

# CONSTRUÇÃO DE APARATO EXPERIMENTAL PARA ENSAIOS COM ÂNCORAS DE ESTRUTURAS OFFSHORE PENETRADAS COM AUXÍLIO DE JATOS DE ÁGUA

ALANA RETZLAFF<sup>1</sup>; ADRIANA THAIS KICH<sup>2</sup>; KARINA CAMARGO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande – alanasternr@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande – adrianakich29@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande – karinacamargo@furg.br

## 1. INTRODUÇÃO

A estaca torpedo é uma tecnologia brasileira que vem sendo muito utilizada para a ancoragem de estruturas *offshore*. Uma das questões relacionadas ao uso dessa tecnologia são as correntes oceânicas, que podem desviar essas estacas horizontalmente durante a penetração no solo, reduzindo sua capacidade de suporte. Como resultado, é necessário utilizar um maior número de estacas para garantir a ancoragem adequada, o que aumenta os custos da solução e tem causado congestionamento do fundo marinho. Neste cenário, há relatos na literatura sobre o uso de jatos de água verticais, provenientes da ponteira da estaca torpedo, a fim de auxiliar sua penetração e verticalização, por meio da fluidização do solo. Dessa forma, este trabalho apresenta a construção de um aparato experimental para a realização de ensaios de hidrojateamento em modelos reduzidos de estaca torpedo T66 (66 toneladas) e T120 (120 toneladas), em modelos reduzidos por Lei de Semelhança por Número de Froude, em escala de comprimento 1:76.

## 2. METODOLOGIA

Vários pesquisadores (PASSINI E SCHNAID (2015); MAZUTTI (2018); CAMARGO (2020), entre outros) adotaram como variáveis fundamentais no estudo do hidrojateamento em modelos de estacas: (i) comprimento (l); (ii) massa (m); e (iii) tempo (t). Por essa razão, essas mesmas variáveis fundamentais foram utilizadas no presente estudo. O processo de cálculo iniciou-se com a substituição dessas grandezas por três novas variáveis base. As grandezas escolhidas foram: (i) comprimento; (ii) massa específica ( $\rho$ ); e (iii) aceleração da gravidade ( $g$ ). As escalas dessas variáveis base foram definidas conforme as condições experimentais, e com elas, as demais escalas puderam ser calculadas. O comprimento foi adotado com uma escala de 1:76, visando facilitar comparação com resultados encontrados na literatura, enquanto as escalas de massa específica e aceleração da gravidade foram mantidas em 1:1.

Esse sistema é conhecido como a semelhança por Número de Froude, em que a aceleração da gravidade permanece com a escala de 1:1. Seguindo os passos estabelecidos por CARNEIRO (1993), chega-se a uma equação que fornece uma fórmula geral para calcular a escala de qualquer variável derivada, utilizando a matriz dimensional inversa do conjunto de grandezas base selecionadas.

$$[X] = A^{(\alpha a_A + \beta b_C + \gamma c_A)} B^{(\alpha a_A + \beta b_C + \gamma c_A)} C^{(\alpha a_A + \beta b_C + \gamma c_A)} \quad (1)$$

Dois modelos de estaca torpedo são simulados em escala reduzida neste trabalho (T66 e T120). De acordo com SILVA (2008), o modelo T66 tem 66 toneladas, 12 m de comprimento do fuste, 2 m de comprimento da ponteira e

diâmetro de 1,067 m. De acordo com HENRIQUES JR. et al. (2010), o modelo T120 apresenta maior capacidade de suporte e é ideal para ancoragem em perfis de solo de baixa resistência ao cisalhamento não-drenada, característica bastante comum nos campos de exploração do pré-sal. Segundo os autores, o modelo tem 120 toneladas e 22,1 m de comprimento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1 e Tabela 2, onde  $m$  representa a massa,  $t$  o tempo,  $f$  a frequência,  $v$  a velocidade,  $Q$  a vazão,  $A$  a área,  $V$  o volume e  $I$  a inércia, foi possível calcular as dimensões básicas dos modelos reduzidos, conforme apresentado na Tabela 3, onde  $d_e$  representa o diâmetro externo da estaca,  $d_{jp}$  representa o diâmetro do jato pequeno (correspondente à 12,5% do diâmetro externo da estaca),  $d_{jg}$  representa o diâmetro do jato grande (correspondente à 25% do diâmetro externo da estaca),  $m_{66}$  corresponde à massa do modelo T66 e  $m_{120}$  corresponde à massa do modelo T120.

**Tabela 1:** Matriz dimensional das grandezas de base de semelhança por Número de Froude para  $\lambda L = 1:76$ .

Grandeza de base	Unidade	L	m	t	Escala	Escala invertida
$L$	m	1	0	0	1,616E-02	76
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	-3	1	0	1	1
$g$	m/s <sup>2</sup>	1	0	-2	1	1

**Tabela 2:** Matriz dimensional das grandezas derivadas de semelhança por Número de Froude para  $\lambda L = 1:76$ .

Grandeza de base	Unidade	L	m	t	Escala	Escala invertida
$L$	m	1	0	0	1,616E-02	76
$m$	kg	0	1	0	2,278E-6	439.976
$t$	s	0	0	1	1,147E-1	8,72
$f$	Hz	0	0	-1	8,718E0	0,11
$v$	m/s	1	0	-1	1,147E-1	8,72
$Q$	m <sup>3</sup> /s	3	0	-1	1,986E-5	50.354
$A$	m <sup>2</sup>	2	0	0	1,731E-4	5.776
$V$	m <sup>3</sup>	3	0	0	2,278E-6	438.976
$I$	m <sup>4</sup>	4	0	0	2,997E-8	33.362.176

**Tabela 3:** Dimensões de protótipo e modelos reduzidos.

Parâmetro	Escala de comprimento	
	1:1	1:76
$d_e$	1070 mm	14 mm
$d_{jp}$	130 mm	1,7 mm
$d_{jg}$	260 mm	3,3 mm
$m_{66}$	66 ton	150 g
$m_{120}$	120 ton	275 g

O aparato experimental consiste em tanque de polietileno (capacidade de 1.000 L) ligado à rede pública de abastecimento de água, um motor-bomba, um inversor de frequência e um rotâmetro de acrílico transparente (escala de 0 a 10 m<sup>3</sup>/h). A este conjunto foi acrescentado um tanque de vidro com 0,395 m × 0,395 m de área de seção transversal com altura de 0,7 m, com espessura da lâmina de

vidro de 6 mm, o qual passou a ser utilizado como tanque para os ensaios com jatos de água e arrancamento. O desenho esquemático deste aparato experimental é apresentado na Figura 1.



**Figura 1:** Desenho esquemático do aparato experimental para realização dos ensaios com modelo reduzido de estaca torpedo

Para permitir a realização dos ensaios, o tanque passou a ser inserido em um sistema de pórtico que foi instalado próximo ao sistema de jateamento. Como os modelos construídos apresentam maior massa do que a adequada para representar os modelos T66 e T120 da estaca torpedo pelas regras da Teoria da Semelhança na escala utilizada neste trabalho, optou-se por construir um sistema de contrapeso, o qual está representado na Figura 2 (a). Assim, torna-se possível realizar ensaios com a massa ao ar adequada. Além disso, este sistema permite a colocação de massas, de forma gradual, após os ensaios de jateamento, de forma a ser medida a carga necessária para o arrancamento dos modelos. Esta massa está relacionada à capacidade de carga pós hidro-jateamento, a qual é considerada como um dos resultados de ensaio que deve ser adequadamente investigado para a análise do processo em estudo.

O sistema foi montado para permitir a realização de ensaios em solos finos e granulares. O solo fino deve ser transferido ao tanque já nas condições de umidade desejadas. Por sua vez, a areia precisa ser colocada seca no tanque. Assim, com base nos resultados de caracterização geotécnica, deve ser calculada a massa de solo seco que deve ser utilizada para garantir a densidade relativa desejada (uma vez que esta densidade relativa é uma das variáveis que podem ser analisadas no processo estudado) em camadas de 0,05 m. Após, o solo deve ser saturado por fluxo ascendente de água, de forma a expulsar as bolhas de ar dos vazios. Para isto, foi construído um sistema de tubulação em PVC perfurado na base, o qual está apresentado na Figura 2 (b) e (c).



**Figura 2:** (a) Sistema de contrapeso; (b) Sistema de saturação por fluxo ascendente; e (c) sistema de saturação instalado no tanque.

#### 4. CONCLUSÕES

Este estudo descreve a construção de um dispositivo experimental para a execução de ensaios de hidrojateamento em solos finos ou granulares, utilizando um modelo reduzido baseado na Lei de Semelhança por Número de Froude. Esse método é ideal para preservar a relação entre forças inerciais e gravitacionais em modelos de estacas torpedo sem aletas. No aparato experimental, foi adotada uma escala de comprimento de 1:76, enquanto o cálculo das demais grandezas foi realizado considerando a aceleração da gravidade e a massa específica com escala de 1:1. Dessa forma, o equipamento está disponível para realizar ensaios de hidrojateamento e arrancamento no Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG (LGC-FURG) com modelos reduzidos de estacas torpedo T66 e T120.

É importante mencionar que, apesar dos cuidados tomados para garantir a semelhança entre o protótipo e o modelo, existem efeitos de escala inerentes ao sistema proposto. Conforme os limites identificados na literatura, os dois principais efeitos de escala presentes nessas condições são o relacionado ao diâmetro médio das partículas, especialmente em solos granulares finos (areia), e o diâmetro equivalente do tanque.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PASSINI, L. B., SCHNAID, F. (2015). Experimental investigation of pile installation by vertical jet fluidization in sand. **Journal of Offshore Mechanics and Artic Engineering**, v. 137, n. 4. doi: 10.1115/1.4030707.

MAZUTTI, J. H. (2018). **Estudo do atrito lateral no arrancamento de estacas modelo instaladas por fluidização em areia**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CAMARGO, K. R. (2020) **Hidrojateamento em solos finos: ensaios de laboratório e campo**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CARNEIRO, F. L. (1993). **Análise dimensional e teoria da semelhança e dos modelos físicos**. Editora UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 258 p.

SILVA, U. A. (2008). **Análise da cravabilidade de estacas torpedo**. Monografia (Especialização). Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

HENRIQUES JR., P. R. D., PORTO, E. C., MEDEIROS JR., C. J., FOPPA, D., COSTA, R. G. B., FERNANDES, J. V. V., DANZIGER, F. A. B., JANNUZZI, G. M. F., GUIMARÃES, G. V. M., SILVA JR., S. P. O desenvolvimento do piezocone-torpedo: finalidades do ensaio, desafios e primeiros testes. In: **XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, 2010, Gramado/RS. **Anais...** Gramado, 2010. v.1, p.1-8.