

3

Descrição do trabalho experimental de Bernardes (1989)

O estudo realizado no presente trabalho tem como uma de suas finalidades a comparação de resultados das simulações numéricas de prova de carga estática com resultados experimentais, além das demais avaliações de fatores que podem influenciar este processo numérico, tanto na instalação da estaca quanto na própria simulação da prova de carga. Os resultados experimentais considerados foram obtidos por Bernardes (1989) em sua tese de doutorado no *Norwegian Institute of Technology* em Trondheim, Noruega, onde foram realizados ensaios de prova de carga estática e dinâmica em um tanque de areia, utilizando a areia de Hokksund, seca.

Com este objetivo, foram consideradas nas simulações as características do solo, estaca e do modelo físico utilizados em seus experimentos, apresentadas a seguir, para uma maior consistência na metodologia numérica utilizada.

O tanque de areia utilizado apresenta uma área transversal quadrada de 4m x 4m e com 3m de altura. A areia de Hokksund foi então depositada por gravidade, a partir de um dispersor mecânico com orifícios de diâmetro controlado, conforme pode ser observado na Figura 3.1.

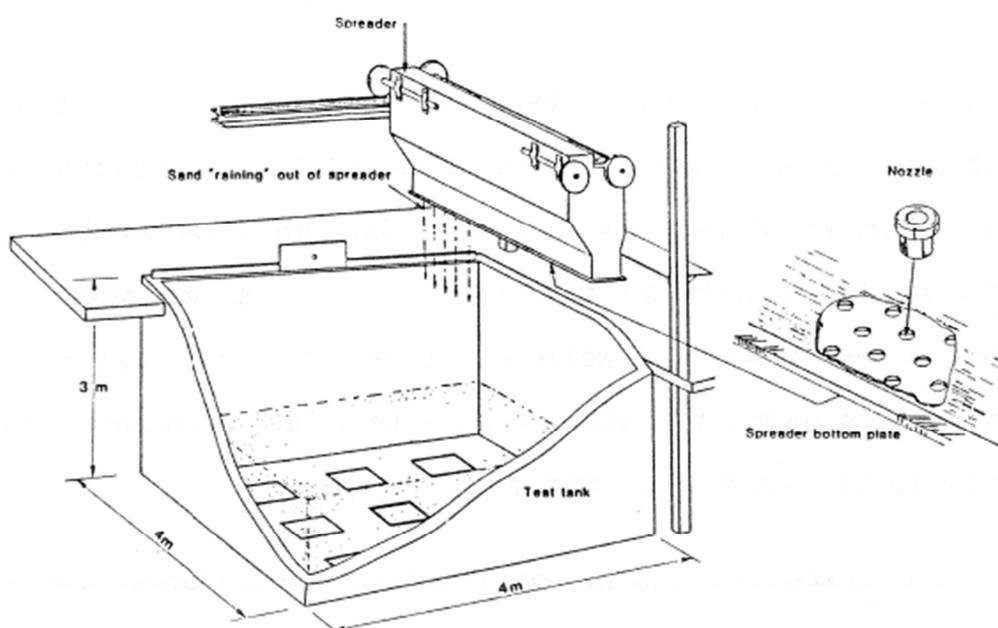


Figura 3.1 – Desenho esquemático do tanque de areia utilizado (Bernardes, 1989)

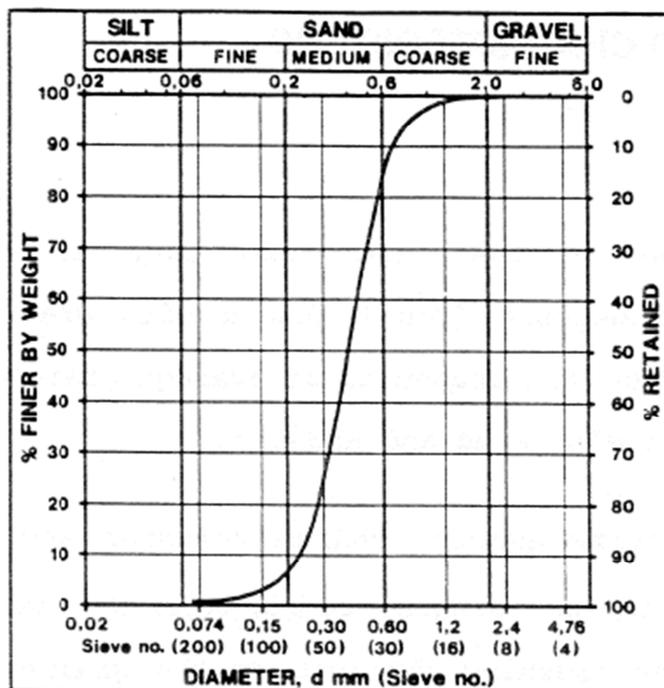
Segundo Bernardes (1989), é possível obter diferentes densidades da areia e consequentemente diferentes propriedades mecânicas de acordo com o diâmetro do orifício considerado no dispersor mecânico. O diâmetro do orifício utilizado por Bernardes (1989) foi de 16 mm, obtendo as propriedades da areia de Hokksund seca, apresentadas na Tabela 3.1, a seguir.

Tabela 3.1 - Propriedades da areia obtida com o orifício de 16 mm

Densidade média	16,0 kN/m ³
Porosidade média	39,9%
Compacidade Relativa	73%
Ângulo de atrito de pico, ϕ	38°

O ângulo de atrito de pico utilizado por Bernardes (1989) foi de 38° com base em resultados de ensaios de cisalhamento direto e ensaios triaxiais saturados em amostras nesta mesma porosidade. Outros resultados também apresentados pelo autor mostram valores de tangente do ângulo de atrito de 0,8 a 0,9 ($\phi = 38,6^\circ$ a $42,0^\circ$) obtidos por investigações de cone.

As demais características da areia de Hokksund estão apresentadas na Figura 3.2 a seguir.



MINERAL	%
Quartz	35
Na-Feldspar	25
K-Feldspar	20
Mica	10
Amphibole	5
Other	5

Density of the grains $\gamma_s = 27,12 \text{ kN/m}^3$
Minimum porosity $n = 36,4 \%$
Maximum porosity $n = 48,7 \%$

Figura 3.2 – Características gerais da Areia Hokksund (Leahy, 1984 apud Bernardes, 1989)

As estacas modelo utilizada nos ensaios de Bernardes eram metálicas, de liga de alumínio, com 3,5m de altura e 75mm de diâmetro. Em sua tese, Bernardes (1989) utilizou estacas com ponta aberta e fechada, mas somente as estacas de ponta fechada foram consideradas no presente trabalho.

O resumo das características da estaca utilizada por Bernardes (1989) encontra-se na Tabela 3.2, a seguir.

Tabela 3.2 – Resumo das propriedades da Estaca modelo

Material	Liga de alumínio tipo B-50 SWP
Altura	3,5 m
Diâmetro	75 mm
Módulo de Young	70 GPa
Peso total	8,51 kg
Área da ponta fechada	44,2 cm ²
Impedância	12,32 kN/m/s

Os ensaios realizados por Bernardes utilizaram dois arranjos iguais, contendo 5 estacas, no tanque de areia, como pode ser observado na Figura 3.3 a seguir. Apenas nas estacas do centro do modelo que foram realizadas as provas de carga estática.

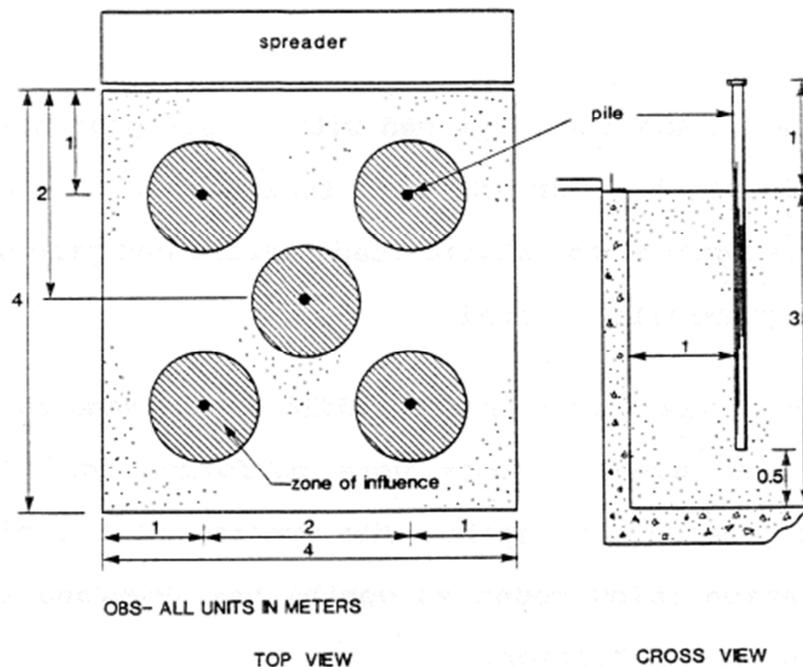


Figura 3.3 – Disposição das estacas no tanque de areia (Bernardes, 1989)

Os ensaios de prova de carga foram realizados na Estaca 02 do primeiro arranjo e na Estaca 01 do segundo arranjo, ambas localizadas no centro do tanque, a partir de incrementos de carga de 0,5kN e 1,0kN, de forma a obter a melhor curva de carga – deslocamento. Os incrementos de carga foram aplicados por um macaco hidráulico e mantidos até que os deslocamentos de cada estágio fossem estabilizados, as cargas aplicadas foram medidas com uma célula de carga no topo da estaca e o deslocamento com um LVDT (*Linear Variable Displacement Transformer*). Além destes, foram utilizados *strain gauges* próximos ao topo e à base da estaca para medir às cargas transferidas na ponta e topo da estaca, a partir das deformações medidas e das propriedades elásticas da estaca. A Figura 3.4, a seguir apresenta a instrumentação utilizada nas estacas para as provas de carga estáticas.

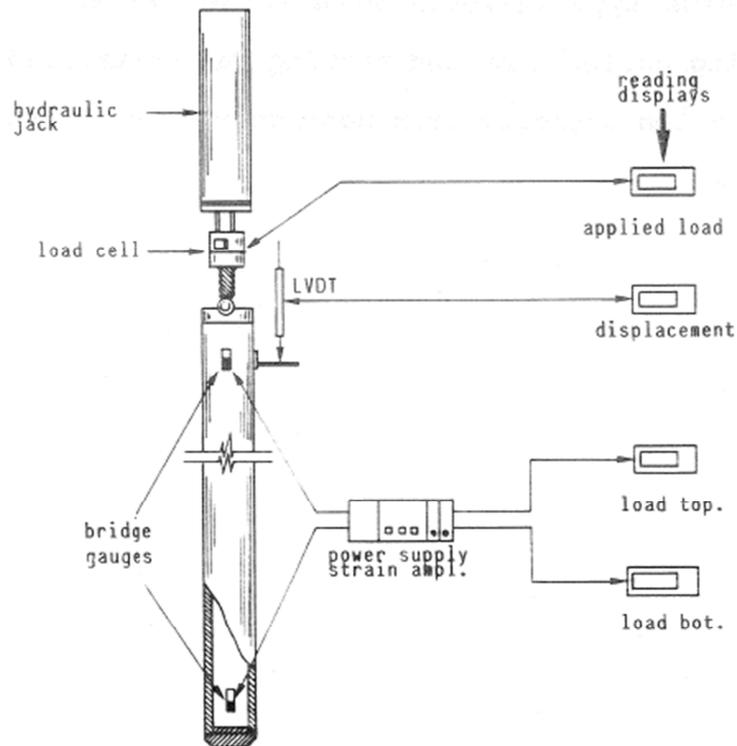


Figura 3.4 – Instrumentação utilizada nas estacas modelo nas provas de carga estáticas

As provas de carga foram realizadas em 5 profundidades na Estaca 01 (0,7m, 1,25m, 1,80m, 2,25m e 2,75m) e 4 profundidades na Estaca 02 (1,05m, 1,75m, 2,25m e 2,75m). Devido aos fatores verificados nas simulações e o tempo computacional necessário aos processos numéricos utilizados, apresentados no próximo capítulo, foi escolhido simular apenas uma profundidade de ensaio. Este ensaio foi determinado pela menor profundidade, possibilitando a utilização de um domínio numérico menor. Desta forma foi escolhido o ensaio na profundidade de 0,7m da Estaca 01, também devido ao fato da Estaca 02 apresentar um desvio de verticalidade de 3° e capacidades de carga aproximadamente 10% maiores do que a Estaca 01.

Os resultados das curvas de carga medida na ponta e no topo da estaca *versus* o deslocamento vertical, obtidos por Bernardes (1989) para Estaca 01 na profundidade de 0,7m, estão apresentados na Figura 3.5, a seguir.

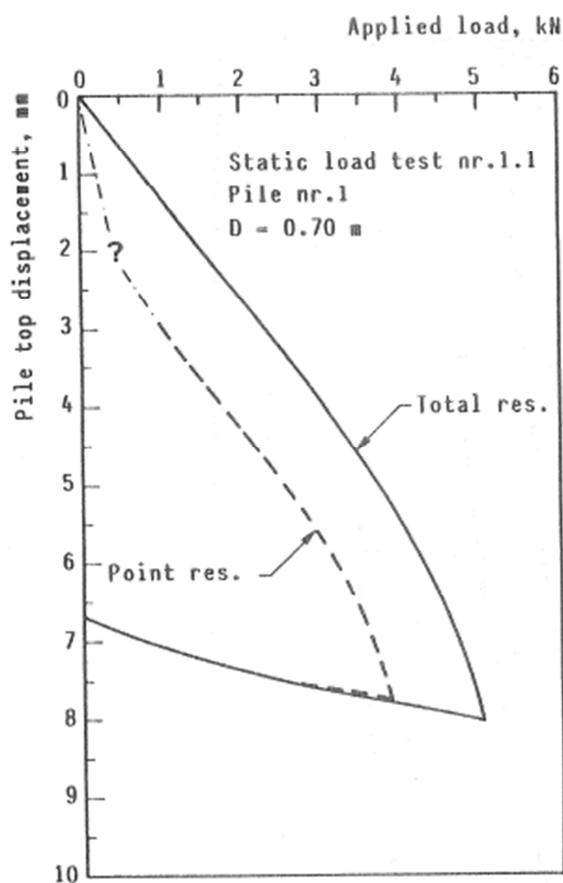


Figura 3.5 Curvas de carga, na ponta e no topo da estaca, por deslocamento vertical para Estaca 01 profundidade de 0,7m (Bernardes, 1989)

Os resultados apresentados na Figura anterior mostram um formato não usual para a curva de resistência de ponta no trecho inicial. Este foi representado com um ponto de interrogação por Bernardes (1989).

Nos ensaios de prova de carga realizados, não foram verificadas tensões residuais na ponta da estaca devido ao processo de instalação, realizado através de um processo usual de cravação. Apesar dos grandes deslocamentos relativos experimentados pelas estacas nas provas de carga de Bernardes (1989), não foram observadas cargas máximas bem definidas.