

Análise da Interação Solo-Estrutura entre Dois Tipos de Fundações Profundas em um Edifício Residencial

Maria Alice Guerra Bedin¹, Valmir Stani Fell Junior², Rebeca Jéssica Schmitz³

¹Univates / maria.bedin@universo.univates.br

²Univates / Área de Ciências Exatas e Engenharia / valmir@plenaengenharia.eng.br

³Univates / Área de Ciências Exatas e Engenharia / rebeca.j.schmitz@gmail.com

Resumo

Na elaboração do projeto de uma estrutura e fundações da mesma, a consideração da interação solo-estrutura permite o cálculo dos deslocamentos sofridos pela estrutura, como recalques diferenciais e deslocamentos horizontais, com maior precisão. Desta forma, pode-se prever os possíveis esforços secundários, o que leva a ajustes no dimensionamento final das fundações de forma mais otimizada. Assim, o objetivo principal desse trabalho é confrontar a aplicação de estaca escavada e hélice contínua com apoios indesejáveis e com interação solo-estrutura, pela análise da redistribuição de esforços nas fundações, pela estabilidade global mediante os parâmetros Gama Z e os deslocamentos horizontais, pela verificação dos recalques e coeficientes de mola. O lançamento e processamento dos modelos foram realizados no *software* CAD/TQS, considerando uma edificação residencial de 12 pavimentos. Para o cálculo da capacidade de carga das estacas aplicou-se os métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma. Os principais resultados indicam uma redistribuição de esforços de momento fletor de 47,43% entre os modelos dimensionados com estaca escavada e de 47,42% entre os modelos com hélice contínua, evidenciando o comportamento do solo que se enquadra como semirrígido. O deslocamento horizontal absoluto aumentou com a interação solo-estrutura, chegando no percentual de 106,66% de acréscimo para o caso de estaca escavada e 120,00% para hélice contínua, ambos na direção do vento de 90°/270°. O recalque global analisado nas estruturas com interação solo-estrutura foi maior no modelo com estaca hélice contínua, com valor médio entre blocos de 0,584 cm. Os resultados indicam a importância da análise da interação solo-estrutura, por tornar mais real o comportamento da estrutura perante aos efeitos da relação com o solo.

Palavras-chave

Fundações; Estaca escavada; Hélice contínua; Interação solo-estrutura.

Introdução

A área de fundações vem evoluindo constantemente, aliada ao uso eminente de *softwares* para atender às demandas exigentes de projetos. Segundo Velloso e Lopes (2012), o solo é o ponto em comum entre passado e presente, pois seu comportamento era e ainda é observado quando se fala de fundações. Nesse sentido, o mecanismo que une solo, infraestrutura e superestrutura se revela indispensável na análise prévia durante o projeto. Meyerhof, já nos anos 1950, apontou para o desempenho da estrutura perante a interação do solo, discutindo a respeito da previsão de recalques considerando a rigidez da estrutura, a fundação e o solo (MEYERHOF, 1953).

No passado, a consideração da interação solo-estrutura em um projeto demandava muito tempo de cálculo, enquanto hoje, apesar de o solo ser um material heterogêneo, o que leva a um certo grau de dificuldade de prever o seu comportamento, a acessibilidade e precisão dos programas computacionais possibilitam a modelagem da estrutura através de hipóteses eficazes que representam o solo como um meio elástico, possibilitando assim, a concepção de um projeto mais



coerente, de melhor qualidade e que possa garantir maior estabilidade e durabilidade ao edifício (MENDES, 2015).

Logo, o objetivo principal do estudo é comparar os efeitos do uso de fundações do tipo estaca escavada e hélice contínua, considerando dois tipos de análise, com apoios indesejáveis e com interação solo-estrutura, em um edifício residencial.

Procedimentos Metodológicos

Para a construção de dados e comparação entre modelos, os procedimentos metodológicos da pesquisa foram organizados em etapas conforme o diagrama exposto na Figura 1.

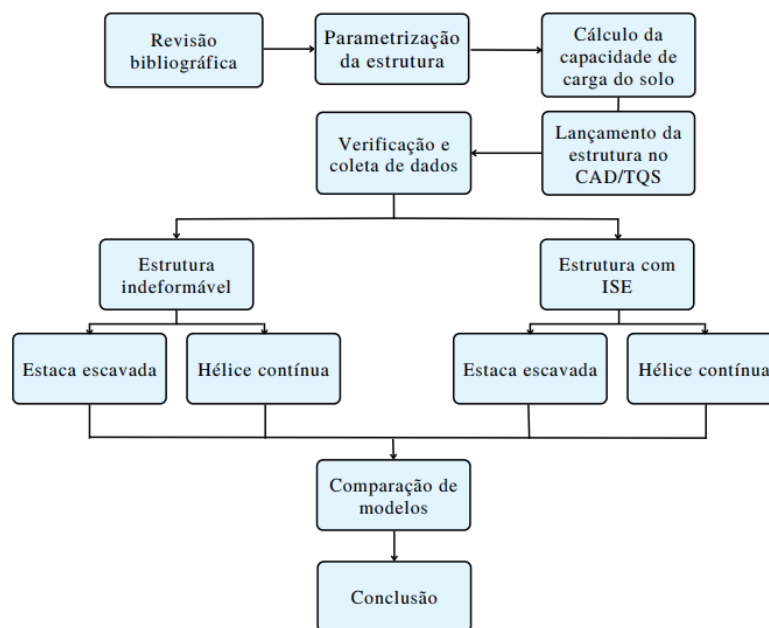


Figura 1 – Diagrama dos procedimentos metodológicos.

O desenvolvimento do estudo ocorreu por meio da análise e comparação de quatro modelos, os quais relacionaram o tipo de fundação com a avaliação da interação do solo na estrutura ou com apoio indesejável. Os modelos desenvolvidos no *software* foram denominados:

- EE-IND (estrutura com apoio indesejável, vinculação rígida entre pilar e fundação, considerando estaca escavada);
- HC-IND (estrutura com apoio indesejável, vinculação rígida entre pilar e fundação, considerando estaca hélice contínua);
- EE-ISE (estrutura com interação do solo, vinculação elástica entre pilar e fundação, considerando estaca escavada);
- HC-ISE (estrutura com interação do solo, vinculação elástica entre pilar e fundação, considerando estaca hélice contínua).

A estrutura consistiu em uma edificação residencial, baseada em um projeto real com adaptações para o estudo, de 11 pavimentos tipos e 1 pavimento de cobertura, com altura de 3,20 m por pavimento, totalizando 38,4 m de altura do edifício, sobre uma planta baixa retangular de 19,40 m de comprimento e 9,55 m de largura. A estrutura fundamentou-se em um sistema de pórticos rígidos, com laje maciça, vigas e pilares em concreto armado. Os elementos foram pré-dimensionados e verificados pelo processamento de pórtico espacial de vigas e pilares associado a grelha, que corresponde ao Modelo IV disponível no *software* CAD/TQS. Para todos os elementos estruturais, incluindo estacas e blocos de coroamento, a resistência à compressão do



concreto (f_{ck}) definida foi de 35 MPa. Na Figura 2 está representada a planta de fôrmas do pavimento tipo da edificação.

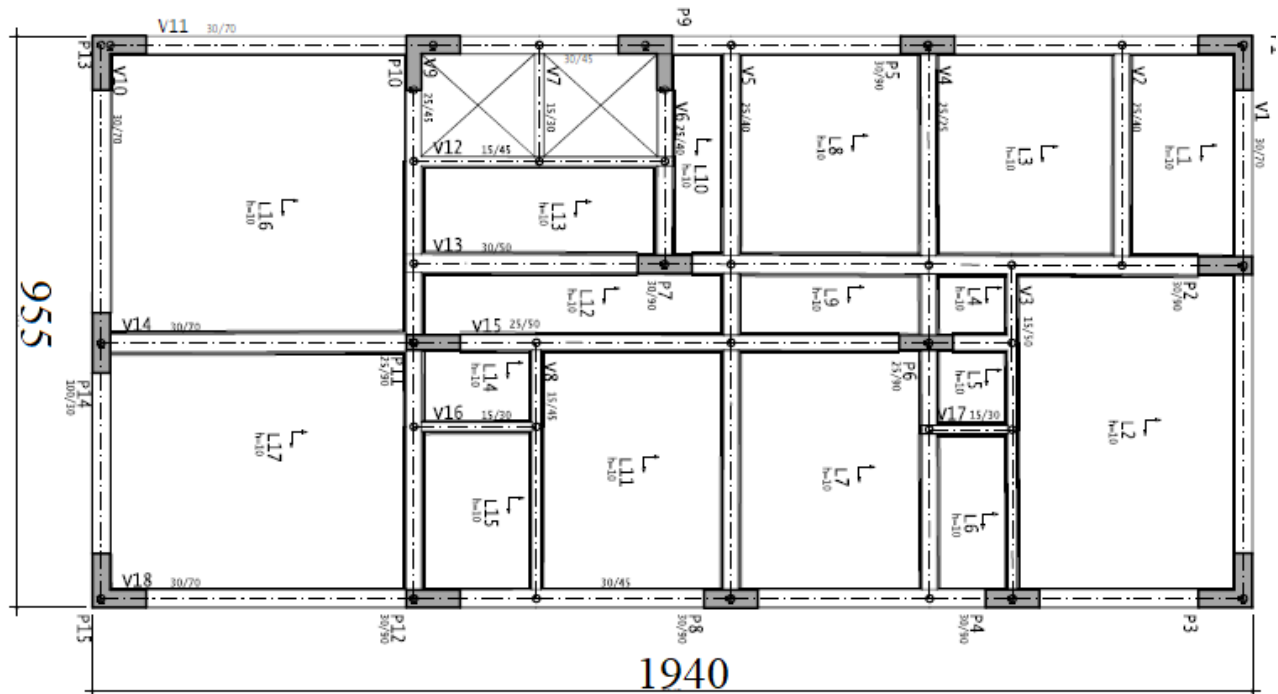


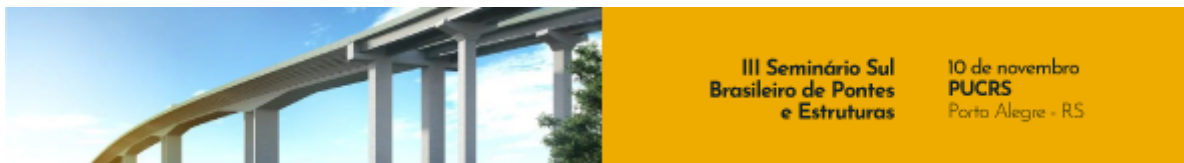
Figura 2 – Planta de fôrmas do pavimento tipo.

Tendo em vista a análise da interação solo-estrutura, definiu-se o perfil do solo para receber os carregamentos, o qual não apontou nível de água até o impenetrável, fator determinante para a execução das estacas escavadas. A sondagem de estudo, não vinculada à edificação real, mostrou um solo com certa predominância argilosa, sendo evidente esse material como o principal componente da camada em questão ou como elemento secundário. O solo sofre variação, sendo que nas camadas superficiais tem-se silte argiloso, nas camadas intermediárias tem-se argila siltoarenosa e argila arenosa e, nas camadas mais profundas, areia argilosa e areia com pedriscos muito compacta. Já, no que se refere aos índices de resistência do solo, verificou-se que o valor do N_{SPT} nas primeiras camadas é de 3,5 golpes, enquanto que nas camadas finais, o maior número de golpes é de 39,5. O impenetrável, em 15 m, foi determinado como a cota de assentamento das estacas.

Após a modelagem da estrutura na versão 23 Plena do *software* CAD/TQS e verificação dos esforços e deslocamento quanto ao Estado Limite de Serviço (ELS), foram fornecidas de forma automática pelo sistema, as reações verticais características geradas pelas cargas transmitidas para cada pilar vinculado à fundação. Das combinações feitas pelo programa, considerando ações permanentes, variáveis e o vento, usou-se como referência o caso mais desfavorável à estrutura, ou seja, aquele que apresentou os maiores valores.

Os resultados das reações verticais, juntamente com o laudo de sondagem, foram a base para o dimensionamento das estacas quanto a sua capacidade geotécnica, calculada conforme os métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, em que cada elemento de fundação do tipo estaca escavada e hélice contínua, teve o seu dimensionamento final perante a média direta das resistências obtidas em cada um dos métodos usados no cálculo.

A fim de garantir a segurança no projeto de fundações, a resistência lateral do solo foi assumida como 100%, e a resistência de ponta como 50%, tendo em vista o cenário imprevisível na



concretagem dessa região, podendo ocorrer contaminação de concreto na ponta da estaca ou haver bulbos vazios.

Para cada tipo de estaca, verificou-se a capacidade geotécnica de diâmetros que variaram entre 40 cm e 100 cm, a fim de criar diferentes soluções que pudessem ser comparadas, o que favoreceu o processo de análise e escolha dos diâmetros ideais para o cenário do estudo. Desse modo, procurou-se simplificar e otimizar a quantidade de diâmetros em 40 cm, 50 cm e 60 cm para estacas escavadas, enquanto que para estacas hélice contínua, definiu-se como 40 cm, 50 cm e 80 cm.

Com os elementos estruturais dimensionados e o modelo estrutural definido, estacas dimensionadas, critérios e parâmetros pontuados no programa, lançou-se os elementos de fundação nos quatro modelos de análise. O lançamento das estacas e blocos no *software* aconteceu por meio do Modelador Estrutural das fundações no TQS Formas, para o caso dos modelos com apoios indeslocáveis. Já para os modelos com interação solo-estrutura, fez-se necessário integrar o laudo SPT na ferramenta SISEs e importar os lançamentos e processamentos das estruturas de cada tipo de estaca. Na Tabela 1 é apresentada a quantidade de estacas e seus respectivos diâmetros por bloco, no modelo de estaca escavada e no modelo de hélice contínua.

Tabela 1 - Número de estacas por bloco nos modelos de apoios indeslocáveis.

Bloco de coroamento	Estaca escavada	Diâmetro (cm)	Hélice contínua	Diâmetro (cm)
B1	4	50	4	50
B2	4	50	4	40
B3	4	60	4	50
B4	4	40	1	80
B5	4	40	1	80
B6	4	60	4	50
B7	4	50	4	50
B8	4	40	1	80
B9	4	60	4	50
B10	4	50	4	50
B11	4	60	4	50
B12	4	40	1	80
B13	4	50	4	50
B14	4	40	4	40
B15	4	50	4	50
Total	60		48	



Quanto aos blocos de coroamento, o *software* CAD/TQS realizou o dimensionamento e detalhamento considerando as cargas provenientes da estrutura. Previamente, com base nas indicações na NBR 6122 (2019) e também por questões construtivas, adotou-se a distância entre eixos como 3 vezes o diâmetro da estaca, já a distância entre o eixo da estaca e a face lateral do bloco, definiu-se como 65 cm para todas as estacas. Para a altura dos blocos, o *software* também seguiu os critérios de norma, sendo necessário realizar ajustes na dimensão conforme a concentração da carga do pilar no bloco e também pela verificação da biela de compressão.

Resultados e discussão

Os resultados coletados pelas ferramentas do *software* CAD/TQ foram utilizados de modo a comparar diferentes cenários, variando o tipo de fundação e o tipo de vinculação entre fundação e superestrutura.

Inicialmente, comparou-se as reações de apoio geradas pelas cargas transmitidas para cada pilar vinculado à fundação, para avaliar a redistribuição das cargas e determinar a influência do solo na estrutura. O programa forneceu as plantas de cargas para os quatro modelos, sendo extraídas delas os valores das reações que estão apresentados na Tabela 2. Além disso, mensurou-se as diferenças em percentual avaliando a redistribuição dos esforços quando foi inserida a interação solo-estrutura no modelo.

Tabela 2 – Reações de apoio de cada modelo e percentual de redistribuição.

Pilar	EE-IND (tf)	EE-ISE (tf)	%	HC-IND (tf)	HC-ISE (tf)	%
1	250,95	256,73	2,30	250,95	274,10	9,22
2	251,24	237,15	-5,61	251,24	216,85	-13,69
3	194,78	241,08	23,77	194,78	243,89	25,21
4	186,23	195,73	5,10	186,23	196,10	5,30
5	214,27	201,88	-5,78	214,27	184,92	-13,70
6	410,86	325,69	-20,73	410,86	377,62	-8,09
7	323,84	275,59	-14,90	323,84	301,27	-6,97
8	217,34	214,18	-1,45	217,34	200,27	7,85
9	225,63	253,35	12,29	225,63	239,31	6,06
10	241,37	257,98	6,88	241,37	255,27	5,76
11	365,00	320,46	-12,20	365,00	344,89	-5,51
12	226,02	223,22	-1,24	226,02	205,15	-9,23
13	252,90	270,84	7,09	252,90	273,14	8,00
14	202,75	187,08	-7,73	202,75	188,37	-7,09
15	271,10	295,28	8,92	271,10	303,08	11,80



Na visão geral dos modelos, a amplitude das reações variou entre os valores de 184,92 tf e 410,86 tf. Quanto ao comportamento dos modelos, é possível identificar que os mesmos pilares que sofrem alívio para o modelo de estaca escavada, também são aliviados para o modelo de hélice contínua, comportamento que ocorre da mesma forma com a sobrecarga. Ainda, cabe pontuar que sete pilares apresentaram sobrecarga, ou seja, 46,67% têm suas reações aumentadas quando adiciona-se a interação solo-estrutura, os demais pilares, 53,33%, têm suas reações aliviadas.

Os modelos EE-IND e HC-IND não levaram em conta a vinculação das estacas com o solo que as envolve, por isso, apresentaram o mesmo comportamento, apesar de serem modelos de fundações diferentes.

Analisando isoladamente os pilares, comparou-se o mesmo tipo de fundação mas variou-se a vinculação. Nesse sentido, a maior variação positiva, ou seja, onde houve maior alívio, quando introduzida a interação do solo, foi no pilar 6 para estaca escavada, diminuindo 85,17 tf em relação à reação de apoio do modelo indeslocável, o que corresponde a 20,73%. Para hélice contínua, a maior variação foi de 34,39 tf no pilar 2, valor referente a 13,69% de alívio do carregamento do modelo com apoio indeslocável. Da mesma forma, a maior variação negativa, isto é, onde ocorreu a maior sobrecarga com a interação solo-estrutura, para os dois tipos de fundação, foi no pilar 3, em que sobrecarregou 46,30 tf, equivalente a 23,77% a mais do que o modelo com apoio indeslocável para estaca escavada, e sobrecarregou 49,11 tf, condizente a 25,21% a mais do modelo indeslocável da hélice contínua.

De modo a facilitar a visualização dessa redistribuição de esforços, na Figura 3 abaixo estão apresentadas as plantas de cargas em escala de cor, sendo possível visualizar os pilares que sofreram alívios e sobrecargas leves, médios e altos, para o modelo de estaca escavada e hélice contínua. Com base na análise em planta do posicionamento desses pilares, pode-se observar que alguns dos pilares de periferia que tem menor área de influência, sofrerem as maiores sobrecargas com a interação, enquanto que alguns pilares centrais e intermediários com maior área de influência sofreram os maiores alívios. Esse comportamento evidencia que a estrutura como um todo tende a aliviar as cargas em fundações que estão ligadas a pilares com maiores áreas de influência, carregando assim os elementos de fundação com pilares de menor área de influência.

A partir dos processamentos feitos pela ferramenta Pórtico TQS, analisou-se como o momento fletor se redistribuiu na estrutura com a ativação da interação solo-estrutura. Para tanto, foram escolhidos os pilares P1, P3, P13 e P15, todos pilares de extremidades do edifício, dimensionados em L, avaliados na situação mais crítica perante as quatro direções de incidência do vento no ELU. Os maiores valores do esforço avaliado, se distribuem na direção de incidência do vento de 0°/180° para os quatro pilares.

Na Tabela 3 são expostos os valores dos momentos fletores que não são transmitidos para as fundações, no caso dos modelos com apoios indeslocáveis, ficando na superestrutura, e os valores dos momentos transmitidos para as fundações nos dois modelos com interação solo-estrutura, para cada pilar de fundação da análise, na direção de incidência do vento de 0°/180°.

Tabela 3 – Redistribuição dos momentos fletores.

Pilar	EE-IND (tfm)	EE-ISE (tfm)	%	HC-IND (tfm)	HC-ISE (tfm)	%
1	71,43	30,38	42,53	71,43	34,45	48,23
3	-72,08	-38,99	54,09	-72,08	-32,79	45,49
13	40,83	17,56	43,01	40,83	18,05	44,21
15	-40,64	-20,35	50,07	-40,64	-21,03	51,75



Para ambos os modelos, e nos quatro pilares, cerca da metade dos esforços de momento fletor tendem a se distribuir para as fundações, ou seja, a infraestrutura interage com a superestrutura, aliviando os elementos que estão acima do solo, transferindo esses esforços para o solo, uma vez que nessa situação, considera-se a sua capacidade de suporte, o que indica um comportamento semirrígido do material, pois não se enquadra nem como rótula, nem como engaste. Nesse sentido, comparando o modelo de estacas escavadas, em média, 47,43% dos esforços foram transferidos para o solo no caso com a interação; para o modelo com hélice contínua, o percentual médio de transferência foi de 47,42%, logo, o tipo de estaca não interfere na condição de vinculação do solo. Para verificar a segurança do edifício, comparou-se o parâmetro denominado coeficiente Gama Z no Estado Limite Último (ELU), o qual avalia a estabilidade global pela estimativa dos efeitos de segunda ordem. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), o seu valor de referência para que a estrutura seja considerada deslocável (nós móveis) é de 1,1, valores inferiores ou iguais classificam como de nós fixos. No que se refere aos deslocamentos laterais da estrutura, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) o valor limite para o deslocamento horizontal absoluto é dado pela relação $H/1700$. Nesse sentido, sabendo que a edificação de estudo possui 38,4 m de altura, o valor limite para esse parâmetro é de 2,26 cm.

A Tabela 4 apresenta os valores dos coeficientes Gama Z e também os deslocamentos horizontais absolutos no topo do edifício. Ambos casos de análise com apoios indeslocáveis levaram aos mesmos valores de Gama Z e deslocamentos, como era esperado. A inclusão da interação solo-estrutura gerou um aumento nesses parâmetros, devido a redução da rigidez das vinculações. Entretanto, apenas o modelo com hélice contínua, na direção $0^\circ/180^\circ$, impactou na alteração da classificação da estrutura, classificando-se como de nós móveis.

Tabela 4 – Parâmetros Gama Z e deslocamento horizontal absoluto.

Modelo	$0^\circ/180^\circ$		$90^\circ/270^\circ$	
	GamaZ	Deslocamento (cm)	GamaZ	Deslocamento (cm)
EE-IND/HC-IND	1,06	1,18	1,02	0,15
EE-ISE	1,10	1,86	1,05	0,31
HC-ISE	1,11	2,07	1,05	0,33

A grande variação de valor observada para todos os modelos entre as direções $0^\circ/180^\circ$ e $90^\circ/270^\circ$ se deve à geometria da edificação e à posição dos pilares. O vento na direção de 0° e 180° incide nas fachadas de 19,40 m e o vento na direção de 90° e 270° incide nas fachadas de 9,55 m. Na direção da fachada menor é onde o momento de inércia dos pilares é maior, justamente, em função dos seus posicionamentos, e, por isso, o deslocamento horizontal absoluto da estrutura foi menor.

Nesse sentido, quando comparado com o mesmo tipo de estaca mas alterando o apoio, pode-se observar que houve o acréscimo significativo nos valores de deslocamento horizontal absoluto, o que comprova a deformabilidade do solo. Entretanto, todos os modelos indicaram edificações estáveis.

Com o propósito de comparar os dois tipos de fundações de estudo, estaca escavada e hélice contínua, avaliou-se os recalques sofridos nas bases de seus elementos de fundação das modelagens somente com interação solo-estrutura. O *software* CAD/TQS é embasado na Teoria da Elasticidade, considerando o efeito de grupo. Para tanto, o recalque total na base de cada elemento de fundação



se dá pela soma do recalque total do fuste, com o recalque de ponta e com o deslocamento axial também na ponta.

Com base nisso, foram coletados os valores do recalque total na base para cada estaca componente de cada bloco, sendo possível observar que houve variação entre os recalques das estacas componentes de um mesmo bloco. Isso se justifica pela distribuição de esforços que acontece dentro desse elemento, ou seja, o comportamento do bloco à flexão, em que há área comprimida e área tracionada.

A fim de comparar o recalque global entre modelos, adotou-se o valor do recalque como a média entre os recalques individuais das estacas componentes. Para o modelo de estaca escavada, o recalque global médio foi de 0,525 cm, enquanto que para o modelo de hélice contínua foi de 0,584 cm. A pequena diferença no resultado entre os dois tipos de estacas se justifica pela quantidade inferior de estacas necessárias no dimensionamento da hélice contínua, bem como o maior diâmetro adotado para algumas estacas individuais.

Com a ferramenta SISEs foi possível examinar ainda a deformação do solo representada por molas, ou seja, os coeficientes de mola, chamados pelo *software* de coeficiente de reação vertical (CRV) e coeficiente de reação horizontal (CRH).

Para uma análise geral de cada modelo, os resultados do coeficiente de reação vertical e horizontal foram considerados somente na cota de assentamento das estacas, para todos os elementos componentes dos blocos de cada modelo. De modo geral, pode-se observar que o CRV variou entre estacas de um mesmo bloco, comportamento esperado, tendo em vista que isso também ocorreu no recalque. Somado a isso, salienta-se que conforme o aumento do diâmetro das estacas, o coeficiente de mola vertical aumentou também.

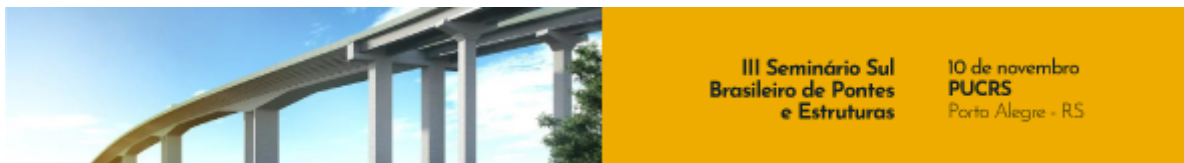
Com base no conceito desse coeficiente, conforme maior o recalque, menor o valor de CRV, o que justifica os resultados inferiores obtidos para o modelo com hélice contínua, uma vez que o mesmo apresentou, numa análise global, maior recalque, o que evidencia a menor rigidez do maciço na interação solo-estrutura desse modelo. Nesse mesmo sentido, os valores de CRV para o modelo com estaca escavada resultaram maiores em virtude da maior rigidez do maciço de solo, o que, conseqüentemente, gerou menores recalques.

Já na análise dos valores de CRH, esses são únicos para cada bloco em cada modelo, tendo em vista que não houve variação de resultados entre estacas componentes de um mesmo bloco, visto que as reações do solo no sentido contrário na profundidade em questão e os deslocamentos horizontais são os mesmos. Perante o comportamento apresentado dos coeficientes de mola horizontal, pode-se observar que o tipo de fundação não interferiu nos resultados, uma vez que o solo em questão é o mesmo. Desse modo, a variação ocorreu com a mudança nos diâmetros das estacas, aumentando o CRH conforme o aumento da área do fuste. Assim, atentando que o modelo HC-ISE possui estacas com diâmetros de 80 cm, essas foram as que apresentaram os maiores valores de CRH, todavia, a comparação entre blocos isoladamente para esses parâmetros não foi concentrada nessa pesquisa, e sim, somente a verificação global do comportamento da infraestrutura.

Conclusões

O objetivo principal confronta a aplicação de estacas escavadas e hélice contínua com apoios indesejáveis e com interação solo-estrutura, comparando a redistribuição de esforços, a estabilidade global, deslocamentos, recalques, coeficientes de mola vertical e horizontal. A estrutura analisada foi lançada no *software* CAD/TQS, para o dimensionamento das fundações usou-se uma planilha eletrônica Excel e para a verificação da interação solo-estrutura aplicou-se um laudo SPT integrado ao SISEs.

Na análise das reações de apoio, evidenciou-se a redistribuição de esforços entre pilares, comportamento que demonstrou maior alívio das cargas em fundações ligadas a pilares com maiores áreas de influência, carregando, assim, os elementos de fundação com pilares de menor



área de influência. Já na avaliação da redistribuição dos momentos fletores, classificou-se o comportamento do solo como semirrígido, pois em média, 47,42% desses esforços foram transferidos para o solo para ambos os modelos, não havendo interferência do tipo de estaca na condição de vinculação do solo.

Com as verificações do Gama Z e do deslocamento horizontal absoluto, observou-se que os resultados de cada parâmetro avaliado para os dois modelos com apoios indesejáveis, foram iguais. Quando incluída a interação solo-estrutura, os valores aumentaram em virtude da redução da rigidez das vinculações. Apenas o modelo com hélice contínua na direção 0°/180° foi classificado como de nós móveis e todos os modelos indicaram edificações estáveis.

Na avaliação dos modelos com interação solo-estrutura quanto ao recalque médio sofrido entre blocos de cada modelo, o caso com hélice contínua apresentou um recalque global maior, valor médio de 0,584 cm, justificado pelo dimensionamento das fundações que necessitou de menor quantidade de estacas, bem como o maior diâmetro adotado para quatro estacas individuais.

Quanto à análise qualitativa da deformação do solo pelos resultados dos coeficientes de mola, constatou-se que para os dois modelos, conforme o aumento do diâmetro das estacas, o CRV também aumentou. Ainda, observou-se a relação entre o recalque sofrido pelas modelagens com os valores de CRV, em que quanto maior o recalque, menor o CRV, comportamento apresentado na estrutura dimensionada com hélice contínua. Já para o coeficiente de mola horizontal, os resultados variaram somente entre diâmetros de estacas, não interferindo o tipo de fundação.

Agradecimentos

Os autores agradecem a TQS Informática por ter cedido uma licença plena do *software* CAD/TQS durante o desenvolvimento do presente trabalho.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- MENDES, Robson dos Santos. Interação solo-estrutura e sua influência na análise estrutural de edifícios em concreto armado. Especialize On-line IPOG. Goiânia, ed. 10, v. 01, p. 01-10. 2015.
- MEYERHOF, GEORGE GEOFFREY. Some recent foundation research and its application to design. Structural Engineering. Londres, v. 31, p. 151-167. 1953.
- VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. Fundações. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 568 p.