão linear de cargas da edificação para solo, optou-se pela execução de uma fundação mista tipo radier estaqueado.

Para cada bloco de apartamentos foi executado uma única laje radier com espessura de 25 cm e área aproximada de 528 m², feita de concreto estrutural moldado no local, com resistência a compressão de 40 MPa. A Figura 6 mostra a locação e armação

do radier, com a demarcação dos blocos de coroamento das estacas. O gabarito do radier é gerado e delimitado com uma fiada de alvenaria estrutural, e sobre a mesma nasce um sistema de forma de madeira que delimita a concretagem da fundação (Figura 7).

Figura 3 – Localização dos furos de sondagem



Fonte: Silva Júnior (2021)

Figura 6 – Localização e armação do radier



Figura 7 – Construção do radier



Fonte: Silva Júnior (2021)

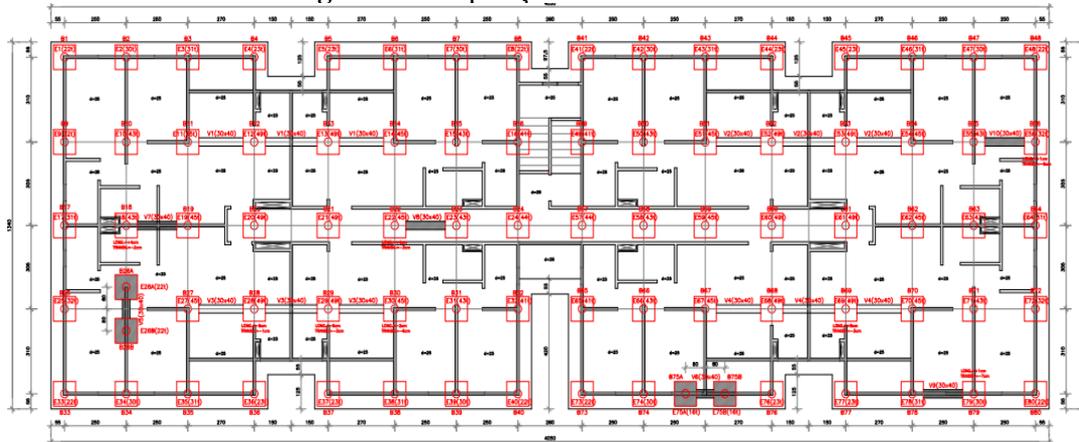
No total, foram cravadas 82 estacas pré-fabricadas de concreto, de seção transversal quadrada, vazada e com lado de 26,5 cm, com espessura de 12 cm e armação de aço CA-50. As estacas possuem capacidade de carga de 86 toneladas e comprimentos variáveis entre 14 e 21 m. A Figura 8 mostra a disposição das estacas no radier

Cálculo dos recalques diferenciais e distorções angulares

Para análise dos recalques diferenciais e distorções angulares foram considerados os valores dos recalques absolutos estimados no anteprojeto (sem ISE), os calculados pelo

modelo numérico com estágio construtivo e com a ISE e os obtidos por monitoramento de campo. Todos esses valores estão reportados em Silva Júnior (2021).

Figura 8 – Disposição das estacas no radier

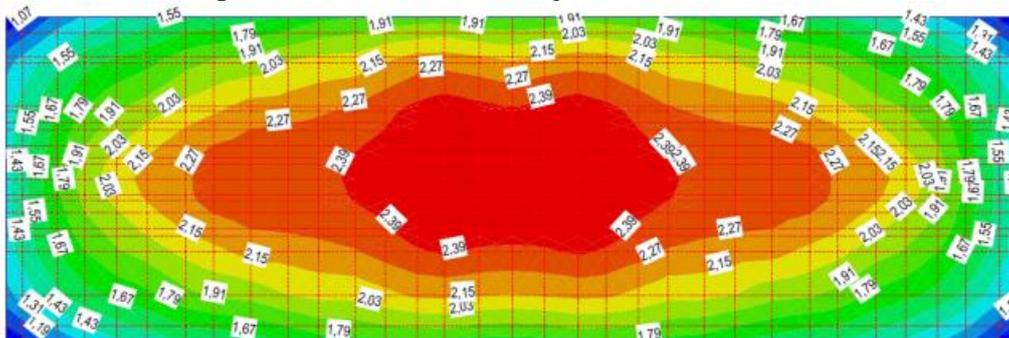


Fonte: Silva Júnior (2020)

Recalques absolutos estimados no anteprojeto

Os resultados obtidos nesse tópico foram obtidos sem a consideração da interação solo-estrutura e dizem respeito dos deslocamentos estimados em anteprojeto executivo. A Figura 9 apresenta a curvas de Isorecalques referente ao bloco 3.

Figura 9 – Curvas de Isorecalques (Blocos 3), em cm.



Fonte: Silva Júnior (2020)

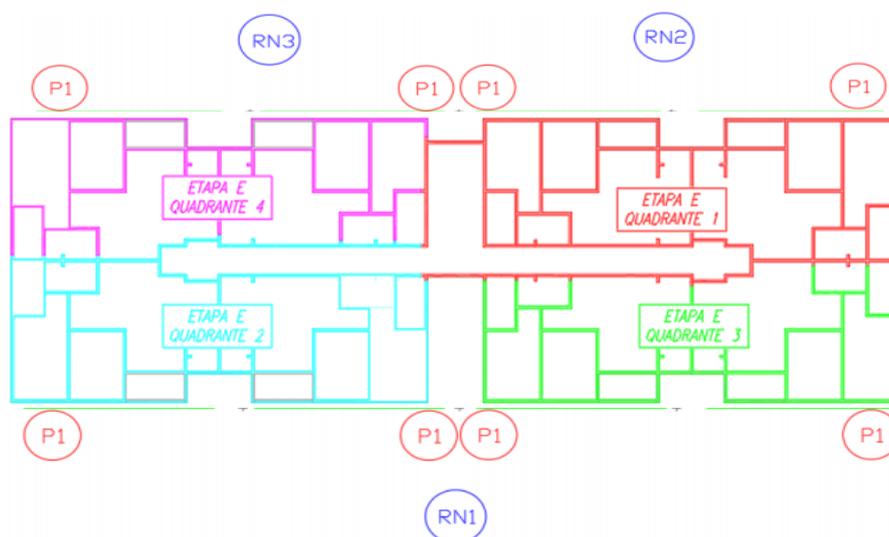
Recalques absolutos calculados pelo modelo numérico com estágio construtivo

O processo construtivo se deu por estágios, sendo o método construtivo executado em quatro estágios por pavimento (Figura 10). As concretagens seguiram em estágios diagonais na ordem: primeiro, segundo e terceiro quadrantes. O processo de concretagens sequenciais foi de extrema importância para o comportamento da estrutura de fundação no caso monitorado.

Monitoramento dos recalques

Segundo Silva Júnior (2021), o monitoramento dos recalques do bloco 3 ocorreu diariamente, a cada concretagem executada, com instrumentação de nível ótico em 8 pinos de referência fixados na base do radier (Pi) e 3 pinos de referência indeslocáveis (RNi), fixados juntos ao radier e sua mudança de nível se deu através do deslocamento da estrutura de fundação. As referências indeslocáveis foram fixadas em perfis de estacas cravadas ao solo, essa estrutura não podendo ter influência de ações externas que venham a perturbar a sua cota de referência isolada da dinâmica da obra. A distribuição dos pinos em que o recalque foi medido e os pontos indeslocáveis estão apresentados na Figura 10.

Figura 4 – Sequência construtiva, locação de quadrantes e distribuição dos pinos monitorados.



Fonte: Silva Júnior (2021)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Recalques absolutos

Os valores dos recalques absolutos estimados no anteprojeto (sem ISE), os calculados pelo modelo numérico com estágio construtivo, e os obtidos por monitoramento de campo foram estão dispostos na Tabela 1.

No recalque calculado a partir do modelo numérico com estágio construtivo, considerou-se os efeitos da ISE. Conforme demonstrado na Figura 11, os maiores valores desses recalques concentraram-se no centro (19,1 mm), enquanto os menores estão nas laterais da estrutura (11,9 mm).

Tabela 1 – Valores dos recalques absolutos (ρ)

Pinos	Recalques absolutos (mm)		
	Estimado em anteprojeto (sem ISE)	Modelo numérico com estágio construtivo	Monitoramento de campo
P1	-11,9	-4,18	0,0
P2	-17,9	-3,80	-2,0
P3	-17,9	-4,38	-2,0
P4	-11,9	-4,22	-2,0
P5	-10,7	-3,97	3,0
P6	-19,1	-4,06	3,0
P7	-19,1	-4,33	-5,0
P8	-13,1	-3,96	-7,0

Fonte: Os Autores (2021).

No recalque calculado a partir do modelo numérico com estágio construtivo, considerou-se os efeitos da interação solo-estrutura (Figura 12). Dessa maneira, o recalque tende a se uniformizar, havendo uma transferência de cargas dos lugares mais solicitados para os menos carregados. Houve um recalque maior em lugares que antes não estava previsto no recalque estimado no anteprojeto. No recalque monitorado, é possível notar uma elevação na lateral do radier, em torno de 3,0 mm nos Pinos P5 e P6 (Figura 13). Isso se deve ao processo construtivo do radier.

Figura 5– Recalque estimado no anteprojeto

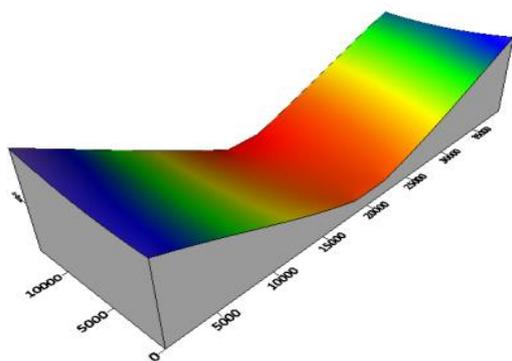


Figura 12 – Recalque modelo numérico

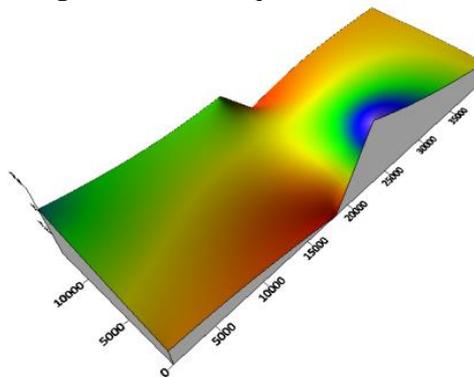
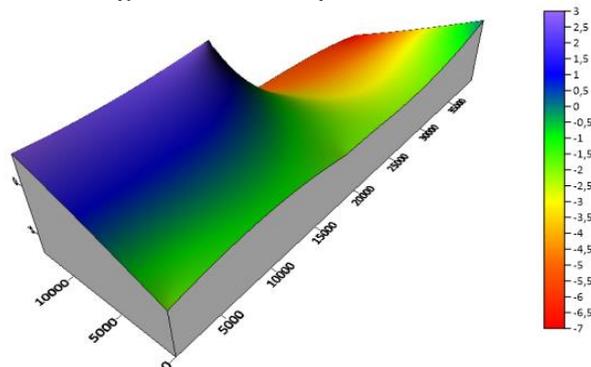


Figura 13 – Recalque monitorado



Fonte: Os Autores (2021).

Quando se compara o recalque monitorado em campo com o recalque do modelo numérico percebe-se um comportamento semelhança entre esses modelos, além de não apresentaram diferenças significativas.

Recalque diferencial

O recalque diferencial foi calculado para todos os recalques absolutos estimados no anteprojeto, os calculados pelo modelo numérico com estágio construtivo e o monitorado. Utilizando os dados das últimas verificações feitas para cada pino foi calculada a diferença entre os pinos de medição mais próximos, e obtidos os recalques diferenciais (Tabela 2). Na Figura 14 estão apresentados os recalques diferenciais máximos em cada pino.

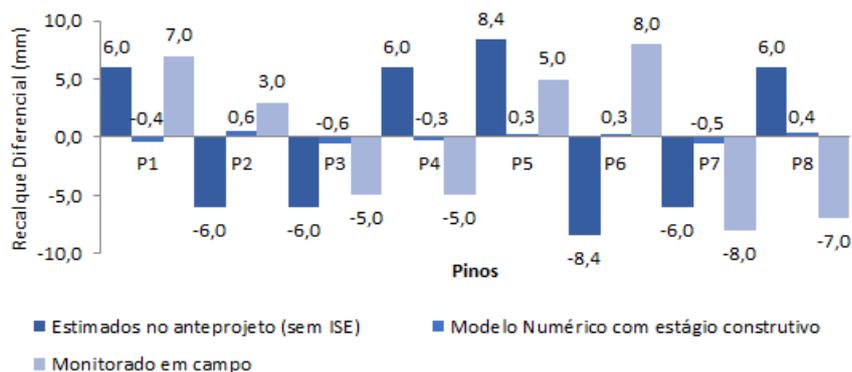
Tabela 1 – Valores do recalque diferencial e da distorção angular: (a) Estimado em anteprojeto (sem ISE; b) Modelo numérico com estágio construtivo; (c) Monitoramento de campo

Pinos	Distância entre pinos (m)	Recalques diferenciais, δ (mm)			Distorção angular, β (rad)		
		(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
P1 P2	17,5	-0,38*	2,0	6,0	$3,43 \times 10^{-4}$	$-2,17 \times 10^{-5}$ *	$1,14 \times 10^{-4}$
P1 P8	13,3	-0,22*	7,0	1,2	$9,02 \times 10^{-5}$	$-1,64 \times 10^{-5}$ *	$5,26 \times 10^{-4}$
P2 P3	3,5	0,59	0,0	0,0	0,00	$1,68 \times 10^{-4}$	0,00
P2 P7	13,3	0,53	3,0	1,2	$9,02 \times 10^{-5}$	$3,98 \times 10^{-5}$	$2,26 \times 10^{-4}$
P3 P4	17,5	-0,16*	0,0	-6,0*	$-3,43 \times 10^{-4}$ *	$-9,14 \times 10^{-6}$ *	0,00
P3 P6	13,3	-0,33*	-5,0*	1,2	$9,02 \times 10^{-5}$	$-2,46 \times 10^{-5}$ *	$-3,76 \times 10^{-4}$ *
P4 P5	13,3	-0,25*	-5,0*	-1,2*	$-9,02 \times 10^{-5}$ *	$-1,92 \times 10^{-5}$ *	$-3,76 \times 10^{-4}$ *
P5 P6	17,5	0,09	0,0	8,4	$4,80 \times 10^{-4}$	$5,03 \times 10^{-6}$	0,00
P6 P7	3,5	0,27	8,0	0,0	0,00	$7,69 \times 10^{-5}$	$2,29 \times 10^{-3}$
P7 P8	17,5	-0,37*	2,0	-6,0	$-3,43 \times 10^{-4}$ *	$-2,10 \times 10^{-5}$ *	$1,14 \times 10^{-4}$

* Os valores negativos indicam a ocorrência de recalques inferiores àquele medido no pino de referência.

Fonte: Os Autores (2021).

Figura 6 – Recalque diferencial em cada pino.



Fonte: Os Autores (2021).

O recalque diferencial máximo estimado em anteprojeto foi 0,59 mm nos pinos P2 – P3, 8,0 mm nos pinos P6 – P7 para o modelo numérico e 8,4 mm nos pinos P5 – P6 para recalques monitorados em campo (Tabela 3). Esses valores não ultrapassaram o limite de 25 mm recomendado por Velloso e Lopes (2010) para fundação radier em areia, sendo, portanto, considerados admissíveis.

Tabela 2 – Valores do recalque diferencial máximo e Distorções angulares

Recalques absolutos	Recalque diferencial máximo ($\delta_{\text{máx}}$) mm	Distorções angulares (β) rad	Local
Estimados em anteprojeto	8,4	$4,80 \times 10^{-4}$	P5 – P6
Modelo numérico com estágio construtivo	0,59	$1,68 \times 10^{-4}$	P2 – P3
Monitorados em campo	8,0	$2,29 \times 10^{-3}$	P6 – P7

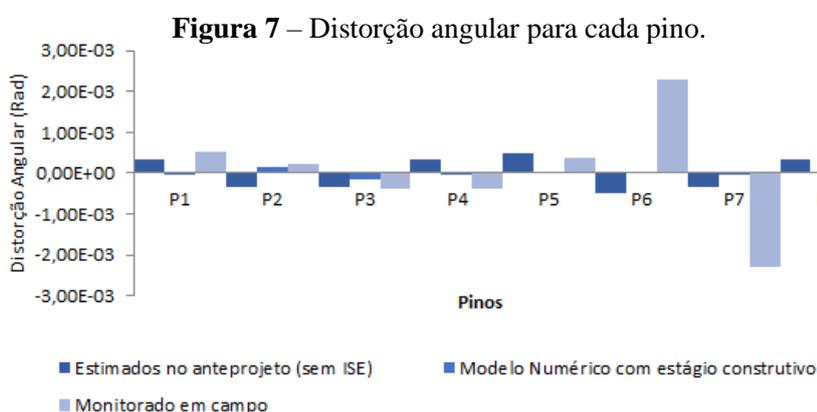
Fonte: O Autor (2021).

Distorção angular

A distorção angular foi calculada a partir dos recalques diferenciais divididos pela distância entre os pinos para todos os métodos de estimativa e monitorado (Tabela 2).

Na Tabela 3 estão apresentados os valores das distorções máximas ($\beta_{\text{máx}}$). A distorção angular para o modelo numérico e a estimativa do anteprojeto estão abaixo do 1/1000, o que segundo Veloso e Lopes (2010) é considerado irrelevante. Entre os pinos P6 - P7 para o recalque monitorado, a distorção angular está acima de 1/500 sendo o limite seguro para impedir danos em paredes, mas abaixo de 1/300 é o limite em que se espera a primeira fissura em paredes.

A distorção estimada no anteprojeto, as calculadas pelo modelo numérico com estágio construtivo e a monitoradas, apresentaram pequenas variações, abaixo de (1/1000), sendo apenas os pinos 6 e 7 a com distorções superiores (Figura 15).



Fonte: Os Autores (2021).

CONCLUSÕES

Na avaliação dos recalques absolutos no anteprojeto, os maiores valores desses recalques concentraram-se no centro (19,1 mm), enquanto os menores estão nas laterais da estrutura (11,9 mm). Nos recalques calculados a partir do modelo numérico com estágio construtivo, verifica-se a tendência de uniformização devido a transferência de cargas dos lugares mais solicitados para os menos carregados. No recalque monitorado foi possível notar uma elevação na lateral do radier, em torno de 3,0 mm nos Pinos P5 e P6. Isso se deve ao processo construtivo dos quadrantes que compõe o radier. O recalque obtido pelo modelo numérico se mostrou mais eficiente e fidedigno ao recalque monitorado, quando comparado com o recalque estimado pelo anteprojeto, quanto aos valores obtidos e sua distribuição na estrutura.

Os valores de recalque diferencial máximo, em nenhum caso estudado, ultrapassaram o limite de 25 mm recomendado por Velloso e Lopes (2010) para fundação radier em areia, sendo, portanto, considerados admissíveis por não haver diferença de recalque que pudesse gerar patologias típicas na edificação.

A distorção angular para o modelo numérico e a estimativa do anteprojeto estão abaixo do 1/1000, o que segundo Velloso e Lopes (2010) é considerado irrelevante. Já o entre os pilares P6 - P7 para o recalque monitorado, a distorção angular está acima de 1/500 que segundo Velloso e Lopes (2010) é o limite seguro para impedir danos em paredes, mas abaixo de 1/300 que é o limite a partir do qual espera-se uma primeira fissura em paredes. Os resultados obtidos das distorções angulares mostraram não que requeressem qualquer tipo de atenção especial ou gerasse alguma preocupação com relação à estabilidade do sistema para os modelos estimados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMASTÉCNICAS. **NBR 6122:2010: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMASTÉCNICAS. **NBR 6122:2019: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

ALVES, L. E. S. Análise de Diferentes Cenários de Apoio de uma Fundação em Radier Estaqueado. 2021. 26 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade de Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021.

- BEZERRA, J. E. **Estudo do Comportamento de Fundações em Radier Estaqueado: Conceitos e Aplicações**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- CUNHA, L. R.; OLIVEIRA, R. A. P. de A. L.; BAHIA, G. de A. D.; MOTA, N. M.B. **Controle de recalque durante a execução de edifícios no distrito federal**. COBRAMSEG, XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo horizonte, 9 a 13 set. 2014. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/9800/1/Controle%20de%20Recalque%20durante%20a%20Execu%20c3%a7%20c3%a3o%20de%20Edif%20c3%a7%20c3%a3o%20Distrito%20Federal.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021.
- FREITAS NETO, O. **Avaliação Experimental e Numérica de Radiers Estaqueados com Estacas Defeituosas em Solo Tropical do Brasil**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- GARCIA, J. R. **Análise experimental e numérica de radiers estaqueados executados em solo da região de Campinas/SP**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- GUSMÃO, A.D. **Aspectos relevantes da interação solo-estrutura em edificações**. Solos e rochas, São Paulo, 1994, N° 17, p. 47-55, abr. 1994.
- GUSMÃO, A.D. **Estudo da interação solo-estrutura e sua influência em recalques de edificações**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de Janeiro, 1990.
- I.S.E. - INSTITUTION OF STRUCTURAL ENGINEERS (1989). **Soil-structure interaction – The real behavior of structures**. London, 120p.
- LOPES, L. F. A.; OLIVEIRA, J. T. R. **Análise de recalques em fundações superficiais do tipo radier plano sobre solo silto-argiloso na região metropolitana de Recife – Brasil**. Revista de Engenharia Civil, 2020, N° 58, p. 48-56, mai. 2020. Disponível em: <https://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n58/Pag.48-56.pdf>. Acesso: 26 jul. 2021.
- MANDOLINI, Alessandro. Design of piled raft foundations: practice and development. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BORED AND AUGER PILES, 6., Ghent, Belgium. **Anais**. [...]. Ghent: Proceedings of Deep Foundations on Bored and Auger Piles–BAP IV: 2003, p. 59-82.
- OLIVEIRA, R. A. P. L. **Controle de recalque durante a execução de edifícios no distrito federal**. 2013. 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdade De Tecnologia E Ciências Sociais Aplicadas – FATECS, [S. l.], 2013.
- PATRICIO, J. D. **Avaliação de desempenho de radiers na Região Metropolitana do Recife**. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, [S. l.]. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/34260>. Acesso em: 1 jul. 2021.

- POULOS, Harry George. **Tall Building Foundation Design**. CRC Press, 2017. ISBN 978-1-1387-4803-3. Disponível em: <https://b-ok.lat/book/3318857/eaeaa4>. Acesso em: 8 jul. 2021.
- RINCON, E.R. (2016). **Análise experimental do comportamento de sistemas radier estaqueado em solos moles em processos de adensamento**. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-119/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 237 p.
- RODRIGUES, J. V. D.; Neto, J. D. A.; Pacheco, R. T. **Monitoramento De Recalque Em Fundações Estudo De Caso De Uma Fundação Em Tubulão**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/462>. Acesso: 23 jul. 2021.
- SAVARIS, G. **Monitoração de recalques de um edifício e avaliação da interação soloestrutura**. 2008. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenhariacivil/wpcontent/uploads/sites/3/2015/09/GU-STAVO-SAVARIS.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.
- SILVA, J. P. da. **Previsão de Comportamento de Fundação em Radier Estaqueado Utilizando o Método dos Elementos Finitos e Análise de Prova de Carga: Estudo de Caso**. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2020.
- SILVA JÚNIOR, R. P. da. **Avaliação da Interação Solo-Estrutura com Monitoramento de Recalques e Análise da Influência da Sequência Construtiva no Desempenho de Radiers Estaqueados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021.
- SOARES, Wilson Cartaxo. **Radier estaqueado com Estacas hollow auger em solo arenoso**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- SOUZA, F. A. Utilização de Radier Estaqueado em Obras Especiais e Edifícios Altos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 7., 2014, Rio de Janeiro. **Anais**. [...]. p. 1-10. Disponível em: http://www.abpe.org.br/trabalhos/trab_63.pdf. Acesso em: 8 jul. 2021.
- VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: Critérios de Projeto - Investigação do Subsolo - Fundações Superficiais**. 2. ed. rev. [S. l.]: Oficina de textos, 2011. 240 p. v. 1. ISBN 978-85-7975-014-4.

Recebido em: 05/03/2022

Aprovado em: 03/04/2022

Publicado em: 07/03/2022