

Análise dos Resultados dos Ensaios de Carregamento Dinâmico, Prova de Carga Estática e de Integridade em Estacas numa Obra de Ampliação Portuária

Fábio Krueger da Silva

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fabio.krueger@ifsc.edu.br

Bruno Barbosa Alves

Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Brasil, brunob_alves@hotmail.com

Marcelo Domingos dos Santos

Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Brasil, marcelo.engenharia973@hotmail.com

Cesar Schmidt Godoi

Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Brasil, cesar.godoi@unisol.br

RESUMO: Esta pesquisa visa analisar e interpretar os ensaios de controle de qualidade das fundações profundas de uma obra de ampliação portuária no litoral de Santa Catarina. Devido a importância do empreendimento, das particularidades da obra e variabilidade do subsolo da região foram empregadas provas de carga estáticas e dinâmicas para verificação da capacidade de carga dos elementos estruturais de fundação. Para verificação de qualidade e integridade foram realizados ensaios PIT. São analisados os laudos de sondagens, os boletins de cravação, o ensaio de integridade em estaca, além de comparar os resultados obtidos entre os ensaios de carregamento dinâmico com os ensaios de prova de carga estática. A análise principal se concentra na verificação dos resultados obtidos em duas estacas de concreto com ponteira de aço onde foram executados, concomitantemente, os respectivos ensaios de prova de carga. O trabalho identifica em uma das estacas variações nos resultados das análises de capacidade de carga através dos ensaios utilizados.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de carregamento dinâmico, Provas de Cargas, Estacas.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais as obras de engenharia civil exigem atenção especial no dimensionamento dos elementos estruturais e no controle de qualidade da execução desses elementos. Em obras de fundações especiais esse cuidado é ainda maior, pois se trata da sustentação da superestrutura que envolve cargas altas e sujeitas a situações particulares.

O conhecimento e a interpretação de ferramentas que podem ajudar a criar parâmetros, como o ensaio de carregamento dinâmico, o ensaio de carregamento estático e o ensaio de integridade em estacas são de extrema importância para garantir segurança da obra e

para o melhor dimensionamento de futuros projetos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de estudo é uma obra fundações profundas executadas na cidade de Imbituba entre os anos de 2009 e 2010. A obra consiste na ampliação da extensão do cais existente, resultando num comprimento adicional de 410m por 50m de largura. Por ser uma obra de grandes dimensões com 848 estacas pré-moldadas cravadas, foram realizadas 70 sondagens SPT.

Os dados foram obtidos pelos autores mediante concessão pela empresa contratante.

As identidades da empresa concedente dos dados, da contratante do serviço, das empresas executantes das sondagens e da localização da obra analisada serão preservadas.

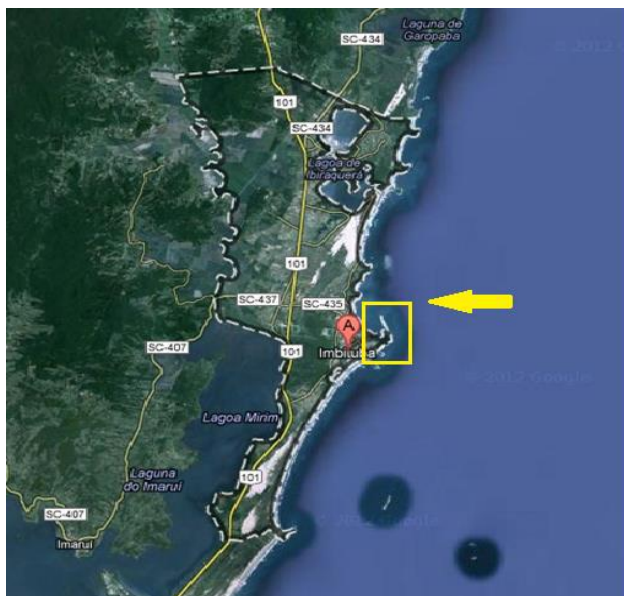


Figura 1. Localização geográfica de Imbituba.

O município de Imbituba está localizado no litoral sul de Santa Catarina, a 90 km de Florianópolis, capital do Estado e entre as coordenadas 28°14'24"S e 48°40'13"W. A cidade é caracterizada por suas instalações portuárias. "O acontecimento mais importante do ano de 1870 foi a descoberta do carvão nas vertentes do Rio Tubarão. Este fato, sem dúvida, contribui decisivamente para o progresso de Imbituba. Com o aumento da demanda por serviços portuários foi necessária a ampliação do cais do porto. Nas fotos a seguir pode-se ver a as imagens aéreas antes e após o a conclusão da obra.

Será apresentada uma descrição do perfil do subsolo obtido através dos ensaios de campo empregados, as características do elemento estrutural por estaca utilizado na obra e dos aspectos que envolvem a realização e interpretação dos ensaios de prova de carga dinâmica e estática e ensaios de integridade em estacas.

Devido ao grande quantidade estacas cravadas e dos diferentes ensaios empregados foram selecionadas duas estacas (E79 e E238) para concentração das análises e interpretação dos resultados.



Figura 2. Fotos do porto antes e após a conclusão da obra.

Nestas duas estacas foram empregados os ensaios de prova de carga dinâmica e estática, além do ensaio de integridade de maneira que as comparações dos resultados fosse a mais fiel possível e buscasse diminuir outras variáveis.

Com os relatórios de sondagens e os boletins de cravação foi possível aferir que a sondagem SP-107 abrange a área da estaca E79 enquanto a sondagem SP-611A abrange área da estaca E328. Portanto foram essas as duas sondagens analisadas para interpretação do comportamento das estacas, com atenção especial a sondagem SP-107.

2.1 Subsolo do Local

A NBR 8036/1983 determina que áreas superiores a de 2400 m² "o número de sondagens SPT deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção." A obra estudada consiste em uma área de aproximadamente 20.500 m² e foi elaborado um plano de sondagem com 4 diferentes empresas executando um total 64 furos, entre 2009 e 2010. Diante das sondagens executadas foi possível desenvolver o perfil geológico-geotécnico do subsolo da área a ser construída (Figura 3). Foram realizadas sondagens a Percussão do tipo SPT e, sondagens mistas segundo as recomendações da NBR 6484/2001.

Analisando a sondagem SP-107, verifica-se que até -10,40m de profundidade ainda não se encontra o subsolo, apenas água. A partir dessa cota verifica-se uma argila siltosa muito mole, cinza escura que vai até a cota de -14,8m. Em seguida começa uma pequena camada argilosa com fragmentos de conchas, cinza escuro, medianamente compactada que permanece até a cota de -16,70m. Chegando-se a uma areia fina a média siltosa, compactada, cinza amarelado que permanece entre as cotas de -16,70 até -20,00m. Abaixo dela detectou-se uma areia fina siltosa, compacta a muito compacta, cinza que perdura até -23,00m. Em seguida constatou-se uma areia fina a média siltosa com fragmentos de concha, compacta, cinza claro a cinza, essa por sua vez vai até a cota de -29,00. Última amostra antes da cota limitada pelo cliente, observamos uma areia fina siltosa com fragmentos de conchas, compacta a muito compacta, cinza que tem seu limite em -38,15m. A partir desse ponto a sondagem foi limitada pela contratante, com seu limite em -38,15m.

2.2 Estacas

As estacas utilizadas na obra foram fabricadas pela própria construtora responsável pela execução, um total de 848 estacas pré-fabricadas confeccionadas em concreto armado, com seção transversal circular e vazada (Figura 4), com 80cm de diâmetro externo, 50cm de diâmetro interno e 15cm de espessura de concreto, resultando em uma área de 3063,05cm².

Foi utilizado concreto com $f_{ck} = 40\text{MPa}$. As estacas apresentam ponteiros metálicos de diferentes comprimentos, a ponteira de aço tem espessura de 12,5mm e tem 80cm de diâmetro. Os diferentes comprimentos das ponteiros das estacas foram definidos de acordo com a sua locação e, respectiva, condições de subsolo. Uma imagem dos elementos por estacas utilizados na obra pode ser vista na Figura 4. Segundo o projeto e o boletim de cravação à estaca E79 (Figura 2) tem 32m de comprimento, sendo 22m de concreto armado e uma ponteira de 10m em aço de 12,5mm no mesmo diâmetro que a seção externa, 80cm. O boletim de cravação mostra que foi um total de 1343 golpes

para chegar a cota final do pé em -27,198m. Por ser uma estaca cravada no mar, a cota do terreno é -8,9m, portanto o comprimento total de cravação é 18,298m.

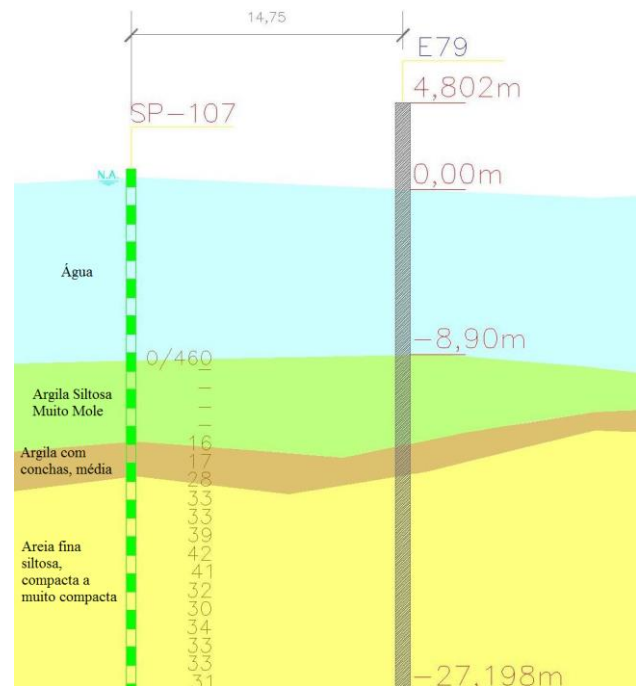


Figura 3. Perfil do subsolo e detalhe da estaca E79



Figura 4. Estaca pré-moldada com ponteira de aço (SCAC, 2014).

2.3 Ensaio de Integridade - PIT

Este ensaio se dá através de um acelerômetro de alta sensibilidade posicionado na parte superior da estaca, geralmente sendo utilizada uma cera de petróleo para sua fixação e com a utilização de um martelo de mão, são desferidos golpes sucessivos no topo da estaca. Esses golpes geram uma onda que percorre todo o comprimento da estaca (Figura 5). Quando a mesma chega a sua ponta, gera uma reflexão que se desloca novamente ao topo. Qualquer variação nas

características do material geram reflexões na onda (KORMANN,2002). Para que o ensaio seja realizado de forma correta é imprescindível que a estaca tenha uma área de seção que permita a colocação do sensor, a aplicação dos golpes e a propagação da onda. Quando as estacas apresentarem variações de impedância ao longo do fuste, o ensaio será dificultado, pois as reflexões secundárias provocadas pela primeira grande variação de área de seção que a onda encontrar pode tornar confuso o diagnóstico da estaca. Sendo assim é de extrema necessidade um preparo prévio da estaca. Pois assim todo o concreto de má qualidade existente no topo pode ser eliminado. Para isso é preciso criar uma superfície plana e lisa com uma lixadeira com o topo da estaca acessível e seco (PDI, 2014).

Segundo Gonçalves et al. (2000), através do formato do sinal da velocidade obtido através do sinal, faz-se a verificação de integridade e qualidade da estaca. Através destes acelerômetros obtém-se um sinal que é digitalizado por um microcomputador e em seguida integrado, com esses dados é possível obter a velocidade que a onda percorre a estaca.



Figura 5. Detalhe do ensaio PIT (Hussein e Likins 2005)

Conforme citam Gonçalves, et al. (2000), através do formato do sinal da velocidade obtido através do sinal, faz-se a verificação de integridade e qualidade da estaca. Através destes acelerômetros obtém-se um sinal que é digitalizado por um microcomputador e em seguida integrado, com esses dados é possível obter a velocidade que a onda percorre a estaca. Ao obter o conhecimento sobre a velocidade de propagação da onda e o tempo transcorrido

entre a aplicação do golpe e a chegada da reflexão pode-se determinar, por exemplo, a eventual localização de um dano através da interpretação do tempo de reflexão e qualidade do sinal. Um segundo dano abaixo do primeiro pode ser não ser identificado. O ensaio também pode ser usado para confirmação do comprimento das estacas.

2.4 Ensaio de carregamento dinâmico - PDA

O ensaio de carregamento dinâmico (PDA) consiste na aplicação de um carregamento dinâmico axial à estaca para a estimativa da capacidade de carga, além de outras informações, através da teoria da equação de onda aplicada durante o processo de cravação da estaca com base no modelo matemático idealizado por Smith, 1960. Mesmo tendo como seu principal objetivo a obtenção da resistência mobilizada do sistema estaca-solo no momento da cravação, podem-se obter outras informações como, por exemplo, a integridade e as tensões máximas na estaca e desempenho do martelo do bate-estaca (GONÇALVES, 2010).

O tempo e custo da realização de um ensaio de carregamento dinâmico são menores quando comparada a uma prova de carga estática. Diante disso, muitos países utilizam ensaios dinâmicos, dentre eles o Brasil, Alemanha, Canadá, Itália, Israel, China e Egito.

Pode-se medir a velocidade integrando o sinal analisado pelos acelerômetros (NBR 13208, 2007). Utiliza-se no mínimo quatro transdutores na mesma seção transversal, aos pares e localizados a 2 vezes o diâmetro da estaca da cabeça da estaca, suas posições devem ser diametralmente opostas em relação ao eixo, para conseguir detectar e compensar os efeitos causados por sua excentricidade do impacto, e a uma distância mínima de um diâmetro e meio do topo da estaca. A figura 6 apresenta os equipamentos necessários para a execução do ensaio. Liga-se o computador aos transdutores de deformação e acelerômetros instalados na estaca. Como este ensaio é fundamentado na teoria da propagação de onda em um determinado meio, estes sensores analisam a propagação de ondas que ocorre durante a

aplicação da energia de cravação (golpe do martelo) na cabeça da estaca.

Os dados coletados são transferidos ao sistema que os transcodifica e os processa, convertendo os sinais medidos em força e velocidade médias. Segundo a NBR 13208/2007 (ABNT, 2007) têm-se as seguintes metodologias para análise dos dados: o método simplificado do tipo CASE e a análise numérica do tipo CAPWAP que são utilizados para o registro e processamento dos sinais, os principais resultados do ensaio constam da verificação da capacidade de carga e da integridade estrutural. Os dois métodos CASE e CAPWAP não serão discutidos neste artigo maiores informações podem ser encontrados em Beim (2009) e Gonçalves et al. 2000.

2.4 Ensaio de carregamento estático

Esse ensaio baseia-se na relação de tensão x deformação do solo que receberá as solicitações, pode ser realizado em uma estaca da obra ou em uma estaca feita especialmente para o teste. Esse ensaio vem sendo estudado e adaptado para que possa ser realizado cada vez mais rápido e econômico (GUIMARÃES, 2008).

O ensaio é utilizado para a determinação das características do sistema estaca-solo e apresenta um custo relativamente alto, porém simula as condições reais de comportamento da estaca no solo. (COELHO, 2010). A NBR 6122/2010 – Projeto e execução de fundações recomenda a realização desse ensaio em pelo menos 1% dos elementos de fundações, respeitando-se o mínimo de uma estaca ensaiada na obra.

Neste ensaio aplicam-se cargas preestabelecidas na parte superior da estaca, em movimentos sucessivos e iguais, conhecido como estágio de carga. Monitoram-se os recalques da cabeça da estaca até seu rompimento ou o atingimento da carga máxima programada (CINTRA et al., 2013). Basicamente têm-se dois objetivos: avaliar a capacidade de carga pré-estabelecida em projeto; prever o comportamento tensão x deformação em casos onde não se atinja a ruptura do sistema elemento estrutural-solo. No que se refere a aplicação de estágios de carga

controlada, destaca-se dois tipos de incremento de cargas. Os incrementos de cargas são conservados até a estabilização do recalque (ensaio lento – SML: slow maintained load). Já no ensaio rápido, (QML: quick maintained load) os incrementos são mantidos por um período pré-determinado, geralmente 15 minutos. O ensaio lento é o que mais se aproxima do carregamento real ao qual a estaca será submetida. (GUIMARÃES, 2008).

Para a aplicação da carga, a NBR 12131/1992 (ABNT, 1992) orienta que o dispositivo deve conter um ou mais macacos hidráulicos, manuais ou movidos através de bombas elétricas, onde atuará contra um sistema de reação estável, geralmente constituído por uma viga ou estrutura metálica. A estaca ensaiada deve ser carregada até o seu rompimento, ou no mínimo, até duas vezes o carregamento previsto em projeto. O detalhe da montagem e execução do ensaio é mostrado nas Figuras 6 e 7.

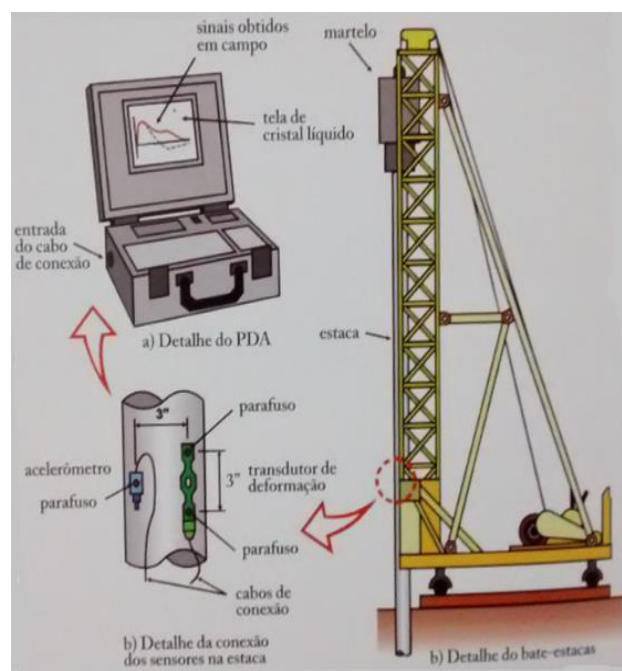


Figura 6. Esquema de realização do ensaio PDA (PDI, 2014).

A fim de evitar as influências indesejáveis na montagem da prova de carga, devem-se tomar alguns cuidados, por exemplo: centralizar e alinhar as células de carga e os macacos hidráulicos, monitorar o tempo de cura de elementos de concreto moldados “in loco”, exceder a capacidade de carga do sistema em

relação a carga máxima prevista, conferir a distância mínima dos tirantes ou estacas de reação em relação ao elemento a ensaiar.

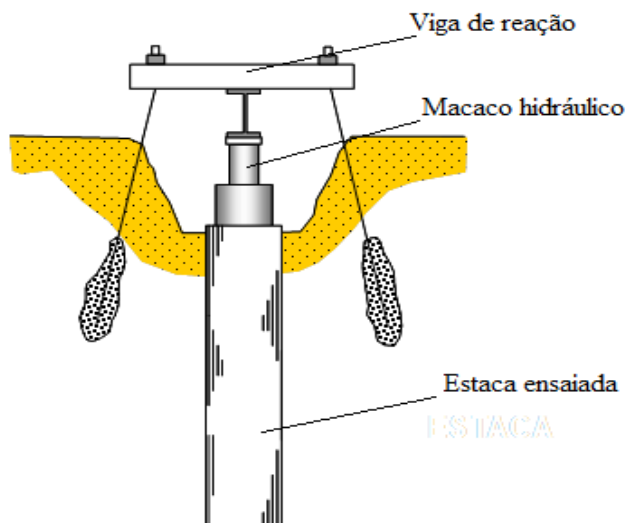


Figura 7. Esquema de realização do ensaio de carga estática.

Deve-se dar um intervalo mínimo entre a instalação de estacas pré-moldadas cravadas e o início do ensaio para que se possa atingir a resistência compatível com as solicitações da prova de carga. Outro item importante e que necessita de atenção extra é a ancoragem e calibração antecedente de todo o sistema de referência, a fim de medir com exatidão os recalques através dos defletômetros ou extensômetros mecânicos. Geralmente coloca-se uma célula de carga entre o macaco e o sistema de reação para evitar dúvidas em relação a calibração do macaco hidráulico. Porém um pequeno desalinhamento na instalação da prova de carga pode acarretar em um acréscimo vultoso de atrito no macaco, por isso aconselha-se utilizar entre a célula de carga e o sistema de reação uma rótula (GUIMARÃES, 2008).

3 RESULTADOS OBTIDOS

Foram realizados 34 ensaios de carregamento dinâmico com energia crescente utilizando o aparelho PDA. Dentre estes, se concentra os estudos em duas estacas que receberam o maior número de ensaios, sendo as estacas E79 e a E328. Essas estacas tinham os mesmos comprimentos totais, porém, havia variação no comprimento da ponteira de aço e na

profundidade cravada no solo. A tabela abaixo resume estes dados.

Tabela 1. Características das estacas

Estaca	Total	Comprimento (m)			
		Abaixo do sensor	Ponteira	Crava do solo	Velocidade de onda
E79	32	29,5	10	19,25	3800
E328	32	29,5	2	15,18	4300

Para leituras dos valores de deslocamento e de força no topo da estaca, utilizaram-se acelerômetros e transdutores de deformação específica que registram as variações das propagações de onda na estaca. Utilizou-se inicialmente o método CASE para analisar os dados obtidos, essas análises foram feitas ainda em campo, o procedimento foi realizado em todas as verificações. Visto que essa metodologia permite a avaliação imediata da resistência estática para uma estaca submetida ao impacto dinâmico, por meio das medições da velocidade e da força. Os valores de capacidade de carga determinados nas análises CAPWAP das estacas correlacionam-se com o resultado obtido pelo método simplificado CASE. O ensaio na estaca E79 foi realizado 7 dias após a cravação enquanto que o ensaio da estaca E328 foi realizado logo após a cravação. Os valores de capacidade de carga mobilizada nos sucessivos golpes recebem a denominação de RMX. Estes valores foram determinados pelo Método Case com base no fator de amortecimento “J” que permite a correlação com os resultados da análise CAPWAP considerada. Na tabela 2, são mostrados os valores de capacidade de carga determinados (RMX) correlacionados com os valores da penetração da estaca no solo, do deslocamento permanente medido (“nega”), do deslocamento total vertical máximo (DMX) e energia efetivamente transferida (EMX).

Tabela 2. Resumo da capacidade mobilizada

Estaca	Nº de golpe	Nega (mm/golpe)	DMX (mm)	Energia RMX (tf.m)	Capacidade mobilizada (tf)
E79	53	1,0	13,44	4,65	738,00
E328	38	7,9	22,58	11,90	590,00

As análises CAPWAP permitem verificar que as máximas cargas máximas foram mobilizadas no golpe 53 e 38, respectivamente estacas E79 e E328. Com base na interpretação de energia aplicada e deformações obtidas é possível distinguir as cargas mobilizadas no atrito lateral e ponta, bem como estimar as máximas deformações do solo (quake). A tabela 3 apresenta o resumo destas informações.

Tabela 3 Resultados das análises CAPWAP

Estaca	Cap. CAP WAP (tf)	Resis.. por atrito lateral (%)	Resis. por ponta (%)	Quake lateral Máx. (mm)	Quake de Ponta (mm)
E79	738	697-94	41-6	2,08	1,74
E328	590	335-57	254-53	1,25	13,6

Foi realizado na obra um total de três ensaios de carregamento estático. Sendo escolhidos os dois realizados nas estacas E79 e E328. A montagem do sistema de reação contou com a utilização de quatro estacas laterais que serviram de reação. De acordo com a NBR 12131 estas estacas estavam localizadas numa distância superior a três diâmetros da estaca ensaiada. Todo o sistema foi protegido para evitar que as intempéries afetassem as leituras. Foi realizada a prova de carga estática rápida que consiste em estágios de duração padronizada, sem a necessidade de aguardar a estabilização dos recalques. A carga foi aplicada por macaco hidráulico que apresentava as dimensões de curso de 157 mm e faixa nominal de 600 toneladas força (tf), devidamente certificados pelo “Instituto de Pesquisas Tecnológicas” (IPT). Onde esses reagiram contra uma treliça metálica ancorada por barras chumbadas em 4 estacas adjacentes. Para estas provas de carga, foram instalados 4 deflectômetros com curso de 50 mm em pontos opostos do bloco de coroamento. Estes deflectômetros permitem a leitura direta de 0,01mm.

Na E79 na aplicação dos sucessivos estágios de carregamentos quando se buscou atingir a carga de 517tf a estaca começou a recalcar sem aumentar a reação e só estabilizou quando aplicou-se uma carga de 410tf. No dia seguinte iniciou-se uma nova prova de carga e novamente, quando se atingiu uma carga de 428tf a estaca começou a recalcar e só

estabilizou com uma carga de 374tf. A seguir são apresentadas as duas curvas cargas x recalques obtidas para E79.

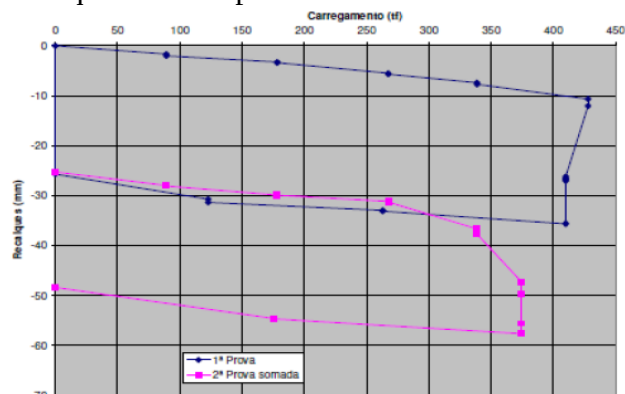


Figura 8. Curva carga x recalque E79

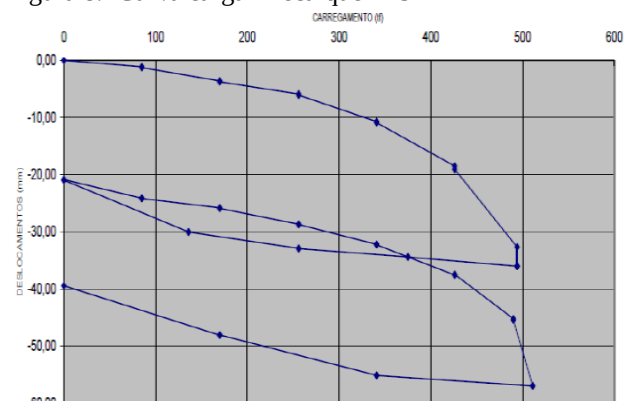


Figura 9. Curva carga x recalque E328

Na E328 também na aplicação do primeiro ciclo de carga a estaca começou a recalcar com uma carga máxima de 494tf. Numa segunda fase de carregamento foi atingida uma carga de 511tf quando a estaca tornou a recalcar, atingindo um recalque de 57mm. As respectivas curvas cargas x recalques são mostradas na Figura 9.

Foram realizados 9 ensaios de integridade PIT nas estacas da obra. Contudo, no par de estacas que está sendo analisado somente foi realizado o PIT na estaca E79. Os resultados de PIT na estaca E79 registraram uma velocidade de 4270 m/s. Na Figura 9 pode verificar o resultado obtido na E79. O sinal de velocidade é representado por uma linha contínua, e o de força (quando existente) por uma linha tracejada.

O diagrama em negrito abaixo do gráfico representa o comprimento da estaca. O gráfico exponencial acima do mesmo representa a magnificação utilizada (amplificação exponencial), que atinge seu valor máximo na

região onde se localiza a reflexão da ponta da estaca. À direita do diagrama acima descrito podem ser vistos os valores da amplificação máxima, da relação entre o comprimento da estaca e seu diâmetro real (L/D), do comprimento entre o acelerômetro e a ponta e da velocidade de onda adotada. Sobre a interpretação dos resultados devem se tomar cuidados com os registros de leitura do sinal. Problemas com ajuste na velocidade da onda e início da medição podem acarretar em eventuais indicações de anomalia. No caso, da E79 foi o ensaio PIT permitiu atestar a qualidade e integridade da estaca.

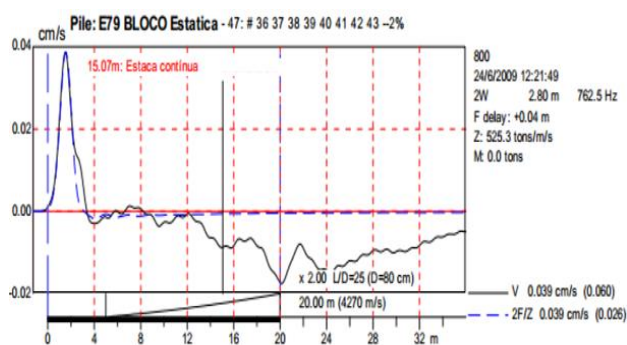


Figura 10. Resultado do Ensaio PIT – E79

4 CONCLUSÕES

No que se refere a capacidade de carga obtida nos ensaios com carga a prevista em projeto pode verificar que as estacas atenderam as especificações. A carga de projeto nas estacas era de 350ton. Na tabela 4 são plotados os resultados obtidos.

Tabela 4 – Comparação de carga mobilizada pelas provas de carga.

Estaca	Carga de projeto (tf)	Ensaio PDA (tf)	Ensaio estático (tf)
E79	350	738	428
E328	350	590	511

Através das análises dos 2 ensaios de carregamento dinâmicos realizados nas estacas E79 e E328, pode-se compará-las com as provas de cargas estática realizadas nas mesmas estacas. Apesar da importância indiscutível do ensaio de carregamento dinâmico, observou-se uma variação nos resultados entre os dois ensaios.

Analizando a tabela 2 e comparando com a curva carga x recalque da E79 (figura 8) fica evidente na prova de carga estática que a após atingir 400tf a os recalques se acentuam. Uma das possibilidades levantadas para o fato é a característica da estaca, que possui 10m de ponteira de aço, a cravação (recalque) pode ser maior pela facilidade de perfurar o solo. Considerando que a ponta da estaca não encontrou a rocha e sim areia fina siltosa compacta, com $N_{spt}=32$, reforça o argumento. A estaca E328 apresentou resultados mais próximos entre as duas provas de cargas (Figura 9), mesmo com deslocamento acumulado de 57mm a carga desejada de 511tf foi alcançada na prova de carga estática e obtido um valor próximo na carga dinâmica. Atribui-se ao fato que a estaca tem uma ponteira de 2m o que também pode ter contribuído para a evolução do recalque. E a situação da estaca também não estar apoiada na rocha e sim em areia fina pouco siltosa muito compacta a compacta.

Mediante aos fatos apresentados, pode-se observar que, para a situação estudada os ensaios de carregamento dinâmicos trouxeram resultados mais elevados com uma capacidade de carga superior às medidas nos ensaios estáticos.

No que se refere a capacidade de carga obtida pelos ensaios e os valores previstos em projeto pode verificar que as estacas atenderam as especificações. A carga de projeto nas estacas era de 350tf e as provas de cargas indicaram valores superiores aos previstos. Porém, ocorreram variações expressivas entre as medidas dos ensaios dinâmicos e estáticos. Essa diferença de resultados chegou a 72% na estaca E79 e a 15% da estaca E328. No entanto a prova de carga estática confirmou a capacidade de carga superior ao carregamento de trabalho exigido em projeto.

Outra hipótese levantada para grande diferença de carga obtida pelos ensaios está relaciona aos aspectos executivos. Nota-se que o ensaio PDA foi conduzido na E79, 7 dias após sua cravação, enquanto na E328, o ensaio foi realizado logo após sua execução. Talvez estes fatos pudessem explicar a grande diferença de resultados entre estas duas estacas. Cita-se que pode ter ocorrido um caso de “falsa” nega na

E328 e, ainda deve-se considerar uma eventual consolidação da camada argilosa que aconteceu nos 7 dias após a cravação da E79. Mesmo que não possam ser comprovadas estas hipóteses, estes aspectos precisam ser considerados.

Ainda que as duas estacas submetidas ao ensaio de carregamento estático e analisadas nesta pesquisa não tenham atingido a carga mínima prevista pela norma, particularmente a E79, acredita-se que, pelo amparo fornecido pelas informações de carga do PDA e, do resultado de outro carregamento estático realizado em estaca adjacente, que obteve o F.S previsto em norma, foi possível a aceitação das estacas.

Finalmente, entende-se que mesmo com o custo elevado dos ensaios estáticos e, resultados de capacidade de carga inferiores aos obtidos nas provas de cargas dinâmicas, a execução de diferentes métodos para verificação da qualidade das estacas é interessante porque promovem um refinamento das informações através da comparação dos resultados. Com a elaboração desta pesquisa foi possível aferir sobre a importância dos ensaios de controle em obras de fundações, principalmente em obras *offshore*, onde condições particulares de carregamento e de subsolo ampliam as dificuldades de previsão de capacidade de carga dos elementos estruturais.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6484 (2001): Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6122 (2010): Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 8036 (1983): Programação de sondagens de simples de reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 12131 (1992): Estacas – Prova de Carga Estática. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 13208 (2007): Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico. Rio de Janeiro.
- Beim, J. W. A. (2009). Aplicação da Equação da Onda na análise da cravação e ensaio de fundações: passado, presente e futuro. *Engenharia de Fundações: Passado recente e perspectivas – Homenagem ao*

- Prof. Nelson Aoki*, Rio de Janeiro, novembro de 2009.
- Cintra, J. C. A., Aoki, N., Tsuha, C.H.C., Giacheti, H.L., (2013). *Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos*. 1ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Coelho, R. F.(2010). Ensaio de carregamento dinâmico – Estudo de caso: Avaliação da capacidade de carga da fundação da obra Delfin Fármacos e Derivados Ltda. 2010. 34 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia. Universidade Católica de Salvador. Salvador.
- Gonçalves, C., Andreo, C. S., Bernades, G. P., Fortunato, S. G. S. (2000). *Controle de Fundações Profundas Através de Métodos Dinâmicos*. 1. ed. São Paulo.
- Gonçalves, C. (2010). *Estacas Pré-Fabricadas de Concreto – Teoria e Prática*. 1 ed. PINI, 616 p.
- Guimaraes, G. V. M. ; Danziger, F. A. B. ; Dos Santos, A. P. R. . *O Dimensionamento de Estacas Curtas Carregadas Transversalmente Utilizando os Parâmetros Obtidos Através do Dilatômetro*. 2008.
- Hachich, W. et al. (1996). *Fundações: Teoria e Prática*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1996.
- Kormann, A. C. M. (2002). Ensaio de Integridade de Estacas (PIT) – Conceitos Básicos. *Workshop Controle de Qualidade de Fundações através de Provas de Carga Dinâmicas e Verificação de Integridade Estrutural*, Sinduscon-SP e ABMS. São Paulo.
- PDI. (2014). *Provas Dinâmicas e Instrumentação Engenharia Ltda - PDI Engenharia*. Disponível em <http://pdi.com.br/>. Acessado em 20/08/2014
- SCAC. (2014). *Catálogo de estacas de concreto centrifugadas*. Disponível em <http://scac.com.br/>. Acessado em 17/09/2014
- Smith, E. A. L. (1960). Pile Driving Analysis by the Wave Equation. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, N.SM4, august – Vol. 86, p. 35-61.