



### Segundo-Tenente (RM2-EN) Yuri Flôr Henrique

Membro do Grupo de Gerenciamento dos Projetos e de Fiscalização das Obras Civas Relativas ao PROSUB, a cargo da DOCM.

Graduado em Engenharia Civil com ênfase em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

# ESTACA EM PERFIL METÁLICO

## A SOLUÇÃO ADOTADA PARA A FUNDAÇÃO DOS EDIFÍCIOS DO EBN-PROSUB

### 1. INTRODUÇÃO

Em 1954, pela primeira vez no Brasil, foi implementada uma solução de fundação em estacas metálicas na construção do edifício “Garagem América”. Os Engenheiros Lauro Rios e Professor Victor Mello usaram como solução dois perfis soldados pelas abas, formando um caixão. Há 60 anos, a medida adotada foi absoluta novidade para a geotecnia no Brasil.

Atualmente, como elementos de fundação, as estacas metálicas têm aplicação destacada em construções industriais, edifícios de múltiplos andares, pontes, viadutos, portos e torres de transmissão. No Estaleiro e Base Naval (EBN), a estaca em perfil metálico tem grande relevância, uma vez que foi a fundação adotada para a maior parte dos edifícios do empreendimento.

### 2. A ESCOLHA POR ESTACAS EM PERFIS METÁLICOS

A escolha da fundação é sempre feita atendendo a critérios técnicos e econômicos. Tecnicamente, considera-se que a fundação é um elemento

estrutural que tem a função de transmitir, de forma adequada e segura, os esforços provenientes da estrutura para o terreno. Economicamente, define-se a solução de fundação tecnicamente viável, a de menor custo.

O engenheiro geotécnico ou estrutural deve estabelecer quais e quantas investigações de subsolo serão necessárias. O planejamento dessas investigações é realizado com base em: planta do terreno (levantamento planialtimétrico), informações geológico-geotécnicas já disponíveis para a região, dados sobre a estrutura a ser construída e edificações vizinhas, e do conhecimento das normas e códigos de obras locais.

As investigações podem ser, dentre os diversos tipos: sondagens com trado, sondagens a percussão com SPT (*Standard Penetration Test*), sondagens rotativas, sondagens mistas, ensaios de cone (CPT - *Cone Penetration Test*), ensaios de palheta (*Vane Test*), ensaios com dilatômetro (DMT - *Dilatometric Marchetti Test*), por métodos geofísicos (sísmica de refração, sísmica de reflexão, resistividade elétrica e geo-radar), ou ainda, eventual ensaio

ou prova de carga sobre placa.

Para os edifícios do EBN-PROSUB optou-se por fundação profunda, em virtude de estarem sobre grande camada de solo compressível, composta de aterro hidráulico com espessura de aproximadamente dez metros. A NBR 6122:2010 conceitua fundação profunda como elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste), ou pela combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo três metros.

A escolha da utilização de perfil metálico como material das fundações profundas se deve às suas vantagens em relação às alternativas existentes, como estacas pré-moldadas em concreto e estacas tipo hélice. Essas vantagens, segundo VELLOSO E LOPES (2002) são listadas a seguir:

- São fabricadas com seções transversais de várias formas e dimensões, o que permite uma adaptação bem ajustada a cada caso;
- Por unidade de área de seção transversal, são as estacas que oferecem capacidade de carga mais elevada;
- Devido ao peso relativamente pequeno e à elevada resistência à compressão, à tração e à flexão, são fáceis de transportar e manipular;
- Pela facilidade com que podem ser cortadas com o maçarico ou emendadas por solda; e
- Podem-se utilizar, em casos especiais, aços resistentes à corrosão.

As desvantagens existem e, ainda de acordo com VELLOSO E LOPES (2002) são o custo e a corrosão. A norma NBR 6122:2010 preconiza que seja descontada a espessura indicada na Tabela 1 a seguir, para compensação de corrosão.

**Tabela 1 – Espessura de compensação de corrosão – NBR 6122:2010.**

CLASSE	ESPESSURA MÍNIMA DE SACRIFÍCIO (mm)
Solos em estado natural e aterros controlados	1,0
Argila orgânica; solos porosos não saturados	1,5
Turfa	3,0
Aterros não controlados	2,0
Solos contaminados <sup>(a)</sup>	3,2

<sup>(a)</sup> Casos de solos agressivos devem ser estudados especificamente.



### 3. EXECUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DA FUNDAÇÃO

Estacas podem ser cravadas dinamicamente com a utilização de martelos de queda livre, à combustão ou automáticos (pneumático ou hidráulico); estaticamente; por prensagem; ou ainda por vibração. A escolha dependerá, principalmente, das características do solo, do tipo e do comprimento da estaca e dos níveis de barulho e vibração aceitáveis.

Para a cravação das estacas metálicas dos edifícios do EBN-PROSUB está sendo empregada a cravação dinâmica com adoção de martelo hidráulico como visto na Figura 1. Esse tipo de martelo é levantado por pressão de fluido hidráulico e tem duplo efeito na queda: gravidade e efeito da pressão de fluido.



Figura 1 - Cravação de perfil metálico com martelo hidráulico na obra do EBN - PROSUB.

Para garantir que o perfil seja cravado na posição de projeto são utilizados gabaritos de madeira enterrados vinte centímetros no terreno. Conforme o perfil adentra no terreno, novos segmentos são emendados no topo das estacas por solda com utilização de talas, confeccionadas a partir do próprio perfil (Figuras 2 e 3).



Figura 2 – Execução de emenda de perfis metálicos com talas na obra do EBN - PROSUB.



Figura 3 - Perfis metálicos para a fundação do prédio de Oficina de Apoio à Manutenção de Submarinos composta por 478 perfis metálicos HP250x85, totalizando mais de 14 quilômetros de comprimento e 1000 emendas.

Após o arrasamento (corte ou demolição) do excesso de estaca que encontra-se acima de uma determinada cota de terreno) do perfil por maçarico na cota de projeto, e antes de executar os blocos de coroamento, são realizados os capitéis. Barras de aço são soldadas ao perfil tanto paralelamente ao seu eixo e quanto de forma helicoidal, ambas ao redor do topo do perfil conforme sequência executiva mostrada nas Figuras 4a, 4b, 4c e 4d. Sua necessidade de execução visa combater os esforços de punção que agem sobre o concreto do bloco de coroamento pois, por ocasião do carregamento da fundação, a seção transversal do perfil atua diretamente sobre o bloco.



Figura 4a



Figura 4b

### Sequência executiva de capitéis (extremidade superior de um pilar) na obra do EBN - PROSUB.



Figura 4c



Figura 4d



Figura 5a

Após a concretagem dos capitéis e aplicação de impermeabilizante líquido, o terreno é reaterado até a cota do topo dos capitéis. Após esse aterro, os blocos de coroamento são executados a partir do concreto magro sobre o terreno, para posterior montagem de forma e armadura e, por último, concretagem. As Figuras 5a, 5b, 5c, 5d e 5e mostram a seqüência executiva de construção de um bloco de coroamento na obra do EBN - PROSUB.

**Obra EBN - PROSUB – (Figura 5a) Demarcação da área para execução do concreto magro; (Figura 5b) Armadura e forma dos blocos de coroamento; (Figura 5c) Aplicação de pintura impermeabilizante sobre o bloco concretado; (Figura 5d) Posicionamento dos chumbadores para pilar; (Figura 5e) Pilar montado.**



Figura 5b



Figura 5c



Figura 5d



Figura 5e

O controle da cravação é feito, tradicionalmente, pela nega e pelo repique e ainda por ensaios de carregamento estático e/ou dinâmico (também chamados de prova de carga) após a cravação do perfil. A nega é a penetração permanente média por golpe e o repique é o encurtamento elástico do conjunto estaca-solo em cada golpe.

O procedimento de prova de carga estática está normatizado na NBR 12131:2006 e consiste em um ensaio do tipo “tensão x deformação”, que pode ser realizado no solo estudado para receber solicitações ou no elemento estrutural de fundação construído para a obra ou especialmente para ser testado. (RODRIGUES E FILHO, 2012). Neste tipo de ensaio são feitos ciclos de carregamento e descarregamento podendo ser utilizados os seguintes sistemas de reação: cargueiras, estacas de reação ou tirantes. As Figuras 6a e 6b mostram o ensaio com emprego de macaco hidráulico e sua respectiva curva típica carga-recalque.

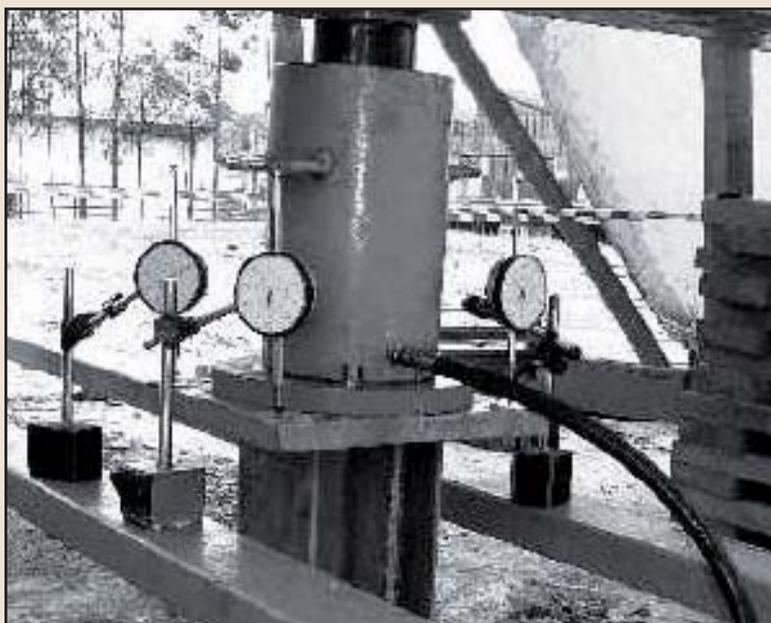


Figura 6a - Prova de Carga Estática.

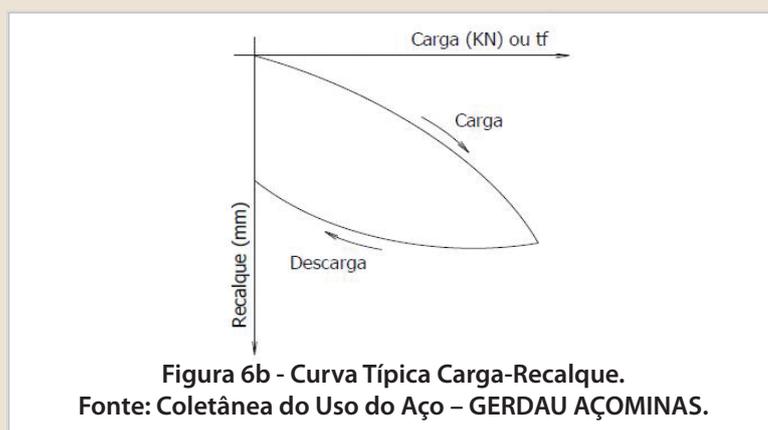


Figura 6b - Curva Típica Carga-Recalque.

Fonte: Coletânea do Uso do Aço – GERDAU AÇOMINAS.

Na fundação do Prédio Principal do Estaleiro de Construção de Submarinos, para a execução da prova de carga estática foram necessárias seis estacas de reação, com as mesmas características da estaca ensaiada e comprimento calculado em função da carga de ensaio (500 tf) e dos parâmetros de resistência do terreno.

O Ensaio de Carregamento Dinâmico, como visto nas Figuras 7a, 7b e 7c é outra importante ferramenta para o controle de qualidade de fundações profundas que objetiva principalmente determinar a capacidade de ruptura da interação estaca-solo, para carregamentos estáticos axiais. Em campo, através de instrumentação, são registrados os sinais de força e velocidade da onda de tensão provocada pelo impacto do martelo. Ele difere das tradicionais provas de carga estática pelo fato do carregamento ser aplicado dinamicamente, através de golpes de um sistema de percussão adequado. A medição é feita através da instalação de sensores no fuste da estaca, em uma seção situada pelo menos duas vezes o diâmetro abaixo do topo da mesma. Os sinais dos sensores são enviados por cabo ao equipamento PDA® (*Pile Driving Analyzer*), que armazena e processa os sinais *online* (RODRIGUES E FILHO, 2012).

### Ensaio de Carregamento Dinâmico na obra do EBN - PROSUB (Fig. 7a) e (Fig. 7b) sensores; (Fig. 7c) - PDA®.



Figura 7a



Figura 7b

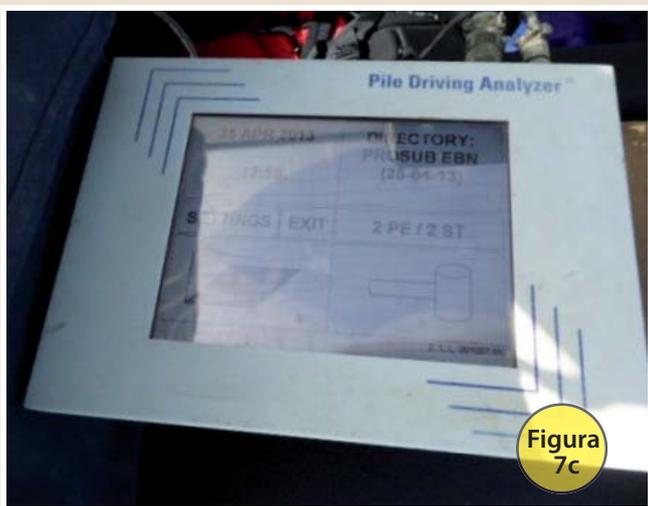


Figura 7c

#### 4. CONCLUSÃO

Cada vez mais as estacas metálicas estão sendo adotadas como solução de fundação para obras industriais de edifícios, de pontes e viadutos. Este fato se deve às vantagens que as estacas metálicas possuem frente às alternativas, tais como: facilidade de transporte, possibilidade de cortes e emendas simples, rapidez na execução, capacidade de carga estrutural elevada e custo cada vez mais competitivo. Em uma obra com a grandeza e importância do EBN - PROSUB, sua adoção para fundação de seus edifícios ajuda a proporcionar o cumprimento de metas e prazos estabelecidos pelo Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB).

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ANDRADE, A. P. Primeira obra utilizando-se estacas metálicas no Brasil. São Paulo, SP, 1999. Disponível em: <http://www.metallica.com.br/primeiro-edificio-em-estrutura-metalica-do-brasil> Acesso em 30 de Agosto de 2014.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2010.

[3] \_\_\_\_\_. NBR 12131: Estacas – Prova de carga estática - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

[4] \_\_\_\_\_. NBR 13208: Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico. Rio de Janeiro, 2007.

[5] Coletânea do Uso do Aço – Perfis GERDAU AÇOMINAS Aplicados Como Estacas Metálicas Em Fundações Profundas – GERDAU AÇOMINAS, 1ª Edição, 2006.

[6] GONÇALVES, C.; BERNARDES, G. P.; NEVES, L. F. S. Estacas Pré-Fabricadas de Concreto: Teoria e Prática, Copyright: os autores ([www.estacasprefabricadas.eng.br](http://www.estacasprefabricadas.eng.br)), 1ª Edição, 2007.

[7] PDA (*Pile Driving Analyzer*) é propriedade da *Pile Dynamics, Inc.* <http://www.pile.com/pdi/>

[8] Relatório Técnico CONCREMAT – Prova de Carga Estática em Estaca (Compressão) – RT 9.1.8.008.0039.009/13 – Rev. 3 de 01 de Agosto de 2013.

[9] RODRIGUES, B. C.; FILHO, J. F. Estudo Comparativo entre Prova de Carga Dinâmica, Carga Estática de Projeto e Métodos Dinâmicos em Estacas de Perfis Metálicos: Estudo de Caso. Trabalho de Graduação. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia/UNAMA. Belém, PA, 2012.

[10] VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações: Critérios de Projeto, Investigação do Subsolo, Fundações Superficiais. Oficina de Textos, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

[11] VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações: Fundações Profundas. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2002.