

Comportamento de Estacas Tipo Hélice Contínua Monitorada em Solos Compressíveis

George Drozczak
Engenheiro Civil, Blumenau, Brasil, georgedrozczak@gmail.com

Luiz Henrique Olavo
Engenheiro Civil, Curitiba, Brasil, luiz@ensolo.com.br

RESUMO: A região do litoral norte de Santa Catarina próxima aos portos de Itajaí e Navegantes está sobre um depósito lagunar que pode alcançar até 60 metros de profundidade de intercalações de argila mole e areias fofa à compacta. O presente trabalho tem por objetivo apresentar o comportamento de estacas do tipo hélice contínua monitorada, executadas em solos compressíveis na cidade de Itajaí-SC. O estudo realizado é em relação a três estacas executadas a priori, com diâmetro de 70cm e comprimento de 23,0 metros, apoiadas sobre camada intermediária de areia e que foram submetidas a ensaios de carregamento dinâmico. As curvas carga-recalque obtidas nos ensaios dinâmicos serviram de base para a modelagem numérica de recalques do edifício caso o mesmo fosse apoiado sobre esta camada intermediária de areia, o que indicou que os recalques diferenciais levariam a distorções angulares de $L/90$, muito acima do limite da norma de desempenho (ABNT, 2013).

PALAVRAS-CHAVE: Fundações, Estaca Hélice Contínua Monitorada, Solo Mole.

ABSTRACT: The region on the north coast of Santa Catarina, close to the ports of Itajaí and Navegantes, is located on a lagoon deposit that can reach a depth of up to 60 meters with intercalations of soft clay and soft to compact sand. The present work aims to present the behavior of monitored continuous flight auger piles, carried out in compressible soils in the city of Itajaí-SC. The study carried out is in relation to three piles built a priori, with a diameter of 70cm and a length of 23.0 meters, supported on an intermediate layer of sand and which were subjected to dynamic loading tests. The load-settlement curves obtained in the dynamic tests served as a basis for the numerical modeling of the building's settlements if it were supported on this intermediate layer of sand, which indicated that the differential settlements would lead to angular distortions of $1/90$, well above the limit of the performance standard (ABNT, 2013).

KEYWORDS: Foundations, Monitored Continuous Flight Auger Pile, Soft Soil

1 INTRODUÇÃO

A construção no litoral de Santa Catarina tem evoluído de forma exponencial, fazendo com que edifícios mais altos sejam adotados, isso só tem a contribuir com engenharia nacional. Estão sendo desenvolvidas muitas tecnologias de materiais, processos de produção e demanda de mão de obra qualificada. Considerando que boa parte do litoral catarinense é composto pela presença de solos moles, com isso abre amplo espaço para o desenvolvimneto de estudos geotécnicos. A opção mais utilizada, e disponível no mercado, é a estaca tipo Hélice Contínua Monitorada (HCM), um modelo muito utilizado em todas as cidades da região, porém, tem sido um assunto amplamente discutido e alvo de muitas polêmicas.

O objetivo deste trabalho é mostrar para a sociedade através de ensaios e provas de carga, como se comportam estacas HCM, em solo compressível. Foram executadas três estacas do tipo Hélice Contínua Monitorada de 700mm com 23 metros de profundidade, as quais foram submetidas a ensaios de carregamento dinâmico, onde foi analisada a conformação do fuste de cada estaca e capacidade de carga. Na sequência foi realizada modelagem numérica, através do modelo AOKI-LOPES (1975), para avaliar o deslocamento distorcional.

2 LOCALIZAÇÃO

Itajaí localiza-se no litoral centro norte catarinense, na margem direita da foz do rio Itajaí-Açu. É um município brasileiro localizado no estado de Santa Catarina, na Região Sul do Brasil, distante 94 km da capital catarinense, Florianópolis. Tem uma população de 264.054 habitantes, sendo uma cidade média, é o quinto município mais populoso do estado segundo os dados do censo de 2022. Sua localização no mapa de Santa Catarina e em relação à foz do Rio Itajaí-Açu podem ser vistos nas figuras 1 e 2.



Figura 1. Localização Itajaí (Wikipedia, 2024)

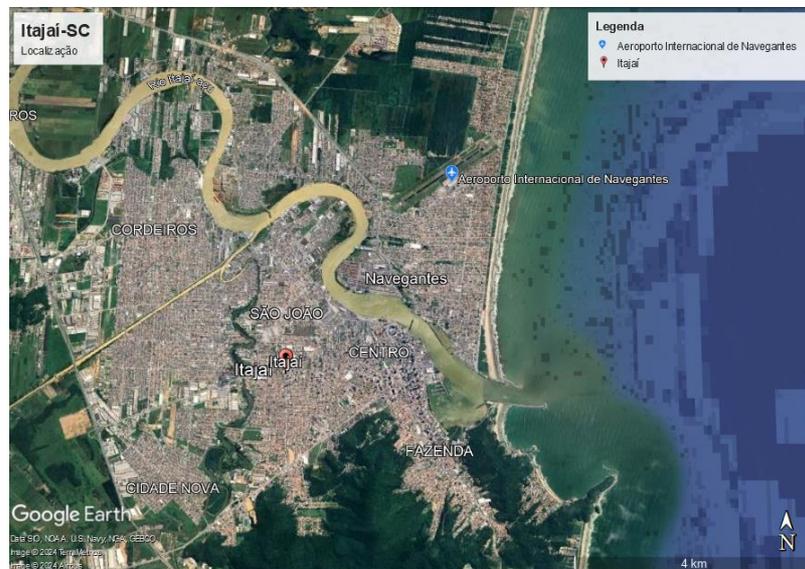


Figura 2. Localização Itajaí (Google Earth, 2024)

2.1 Caracterização Geológica

A cidade de Itajaí está localizada às marges do Rio Itajaí-Açu e próximo ao mar, estando contida dentro de um depósito aluvionar, abrangendo grande parte do município. A figura 3 ilustra a carta geológica com a definição da área urbana do município e onde se percebe que superficialmente predominam sedimentos aluvionares, denominados Q2ca na carta. Subjacente aos solos aluvionares, existem sedimentos marinhos, conforme indicado pelas sondagens executadas. Na obra foi realizada uma primeira campanha com 2 furos de SPT, como foram encontrados solos moles, foram feitos 4 furos de CPT, cujos valores da resistência de ponta, q_c , em MPa, estão plotados na figura 4.

3 ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO

Foram executadas a priori 3 estacas de teste para a realização de ensaios de carregamento dinâmico. Não foi feita prova de carga estática e sim ensaio dinâmico pelo fato de haver dúvidas sobre a integridade da estaca hélice contínua monitorada nos solos moles da região, o que não seria identificado em uma prova de carga estática não instrumentada, além da maior amostragem. E não havia intenção em se reduzir o fator de segurança.

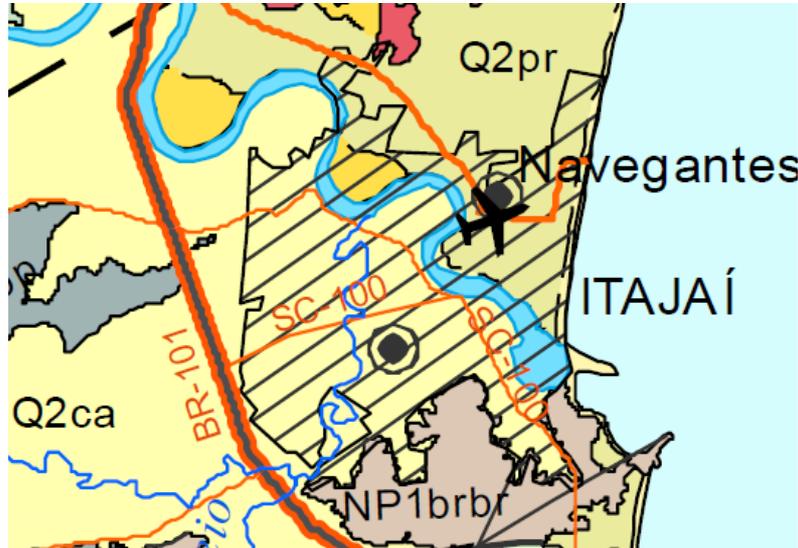


Figura 3. Carta Geológica de incluindo o sítio urbano de Itajaí (CPRM, 2014)

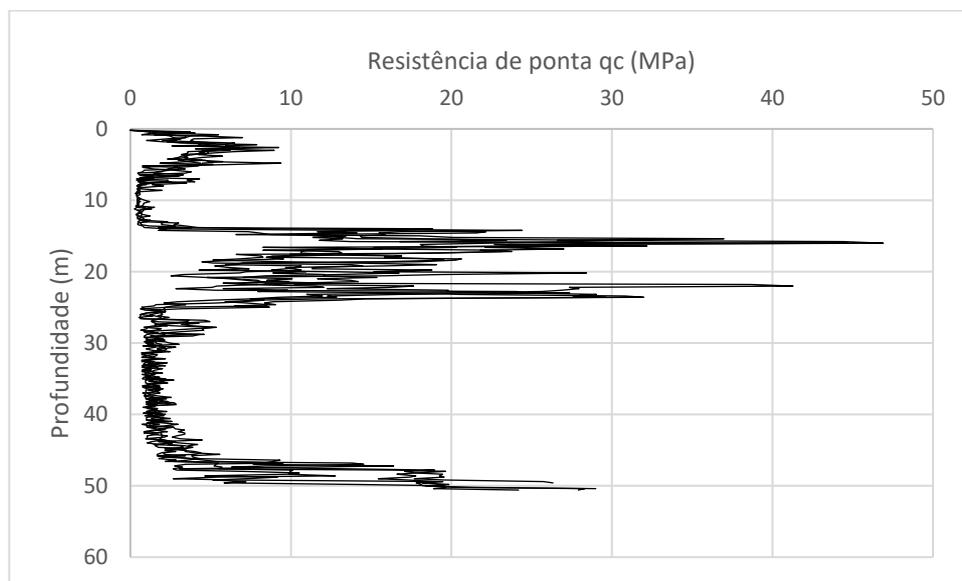


Figura 4. Valores de qc (MPa) dos 4 ensaios de CPT realizados na obra

Os ensaios de carregamento dinâmico foram executados com energia crescente, de modo a se ter a envoltória de resistência e de acordo com a NBR 13208 (ABNT, 2007). Todos os golpes aplicados foram analisados com o método CAPWAP. Dentre as estacas ensaiadas, apenas uma apresentou seção aproximadamente constante com a profundidade enquanto as demais mostraram reduções consideráveis de impedância, a qual depende da seção e qualidade do concreto. Para este estudo foi considerado que as variações de impedância são proporcionais à área da seção. As seções obtidas para cada golpe analisado variaram uma vez que o modelo utilizado no CAPWAP prioriza a capacidade de carga, sendo menos preciso nos outros aspectos, porém, é seguro afirmar que uma das estacas teve diâmetro acabado da ordem de metade do diâmetro do trado. A figura 5 mostra os resultados dos diâmetros obtidos metro a metro nas análises, sendo que cada

cor de barra indica um golpe analisado pelo método CAPWAP, estando plotados todos os golpes. O diâmetro na posição dos sensores foi medido e é dado de entrada para o ensaio.

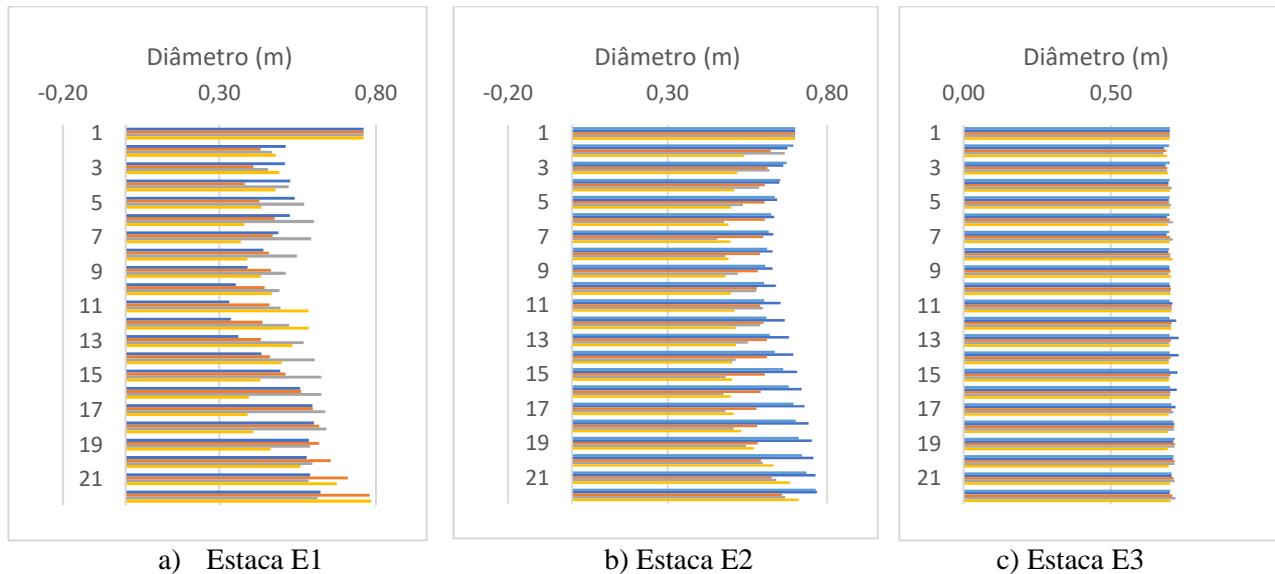


Figura 5. Diâmetros obtidos nas análises CAPWAP para as três estacas.

Nota-se na Figura 5 que, principalmente a estaca E1 apresentou redução significativa enquanto a estaca E3 encontra-se com impedância praticamente constante com a profundidade. Por esta razão, a estaca E3 foi utilizada como sendo a referência para os estudos de calibração de método de cálculo e de previsão de recalques.

As cargas mobilizadas por golpe para as estacas encontram-se na Tabela 1, bem como os valores de quake lateral e de ponta.

Os ensaios indicaram também um valor acima do normal para o plug de solo sob a ponta das estacas, sugerindo a punção da camada mais resistente em direção à argila mole subjacente. A figura 6 mostra os máximos valores de atrito lateral por metro de estaca para as três estacas, o que ilustra a grande variabilidade encontrada para esta grandeza também.

Tabela 1. Resistências mobilizadas por golpe para cada uma das estacas.

Estaca	Golpe	Capacidade mobilizada (kN)			Quake (mm)	
		Total	Atrito Lateral	Ponta	Atrito Lateral	Ponta
E1	3	662	352 (53%)	309 (47%)	4,461	4,055
E1	4	826	334 (40%)	492 (60%)	0,994	4,567
E1	5	1502	780 (52%)	722 (48%)	6,033	1,442
E1	6	1178	366 (31%)	812 (69%)	5,093	8,052
E2	2	1226	923 (73%)	343 (27%)	3,189	1,004
E2	3	1275	831 (65%)	444 (35%)	3,485	1,201
E2	4	967	484 (50%)	483 (50%)	1,925	1,538
E2	5	880	354 (40%)	526 (60%)	5,505	2,151
E2	6	1111	723 (65%)	388 (35%)	1,004	1,819
E3	2	1385	1056 (76%)	329 (24%)	2,394	4,856
E3	3	1937	1418 (73%)	519 (27%)	1,796	5,710
E3	4	1965	1624 (83%)	340 (17%)	7,473	1,332
E3	5	2562	1907 (74%)	655 (26%)	1,004	8,019
E3	6	4541	4063 (89%)	477 (11%)	1,004	7,069

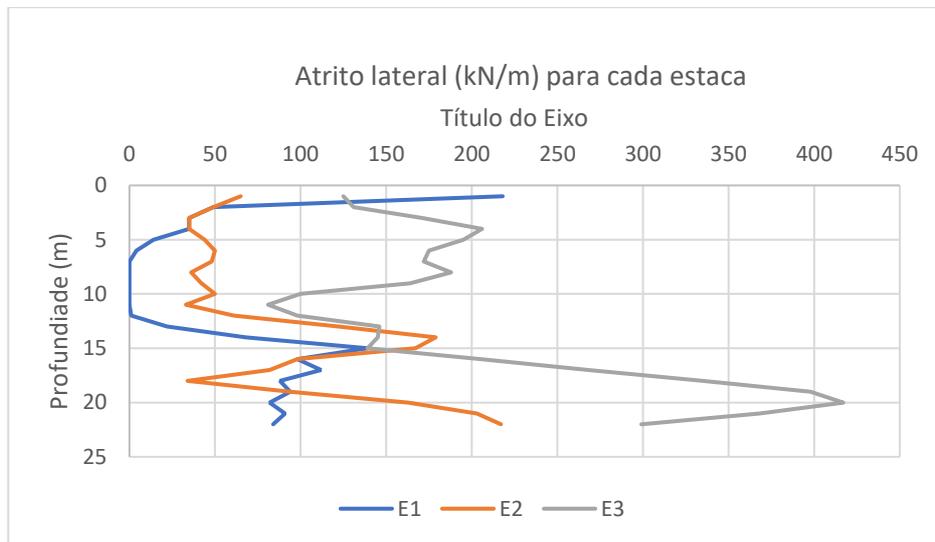


Figura 6. Máximo atrito lateral (kN /m) para as três estacas, mostrando grande variabilidade.

4 PREVISÃO DE RECALQUES

A modelagem de recalque consiste em um modelo para analisar o comportamento das fundações apoiadas na camada intermediária de areia compacta sobre uma camada de solo compressível, a ferramenta que foi utilizada foi o modelo de AOKI-LOPES (1975). Os módulos de elasticidade adotados encontram-se na tabela 2 e foram capazes de recriar a contento a curva carga-recalque obtida na análise CAPWAP para a estaca E3, lembrando que a curva carga-recalque do CAPWAP costuma ser mais rígida que a de uma prova de carga estática.

Tabela 2. Módulo de Elasticidade por camada

Camada (metros)	Solo	ES (kPa)
-4,00	Areia	23582
-14,00	Argila	2976
-24,00	Areia	65183
-45,00	Argila	3808
-50,00	Areia	108588

O modelo propõe o cálculo de tensões e recalques em pontos quaisquer no interior do solo com uma solução numérica, considerando que, as cargas que atuam em um grupo de estacas são decompostas em um sistema de cargas elementares concentradas e equivalentes, onde seus efeitos são superpostos no ponto analisado. A discretização consiste em se ter equações que reduzam a carga a um sistema de cargas pontuais equivalentes (DIAS, 1977).

Os efeitos são calculados através da equação de Mindlin (1936), considerando o solo homogêneo, isotrópico, semi-infinito e apresenta comportamento elástico-linear. A expressão que fornece o deslocamento vertical (w) em um ponto de massa de solo é dada pela equação 1.

$$w = \frac{P}{16\pi G(1-\nu)} \left[\frac{3-4\nu}{R_1} + \frac{8(1-\nu^2)-(3-4\nu)}{R_2} + \frac{(z-c)^2}{R_1^3} + \frac{(3-4\nu)(z+c)^2 - 2cz}{R_2^3} + \frac{6cz(z+c)^2}{R_2^5} \right]$$

(1)

Onde:

P = Carga elementar vertical aplicada em um ponto do maciço;

G = Módulo de Elasticidade transversal do solo;
 v = Coeficiente de Poisson;
 z = Profundidade do ponta em que se deseja calcular o deslocamento;
 c = profundidade do ponto de aplicação da carga concentrada (P).
 R₁ é dado pela equação 2
 R₂ é dado pela equação 3

$$R_1 = \sqrt{r^2 + (z - c)^2} \quad (2)$$

$$R_2 = \sqrt{r^2 + (z + c)^2} \quad (3)$$

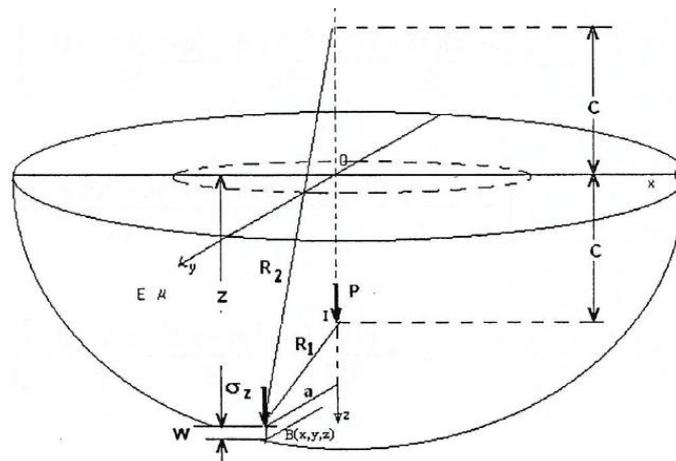


Figura 7. Solução de Mindlin (1936) (Reis, 2000 apud. Russo Neto, 2005)

O valores de carga foram obtidos através do modelo Aoki-Veloso (1975), calibrados com base nos resultados dos ensaios de carregamento dinâmico da Tabela 1. O modelo foi condicionado com base em um edifício de 30 pavimentos com cargas de até 14000 kN. Considerando a NBR 15575-2 Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais (ABNT, 2013), o limite máximo para deslocamento distorcional é de L/500. Os resultados obtidos na modelagem onde as fundações foram apoiadas na cota -23 metros, foi de até L/90. Segundo Skempton (1953), deslocamentos distorcionais a partir de L/150 podem causar dano estrutural nas edificações.

5 CONCLUSÕES

Foi possível observar que as estacas apresentaram grande variação de impedância, a qual foi creditada à variação de seção e também grande variação na carga de ruptura, também ocasionada por esta variação. Observou-se também na previsão de recalques que o fato de se apoiar a estaca ainda sobre uma camada intermediária de areia levaria à deformação da camada subjacente de argila compressível, causando deformações elevadas e distorções angulares elevadas, o que poderia não ser tolerável pela estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007) NBR 13208 Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013) NBR 15575-2 Desempenho de Edifícios Habitacionais, Parte 2: Sistemas estruturais. Rio de Janeiro.
- Aoki, N., Lopes, F.R. (1975). *Estimating stresses and settlements due to deep foundations by the Theory of Elasticity*, Proceedings, 5th. Pan American CSMFE, Buenos Aires, vol. 1, pp. 377-386.
- CPRM (2014) *Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina*
- Dias, C.R. Recalques de Fundações em Estacas (1977)
- Rodrigues, B.N. (2018) Previsão de Recalques em Fundações Retroanálise de Prova de Carga
- Russo Neto, L. (2005). *Interpretação de deformação e recalque na fase de montagem de estrutura de concreto com fundação em estaca cravada*. Tese de doutorado. EESC. São Carlos.
- Skempton, A. W. (1953). Discussion contribution: piles and pile foundations, settlement of pile foundations. Proc. 3rd ICSMFE, Zurich, pp. 3 - 172.
- Wikipedia (2024). Artigo sobre Itajaí, acessado em 12/04/2024 no endereço <https://pt.wikipedia.org/wiki/Itajaí>