

## CONTROLE DE QUALIDADE DE FUNDAÇÃO ATRAVÉS DE ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO EM ESTACA PRÉ-MOLDADA

**Gilmar Rodrigues de Sousa, Luana Azevedo Teixeira, Eng.º João Luiz Teixeira Pinto, Eng.º Wilson Roberto Teixeira**

UNIVAP - Universidade do Vale do Paraíba/FEAU - Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Av. Shishima Hifumi, 2911 - Urbanova - São José dos Campos - SP - CEP: 12244-000, gilmar.cadsolution@gmail.com , luana@persolo.com

**Resumo** – O presente artigo tem como objetivo avaliar e analisar, através de Ensaio de Carregamento Dinâmico (*PDA – Pile Driving Analyzer*), a capacidade de carga de uma fundação executada em estaca pré-moldada. É possível que o resultado do ensaio possa alterar algumas características do projeto inicial proposto pelo projetista de fundações, como a diminuição do fator de segurança, alterando a seção da estaca, e conseqüentemente o aumento da produtividade na execução do estaqueamento e a redução global de custos.

**Palavras-chave:** Ensaio de Carregamento Dinâmico, Estaca Pré-Moldada, Fundações.  
**Área do Conhecimento:** Engenharia Civil.

### Introdução

No Brasil, a ampla utilização do ensaio de carregamento dinâmico em obras portuárias ou do tipo *offshore* (plataformas marítimas) fez com que a Petrobrás incluísse em sua norma interna de procedimentos, a N-2001 de 1989 – Projeto e Execução de Fundações para Estruturas Marítimas – um capítulo destinado exclusivamente à monitoração de cravação de estacas (*DPT – Dynamic Pile Testing*).

Das obras marítimas, o ensaio saiu para a utilização em obras situadas em terra, permanecendo por mais de uma década sem uma normatização oficial, mas sendo cada vez mais utilizado. Atualmente já se encontra devidamente normatizada através da NBR – 13208 (Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico).

A NBR-6122 (Projeto e Execução de Fundações) cita a necessidade de execução de ensaios de carregamento dinâmico em conformidade com a norma NBR-13208, sendo que em um determinado número de estacas da obra, para que possa ser caracterizada como verificada a capacidade de carga a ser adotada em uma estaca.

A utilização do Ensaio de Carregamento Dinâmico (*PDA*) oferece um maior número de informações para o acompanhamento do projeto e da própria execução do estaqueamento. Além disso, é possível aferir os coeficientes de

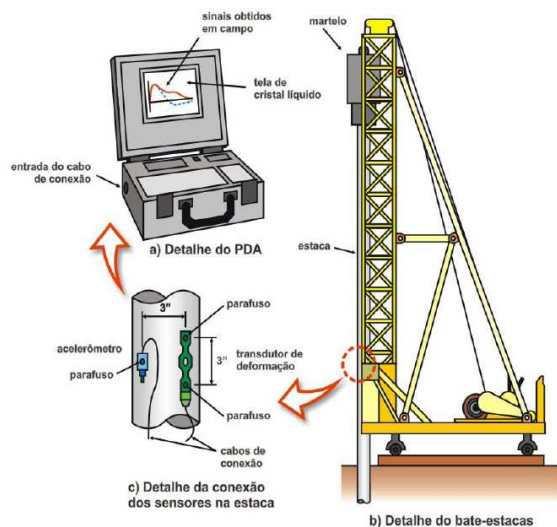
segurança, e como conseqüência, otimizar o custo global da fundação.

### Metodologia

O ensaio de carregamento dinâmico através do *PDA (Pile Dynamic Analyzer)* consiste na aplicação de carregamento dinâmico axial à estaca, para obtenção, além de outras informações, de uma estimativa de sua capacidade de carga, pela aplicação da Teoria da Equação de Onda, durante o processo de cravação ou recravação da estaca.

Esse ensaio, mais apropriado para estacas pré-fabricadas (aço, concreto, etc), também pode ser realizado em estacas moldadas “*in loco*”, desde que se adéqüe um sistema para aplicação de impactos e que se provoquem nas estacas deslocamentos suficientes para que sejam mobilizadas as resistências.

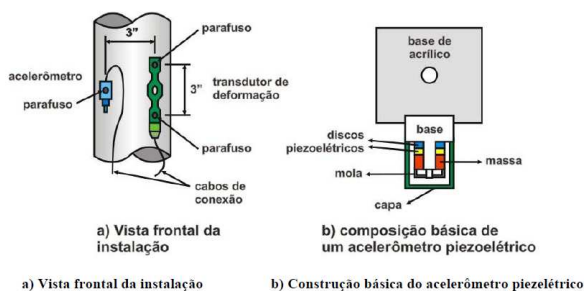
Tal carregamento dinâmico axial é provocado pelo impacto, sobre a cabeça da estaca, de um martelo (pilão) de massa previamente determinada, caindo de uma altura pré-estabelecida. O impacto gera uma onda de compressão descendente, que se propaga em direção à ponta, mantendo uma proporcionalidade entre os sinais registrados de força e de velocidade das partículas no trecho livre da estaca.



**Figura 01 – Forma de aquisição dos dados**

As medições dos sinais são feitas a pelo menos dois diâmetros da estaca abaixo do topo (parte superior). Não são feitas no topo, pois na verdade tal medição conteria tensões indesejáveis de contato local, prejudicando os sensores.

Os sinais obtidos em bruto são transferidos através de um sistema de cabos de conexão a um equipamento eletrônico que os transcodifica e os processa, através de uma série de cálculos (*on line*), durante cada golpe do martelo.



**Figura 02 – Detalhe da instalação dos sensores**

O PDA provê o condicionamento dos sinais dos transdutores de deformação específica e dos acelerômetros, fazendo a conversão dos sinais medidos em força e velocidade médias, respectivamente, para utilização em um microcomputador digital, informando dados como:

- Resistência mobilizada do solo;
- Tensões máximas na estaca;
- Integridade da estaca;
- Desempenho do martelo.

Estes dados são analisados pelo Método CASE (*Case Western Reserve Institute*) que se fundamenta em modelos numéricos que simulam o comportamento dinâmico do conjunto estaca-solo, através do ajuste de todos os parâmetros envolvidos no processo.

## Resultados

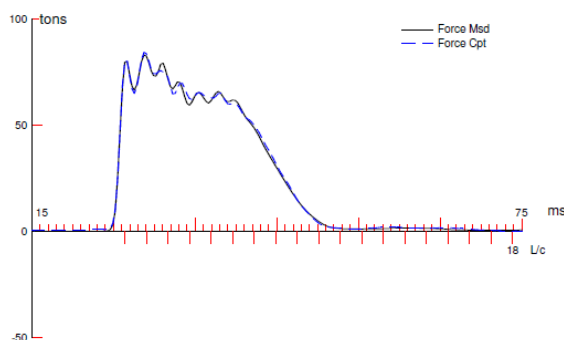
Para uma melhor avaliação da resistência da estaca, os dados obtidos com a prova de carga dinâmica foram submetidos a análises CAPWAP.

Empregando-se um *software* específico, foram efetuados ajustes sucessivos de um sinal calculado numericamente, buscando-se reproduzir da melhor forma possível o sinal dinâmico medido em campo.

A partir desta análise, obtivemos a capacidade de ruptura do solo, tensões máximas de compressão e de tração no material da estacas durante os golpes, nível de flexão sofrido pela estaca durante o golpe, informações sobre a integridade das estacas com a localização de eventual dano, estimativa da sua intensidade e velocidade de aplicação dos golpes.

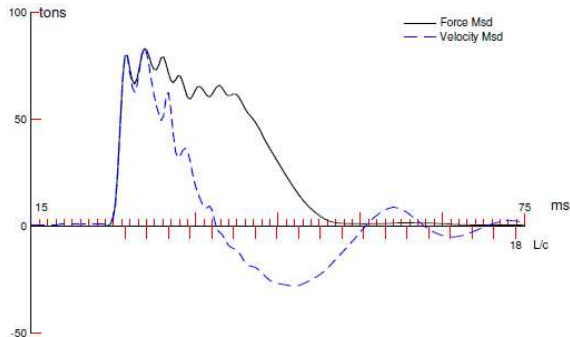
Todas as estacas ensaiadas sofreram deslocamento durante os golpes.

Nesta figura o gráfico mostra o ajuste das curvas de força medida em campo e a calculada pelo método CAPWAP, sendo que, quanto maior for o ajuste entre estas curvas, maior será a precisão do valor de resistência mobilizada pela estaca.



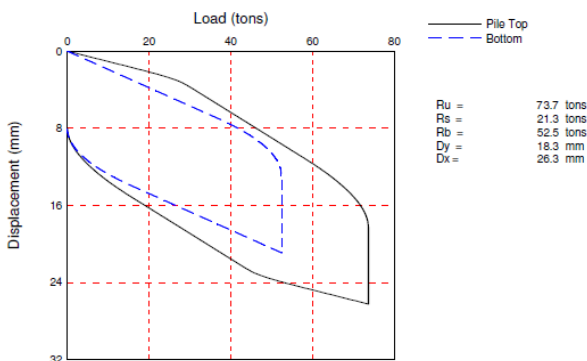
**Gráfico 01 – Ajuste de curva**

Neste gráfico temos os sinais medidos de força e velocidade, a partir destes sinais é que se chega aos valores de resistência mobilizada pela estaca.



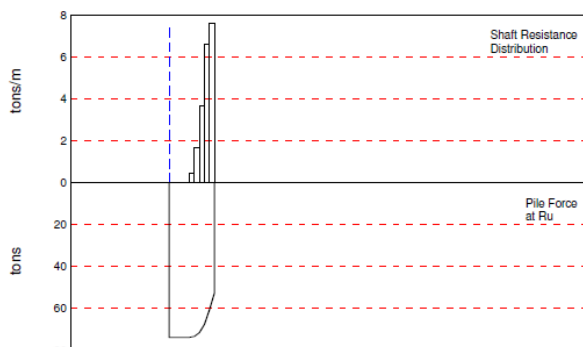
**Gráfico 02 – Sinais de Força e Velocidade**

A simulação de uma prova de carga estática analisada abaixo, indica os valores das resistências totais, laterais e de ponta, assim como seus deslocamentos.



**Gráfico 03 – Simulação de prova de carga**

Neste último gráfico, dividido em duas partes, mostra a distribuição de resistência pelo atrito lateral unitário, na parte superior, e a distribuição de resistência no solo, na parte inferior.



**Gráfico 04 – Distribuição de resistência**

## Conclusão

O Ensaio de Carregamento Dinâmico foi realizado em 05 (cinco) estacas pré moldadas no início efetivo da obra, para assegurar a capacidade de carga da fundação ensaiada, confirmando o fator de segurança definido pelo projetista.

Esse ensaio não exigiu a parada dos equipamentos ao redor da estaca que está sendo submetida ao teste, assim, causou pouco transtorno à obra e foi realizado em apenas 01 (um) dia.

Foi possível identificar, a partir desse ensaio, que a carga que essas estacas suportavam estavam acima das solicitadas em projeto.

Desta forma, foi realizada uma modificação no projeto de fundação da obra, diminuindo o comprimento das estacas e o seu diâmetro.

Essas alterações levaram a uma otimização do projeto. Diminuiu-se o prazo de execução, inicialmente de 05 (cinco) estacas por dia para 25 (vinte e cinco) estacas por dia, reduziu-se também o custo da obra, trazendo uma vantagem econômica ao empreendimento.

## Referências

- ANDREO, C. S. (1995) – “Economia na Execução de Fundações com a Monitoração Dinâmica de Estacas Pré-Fabricadas de Concreto através do PDA. “ – Trabalho de Graduação de Engenharia Civil – UNESP – Campus de Guaratinguetá.
- AOKI, N. (1997) – Determinação da capacidade de carga última de estaca cravada em ensaio de carregamento dinâmico de energia crescente – USP – São Carlos.
- Controle de Fundações Profundas através de Métodos Dinâmicos (2000) – Cláudio Gonçalves, Cristiana S. Andreo, George P. Bernardes e Silvana G. S. Fortunato.
- GONÇALVES, C.; ANDREO, C.S.; BERNARDES, G.P.; FORTUNATO, S.G.S. (2000) – Controle de Fundações Profundas através de Métodos Dinâmicos.
- GONÇALVES, C.; ANDREO, C.S.; BERNARDES, G.P.; FORTUNATO, S.G.S. (1998) – Controle da Cravação de Estacas Pré-Fabricadas de Concreto, através do Repique Elástico Aferido – Revista Solos e Rochas nº 2 – Vol. 21 – ABMS/SP.
- NBR 6122 Projeto e execução de fundações – ABNT, 2010;
- NBR 13208 – Estacas - Ensaio de Carregamento Dinâmico – Método de Ensaio. ABNT, 2007;
- NIYAMA, S. (1991) – Ensaio de Carregamento Dinâmico em Estacas – Feira da Dinâmica em Construção Civil – IPT/SP.