



Análise de Provas de Carga Estática de Estacas do Complexo Industrial e Portuário de Suape, Ipojuca-PE.

Autor: Guilherme de Luca Campos

Universidade de Pernambuco e IFPE, Pernambuco, Brasil, ecti.engenharia@gmail.com

Co-autor: Alexandre Duarte Gusmão

Universidade de Pernambuco e IFPE, Pernambuco, Brasil, gusmao.alex@ig.com.br

RESUMO: O Complexo Industrial e Portuário de Suape, Ipojuca-PE, é um dos mais importantes polos de desenvolvimento econômico na Região. No entanto, ainda há pouca informação geotécnica divulgada que possa servir de subsídio a novos projetos. Esse artigo apresenta os resultados de várias provas de carga de estacas tipo hélice contínua. O objetivo do trabalho é avaliar os métodos de extrapolação de provas de carga estática em estacas, e verificar a acurácia dos métodos semi-empíricos. Foi calculada a carga de ruptura das estacas e uma comparação entre os valores obtidos pelos métodos de Aoki-Velloso (1991) e Décourt (1996). Os resultados mostraram que há uma dispersão da carga de ruptura extrapolada. Quando a carga de ruptura na prova de carga foi feita com o método de Van der Veen (1953), apresentou-se uma melhor acurácia. Ainda assim, observou-se que os métodos semi-empíricos foram conservadores nas suas previsões de capacidade de carga.

PALAVRAS-CHAVE: Prova de Carga estática, Carga de Ruptura, Análise da curva carga x recalque.

1 INTRODUÇÃO

Locomotiva do desenvolvimento de Pernambuco, o Complexo Industrial e Portuário de Suape, localizado no município de Ipojuca, foi considerado um dos principais polos de investimentos do país. O porto apresenta uma moderna estrutura de logística. Sua localização estratégica em relação às principais rotas marítimas de navegação o mantém conectado a mais de 160 portos em todos os continentes, com linhas diretas da Europa, América do Norte e África. A movimentação portuária cresce em ritmo acelerado, e consolida Suape como um porto concentrador e distribuidor de cargas.

A sua concepção de porto-indústria oferecem condições ideais para a instalação de empreendimentos nos mais diversos segmentos. Suape conta com uma infraestrutura terrestre

própria, em permanente desenvolvimento e modernização, com ferrovias e rodovias. Já são cerca de 100 empresas em operação, responsáveis por mais de 40 mil empregos diretos.

Há muitas obras com fundações profundas onde predomina o uso de estacas hélice contínua na região. Também são usadas estacas raiz, metálicas e pré-moldadas. Na maior parte dos casos, o dimensionamento das estacas é feito com base em sondagens de reconhecimento a percussão, e a capacidade de carga é estimada a partir de métodos semi-empíricos consagrados na prática brasileira.

Este artigo tem o objetivo avaliar os resultados de provas de carga estática realizados em estacas hélice contínua de um grande empreendimento localizado em Suape. São comparados os valores de capacidade de carga



obtidos por diferentes métodos de extrapolação da curva carga-recalque das provas de carga. Também são apresentadas comparações entre os valores obtidos nas provas de carga, com os previstos a partir de métodos semi-empíricos.

2 PROVA DE CARGA ESTÁTICA

Dentre os ensaios de campo utilizados na engenharia para se aferir o desempenho de estacas, destaca-se a prova de carga estática como uma das mais importantes. As provas de carga destacam-se por garantir o desempenho dos elementos de fundação, conforme previsto em projeto (Melo, 2009).

Uma prova de carga consiste em aplicar esforços estáticos crescentes a estaca e registrar os deslocamentos verticais correspondentes. Os esforços aplicados podem ser axiais (tração ou compressão), ou transversais (ABNT NBR 12131, 2006). A Figura 1 apresenta graficamente o principal resultado obtido em uma prova de carga estática.

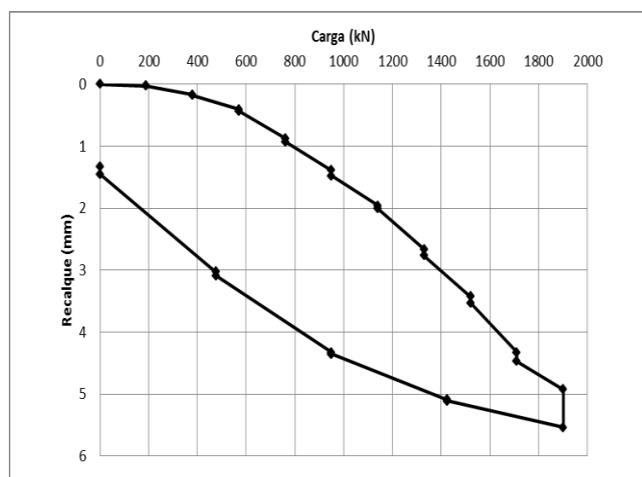


Figura 1. Prova de Carga Estática.

Além de ser utilizada para verificação de desempenho do elemento estrutural de fundação e do terreno quanto a ruptura e recalques, a prova de carga estática é realizada também para fins de controle de qualidade, estudos, pesquisas e projetos.

Diversas montagens para o sistema de reação são possíveis. Geralmente usa-se uma viga metálica de reação fixada ao solo por meio de tirantes. O carregamento deve atingir o dobro da carga admissível de projeto ou de trabalho provável, caso não ocorra ruptura durante o ensaio. A Norma recomenda que sejam feitos no mínimo 10 estágios de carregamento, com incrementos iguais a 10% da carga máxima do ensaio. Essa metodologia caracteriza o chamado ensaio de prova de carga lento (SML – slow maintained load test). O prazo mínimo para realização do ensaio é de 18 horas, prolongando-se muitas vezes a 24 horas ou mais. Este é o procedimento mais antigo e convencional utilizado no Brasil.

Uma grande vantagem da prova de carga estática é que se trata de um ensaio onde se simula o complexo comportamento do conjunto solo-fundação, que é influenciado por muitos aspectos, tais como a modificação provocada no solo pelos trabalhos de infraestrutura da obra e pela própria execução das fundações, além das incertezas decorrentes das dificuldades executivas das fundações. Como pontos negativos pode-se destacar o alto custo e a demanda de tempo para execução do ensaio, que podem prejudicar cronograma executivo de empreendimentos se não estiverem definidos previamente nas etapas de planejamento da obra.

3 EXTRAPOLAÇÃO DA CURVA CARGA-RECALQUE

A prova de carga é o mais representativo dos ensaios para obtenção da capacidade de carga de uma estaca. No entanto, muitas vezes ao final do ensaio não é mobilizada a máxima resistência do sistema solo-estaca. Nessa situação, para obtê-la é necessária fazer uma extrapolação da curva carga-recalque.

Segundo Melo (2009), existe uma lista vasta e variada na bibliografia de métodos para determinar a carga de ruptura através da



interpretação da curva carga-recalque. Por este motivo, é indispensável em qualquer caso que se faça a referência do método utilizado, já que a análise de uma curva carga-recalque oferece valores diferentes em cada procedimento.

É evidente que a condição ideal é levar qualquer prova de carga, independente do tipo ou suas características, até a ruptura ou até a ocorrência de grandes recalques. Quanto mais próximo da ruptura, melhores ou mais confiáveis serão os resultados.

Neste trabalho são usados o Método da Rigidez de Décourt (1996), Método de Chin-Kondner (1970), Método de Davisson (1972), Método da NBR-6122 (2010), Método de Brinch-Hansen 80% (1963), Método de Beer (1968), Método Van de Veen (1953), Método Mazurkiewicz (1972), Método Bluter & Roy (1977) e Método de Terzaghi (1939).

É importante registrar que os métodos apresentados trabalham com simulação de extrapolação logarítmica e linear da curva carga-recalque, ou do gráfico pertencente a cada método. Na prática, esta extrapolação pode ser diferenciada tanto para resultados positivos quanto para resultados negativos. A experiência, utilização de vários métodos e análise estatística são importantes para a tomada de decisão quanto à previsão de carga de ruptura da estaca.

3.1 Método de Rigidez

O método proposto por Décourt em 1996 é denominado como Método da Rigidez. Em cada estágio de carregamento, calcula-se a rigidez da estaca, que é a relação entre a carga aplicada no topo da estaca e o respectivo recalque. Com estes valores, pode-se elaborar gráfico no qual a abscissa representa a carga aplicada e a ordenada é representada pela rigidez. A ruptura da estaca seria caracterizada por uma rigidez nula..

A representação matemática do ensaio é feita através da Equação 1:

$$Rig = \frac{P_0}{Y_0} = C_2 + C_1 \cdot P_0 \quad (1)$$

Onde:

Rig = Rigidez;

P_0 = Carga Aplicada [F];

Y_0 = Recalque na carga aplicada [L];

C_1 = Inclinação da linha reta;

C_2 = Intersecção com o eixo Y.

O método da rigidez considera que, a partir do gráfico da rigidez, é possível estimar a carga de ruptura física através da extrapolação linear ou logarítmica da curva. O ponto da curva correspondente à rigidez nula ($Q=0$) representa a carga de ruptura da referida base ou estaca analisada.

O conceito de rigidez apresentado por Décourt (1996) conduz a resultados da carga limite através do gráfico de rigidez, que permite a visualização de tendência de ruptura, identificando o domínio de transferência de carga pela ponta e o domínio de transferência pelo atrito lateral (Décourt, 2008). Estas informações são obtidas através de uma reta entre o ponto de regressão escolhido e a carga de ruptura convencional (Q_{uc}). A intercepção desta reta com o eixo das abscissas indica o limite inferior do domínio do atrito lateral (Q_{sl}), como apresentado na figura 3.

Analisando os dados de carga e recalque em ordem decrescente, pode-se identificar pelo R^2 uma alteração no comportamento da curva carga vs recalque, que indica o ponto de regressão a ser adotado. Na maior parte das vezes este ponto está em torno de um recalque correspondente a 2% do diâmetro da estaca.

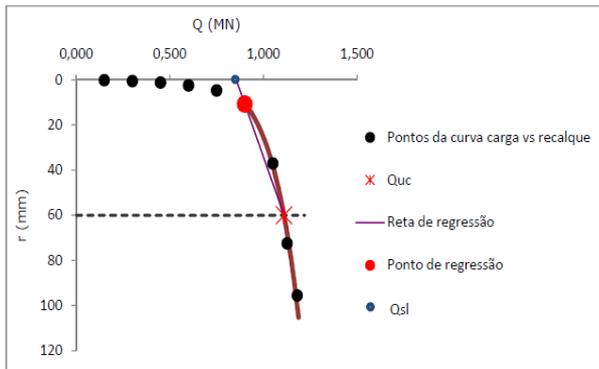


Figura 3. Curva carga vs recalque.

A carga de ruptura convencional é determinada através da equação da curva carga-recalque e corresponde a carga relativa a um recalque de 10% do diâmetro.

$$Q_{uc} = 10 \log\left(\frac{\phi}{10}\right)^{b-a} \quad (3)$$

Em que:

ϕ – Diâmetro (mm);

a – Previsão da curva (Log Q VS Log r) no ponto de regressão;

b – Inclinação da curva (Log Q VS Log r) no ponto de regressão.

Segundo Melo (2009), quanto menor for a rigidez no ensaio, mais precisa será a estimativa da carga de ruptura através do método proposto por Décourt (1996).

3.2 Método de Van Der Veen

O método proposto por Van der Veen em 1953, é provavelmente o mais utilizado no Brasil. Determina-se a carga de ruptura última por tentativas. Partindo de um valor de carga Q_u qualquer adotado, calculam-se os valores correspondentes de $\ln(1-Q/Q_u)$. Estes valores são plotados em um gráfico em função do recalque "s". Várias tentativas são feitas com outros valores de Q_u . Quando resultar um gráfico reto, o valor adotado de Q_u que o originou, corresponde à carga de ruptura. A

Equação 4 representa a relação entre a carga e o deslocamento no topo de forma exponencial:

$$Q = Q_{ult} \cdot (1 - e^{-\alpha \cdot r}) \quad (4)$$

Onde:

Q = Carga aplicada no topo da Estaca [F];

Q_{ult} = Carga de Ruptura [F]

α = Coeficiente da forma da curva;

r = Recalque correspondente à carga [L]

Após algumas transformações e aplicando as propriedades logarítmicas, tem-se:

$$-\ln\left(1 - \frac{Q}{Q_{ult}}\right) = \alpha \cdot r \quad (5)$$

O Professor Nelson Aoki sugeriu a alteração da fórmula acima adicionando coeficiente linear, resultando na equação a seguir utilizada no método:

$$-\ln\left(1 - \frac{Q}{Q_{ult}}\right) = \alpha \cdot r + \beta \quad (6)$$

Sendo assim, analisa-se o melhor coeficiente de correlação r^2 obtido no gráfico [$\ln(1-Q/Q_u)$ x s], obtendo-se a carga de ruptura estimada. A Figura 4 ilustra a aplicação do método.

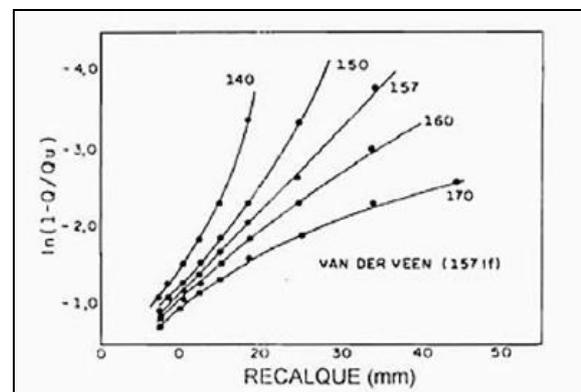


Figura 4. Método Van der Veen.

Para a estimativa das parcelas de resistência lateral e de ponta a partir do método de



extrapolação de Van der Veen (1953), podem ser usadas as propostas de Décourt (2008) e Melo et al. (2012), que consideram que a resistência lateral é totalmente mobilizada para um recalque igual a 1 ou 2% do diâmetro da estaca. Através da diferença entre a carga ruptura final extrapolada e a resistência lateral, tem-se a resistência de ponta da estaca.

4 PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS ATRAVÉS DE MÉTODOS SEMI-EMPIRÍCOS

Diante as dificuldades de aplicação dos métodos puramente teóricos e dos puramente empíricos, a engenharia de fundações recorre frequentemente ao uso de métodos intermediários, ou seja, os chamados métodos semi-empíricos. Alguns autores também denominam esta metodologia de “fórmulas estáticas” devido ao fato de se basearem na análise do equilíbrio de forças (teoria estática) em paralelo às chamadas “fórmulas dinâmicas”.

Segundo Cintra et al. (2010), Uma vez que as fórmulas teóricas geralmente não são confiáveis na previsão de capacidade de carga de fundações por estacas, muitos autores têm proposto métodos baseados em correlações empíricas com resultados de ensaio *in situ* e ajustados com provas de carga. É importante lembrar a necessidade de ajuste dos coeficientes destes métodos para caracterizar solo na região avaliada.

5 CARACTERIZAÇÃO DO COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO SUAPE

A maior parte do complexo de Suape está situada na Formação Ipojuca/Suape, que é composta de rochas vulcânicas de idade cretácea (85 a 100 m.a.), cujos principais tipos petrográficos são: andesitos, basaltos, riolitos, traquitos e aglomerados vulcânicos, ocorrendo sob a forma de derrames, diques e *sills*.

A região do empreendimento analisado é formada parte por áreas com substrato arenoso / areno-argiloso, nível de lençol freático em torno de 5 m de profundidade, e solo com boa capacidade de carga e susceptível a erosão. Outro trecho é composto de áreas com substrato predominantemente argiloso de origem vulcânica, também com boa capacidade de carga (Pfaltzgraff, 1999).

O empreendimento deste estudo foi localizado e referenciado a partir do modelo matemático topográfico Datum Horizontal SAD 69. Todos os ensaios e sondagens utilizados encontram-se entre as coordenadas:

- 1 –E: 276.413,250 m ; N: 9.074.435,183 m,
- 2 – E: 276.478,876 m ; N: 9.071.890,108 m,
- 3 –E: 277.927,492 m ; N: 9.072.003,284 m,
- 4 – E: 278.894,569 m ; N: 9.072.959,141 m,
- 5 – E: 278.826,166 m ; N: 9.074.208,868 m.

6 METODOLOGIA

Para a pesquisa foram coletados os dados de 34 provas de carga estática em estaca hélice contínua executados em todo o empreendimento. A Tabela 1 apresenta um resumo dos ensaios em função do seu recalque máximo medido.

Tabela 1. Características das Provas de Carga Estática

Relação recalque máximo por diâmetro da estaca (%)	Frequência absoluta	Frequência relativa (%)	Frequência absoluta acumulada	Frequência relativa acumulada (%)
0 a 0,99	24	71%	24	71%
1,0 a 1,99	9	26%	33	97%
2 a 2,99	1	3%	34	100%
Acima de 3%	0	0%	34	100%
TOTAL	34	100%		

Diante análise dos valores obtidos, observa-se que:



- 71% dos ensaios tiveram recalques iguais ou menores que 1% do diâmetro da estaca. Várias pesquisas têm mostrado nesses casos os métodos de extrapolação não são aplicáveis (AMANN (2010); ALONSO (1991); MELO (2009)). Como consequência, o universo de ensaios foi drasticamente reduzido;

- Nenhum ensaio atingiu recalque superior a 3% do diâmetro.

Foram, então, selecionados apenas os ensaios em que o recalque foi superior a 1% do diâmetro da estaca, ou seja, os ensaios com maiores recalques. A Tabela 2 apresenta um resumo dos 10 ensaios selecionados.

A metodologia da pesquisa consistiu das seguintes etapas:

- Cálculo e comparação da carga de ruptura através dos 10 métodos de extrapolação da curva carga-recalque citados no item 3;

- Comparação entre os resultados obtidos através do método de extrapolação da rigidez proposto por Décourt (1996) e do Método de Van der Veen (1953);

- Cálculo da carga de ruptura através dos métodos semi-empíricos propostos por Décourt (1996) e Aoki e Velloso (1991), e sua comparação com resultados obtidos através dos métodos de extrapolação da rigidez (1996) e de Van der Veen (1953);

- Partição das parcelas de resistência lateral e de ponta das provas de carga, e sua comparação com os valores calculados pelos semi-empíricos de Décourt (1996) e Aoki e Velloso (1991).

Tabela 2. Resumo das Provas de Carga Estática Selecionadas.

Estaca	Local	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Carga Ensaio (kN)	Recalque Máximo (mm)	Recalque Residual (mm)	Recalque máximo / diâmetro (%)
E-204	U-35	500	11550	1600	11,088	8,403	2,2
E-191	U-35	350	11850	900	5,525	3,388	1,6
E-148	U-31	350	15900	1000	4,219	1,464	1,2
E-608	U-31	700	18800	2700	7,66	3,878	1,1
E-1206	U-31	500	18950	1900	5,538	1,333	1,1
E-23	U-31	800	16150	2500	7,99	5,045	1,0
E-142	U-35	400	14000	1900	3,83	1,68	1,0
E-488	U-31	700	18800	2700	6,938	4,035	1,0
E-271	U-32	500	14000	1300	4,903	2,843	1,0
E-C05	U-31	500	18500	3000	5,25	2,475	1,1

7 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 Extrapolação da Curva Carga-Recalque

A Tabela 3 apresenta os valores da carga de ruptura das estacas hélice contínua, obtidos a partir dos métodos de extrapolação da curva carga-recalque das provas de carga. Observa-se que o valor médio da carga de ruptura de cada estaca (considerando-se os 10 métodos) varia de 981 a 2.873 kN e o coeficiente de variação geral foi de 19% na média. A estaca que teve o maior recalque também teve a menor variância do grupo de estacas (estaca E-204 com 2,22% de recalque e 11% de coeficiente de variação).

A Figura 5 ilustra graficamente os resultados obtidos. O Método de Beer (1968) obteve valores conservadores quando comparamos com dos demais métodos para cada estaca, com exceção da estaca E-191, no qual o método obteve um valor médio igual ao dos demais métodos de extrapolação utilizados.

Mesmo próximos para os maiores recalques, a diferença de valores é comprovada. O Método



de Brinch-Hansen 80% (1963) apresentou grande desvio de valor para a estaca E-1206. Para estaca E-204, que obteve maior recalque, a diferença de valores é da ordem de 25%. É possível concluir neste gráfico que, quanto maior o recalque no ensaio de prova de carga estática, menor é diferença de resultados entre métodos. A análise comparativa aponta uma melhor ordem de grandeza de valores entre os métodos de Van der Veen (1953), Rigidez (1996), Chin-Kondner (1970) e Mazurkiewicz (1972) com destaque para a precisão de resultados do método de Van der Veen (1953).

Tabela 3. Carga de Ruptura a Partir da Extrapolação da Curva Carga-Recalque.

Método	Carga de Ruptura (kN)										
	E-204	E-191	E-148	E-608	E-1206	E-23	E-142	E-488	E-271	E-005	
1	DAVISSON	1.600	1.100	1.500	3.100	2.500	2.750	3.000	3.100	1.300	2.300
2	NBR 6122	1.800	1.150	1.600	3.400	2.700	3.000	3.250	3.350	1.400	2.450
3	BRINCH-HANSEN 80%	1.768	833	1.020	3.228	4.903	2.795	1.657	2.988	1.091	2.532
4	TERZAGHI	2.000	1.250	1.800	3.800	3.000	3.600	3.300	3.600	1.500	2.700
5	BUTLER & ROY	1.550	850	800	2.500	2.300	2.300	1.800	2.300	1.100	1.500
6	BEER	1.413	794	1.000	1.995	1.995	2.239	1.585	2.239	1.000	1.585
7	RIGIDEZ	1.719	923	1.460	3.338	2.669	2.961	3.870	3.054	1.746	2.514
8	CHIN-KONDNER	2.000	1.111	1.667	3.333	3.333	3.333	3.333	2.500	1.250	2.500
9	VAN DER VEEN	1.700	900	1.200	3.000	2.500	2.400	2.900	2.800	1.600	2.600
10	MAZURKIEWICZ	1.600	900	1.000	3.000	2.400	2.600	2.800	2.800	1.400	2.550
	Média Aritmética Extrapolação (1)	1.715	981	1.305	3.069	2.830	2.798	2.750	2.873	1.339	2.323
	Coefficiente de Variação (%)	11	16	26	16	29	16	29	15	18	18

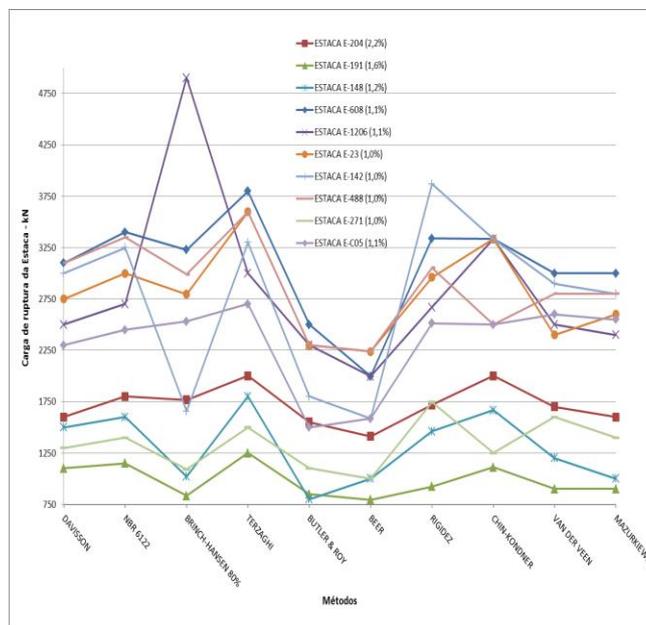


Figura 5. Carga de ruptura obtida a partir dos métodos de extrapolação da curva carga-recalque.

França (2011), analisando 03 provas de carga instrumentadas em estacas escavadas de grande diâmetro (estações de 1,20m de diâmetro), mostrou que os métodos da rigidez, formulado por Décourt (1996), e o método de Chin-Kondner (1970), apresentaram os valores mais próximos e coerentes.

Santini (2012) verificou que os resultados dos cálculos dos três métodos utilizados em sua pesquisa (Van der Veen (1953), NBR-6122 (2010) e método da Rigidez (1996)) para analisar a carga de ruptura foram semelhantes, porém o método da NBR foi o mais conservador e o método de Rigidez apresentou os maiores valores.

A Tabela 4 apresenta um resumo da carga de ruptura calculada pelos métodos semi-empíricos de Décourt (1996) e Aoki-Velloso (1991). Tais métodos tem sido utilizados tradicionalmente para dimensionamento de estaca tipo hélice-contínua a partir dos valores de N_{SPT} obtidos na sondagem a percussão. Observa-se alta variação (24% em média) de resultados entre os dois métodos.



Ainda na Tabela 4, é possível comparar a média aritmética entre os métodos da extrapolação e semi-empíricos (média aritmética (1) da tabela 5 dividido pela média aritmética (2) da tabela 6). Média entre métodos da extrapolação obteve resultados 19% superiores a média entre métodos semi-empíricos. Exceção ocorreu na estaca E-23, de 800 mm de diâmetro, onde a média dos métodos semi-empíricos obteve resultado 9% superior a média entre os métodos de extrapolação. Maiores desvios entre métodos ocorreram nas estacas E-1206 e E-142 com 34% e 62% de diferença respectivamente.

Tabela 4. Resultados de Carga de Ruptura - Métodos Semi Empíricos – Estacas Hélice

Método	E-204	E-191	E-148	E-608	E-1206	E-23	E-142	E-488	E-271	E-005
	Carga de ruptura (kN)									
1 DÉCOURT	1789	1085	1274	3199	2416	3212	2044	2849	1659	2000
2 AOKI-VELLOSO	1271	686	744	2220	1802	2945	1345	2218	980	1807
Média										
Aritmética semi-empírico (2)	1530	885	1009	2709	2109	3079	1695	2534	1320	1904
Média 1 / Média 2	1,12	1,11	1,29	1,13	1,34	0,91	1,62	1,13	1,01	1,22

7.2 Método da Rigidez (1996) x Van Der Veen (1953)

Comparando os valores dos métodos de Van der Veen (1953) e da Rigidez (1996) para os 10 ensaios selecionados nesta pesquisa, notou-se que os valores obtidos através no método da Rigidez (1996) são superiores aos resultados obtidos através do método de Van der Veen (1953) - 12 % na média.

Outros trabalhos têm chegado a resultados semelhantes. Gusmão e Oliveira (2013) afirmam, a partir de provas de carga estática em estacas hélice contínua, que a carga de ruptura extrapolada pelo método de Van der Veen (1953) foi cerca de 80% da carga de ruptura obtida pelo método da rigidez proposto por Décourt (1996).

7.3 Métodos da Extrapolação x Métodos Semi-Empíricos

Já a comparação entre os valores obtidos pelos métodos de Van der Veen (1953) e Rigidez (1996) com os resultados dos métodos semi-empíricos, notou-se semelhança de interpretação entre métodos de extrapolação com vantagem na aproximação de valores com a utilização do método de Van der Veen (1953) e Décourt (1998). O método de Aoki-Velloso (1991) subestima valores quando comparados aos métodos de extrapolação (30% inferiores na média). Em ambos os casos, os métodos semi-empíricos obtiveram, na sua maioria, valores inferiores em relação aos métodos de extrapolação (média de 84% do valor estimado nas extrapolações).

7.4 Separação da Resistência Lateral e Resistência de Ponta

Para a partição da resistência lateral e de ponta das estacas, foram aplicados os métodos da extrapolação da Rigidez (2008) e de Van der Veen (1953) admitindo-se que a resistência lateral foi completamente mobilizada para um recalque igual a 1% do diâmetro da estaca, e que a resistência de ponta não foi mobilizada até esse recalque.

A Tabela 5 resume os resultados das contribuições de resistência lateral e de ponta para os ensaios analisados. Note que também está calculada a média aritmética entre métodos (M_1). Observa-se que o método de Van der Veen (1953) apresenta maiores valores na resistência lateral das estacas, enquanto método da Rigidez (2008) apresenta maiores valores de resistência de ponta.



Tabela 5. Resistência Lateral e de Ponta Calculada pelos Métodos de Extrapolação – Estaca Hélice Contínua

Método	Carga de Ruptura (kN)										
	E-204	E-191	E-148	E-608	E-1206	E-23	E-142	E-488	E-271	E-005	
1 RIGIDEZ	Lateral	735	424	310	1033	818	1649	761	798	389	1058
	Ponta	984	499	1150	2035	1851	1312	3109	2255	1357	1456
2 VDV1%	Lateral	1250	815	990	2600	1850	2500	2000	2700	1300	1700
	Ponta	450	85	210	400	650	0	900	100	300	900
Média Aritmética-M ₁	Lateral	993	620	650	1817	1334	2075	1381	1749	845	1379
	Ponta	717	292	680	1218	1251	656	2005	1178	829	1178

A Tabela 6 apresenta os valores de resistência lateral e resistência de ponta obtidos através dos métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso (1991) e Décourt (1996). Também na Tabela 8, é possível comparar a média aritmética entre os métodos da extrapolação e semi-empíricos (média aritmética M₁ da tabela 7 dividido pela média aritmética M₂ da tabela 8).

Variação entre métodos semi-empíricos foram menores quando comparado às variações entre métodos da extrapolação. Melhor aproximação de valores está na resistência de ponta (média de 32% de diferença). Analisando a média entre os métodos da extrapolação e semi-empíricos (M₁/M₂) nota-se grande diferença de valores na resistência de ponta (média de 235% de diferença), consequência do alto desvio de valores obtidos pelo método da rigidez (2008).

Nota-se que enquanto métodos semi-empíricos obtiveram maiores valores de resistência lateral, método da Rigidez (2008) obteve maiores valores de resistência de ponta. Avaliando resistência lateral, nota-se maior proximidade de valores entre Van der Veen (1953) 1% e Décourt (1998) - 5% de variação. Aoki-velloso (1991) obteve valores inferiores (média de 92%) quando comparados a média de valores entre Décourt (1998) e Van der Veen (1953) 1%.

Tabela 6. Resistência Lateral e de Ponta Calculada pelos Métodos de Extrapolação – Estaca Hélice Contínua

Método	Carga de Ruptura (kN)										
	E-204	E-191	E-148	E-608	E-1206	E-23	E-142	E-488	E-271	E-005	
1 AOKI-VELLOSO	Lateral	714	457	552	1394	1455	899	959	1413	613	943
	Ponta	557	229	192	826	347	2046	385	804	367	864
2 DÉCOURT	Lateral	1330	872	1070	2676	2068	1743	1742	2397	1183	1607
	Ponta	459	213	204	523	348	1470	302	452	473	393
Média Aritmética-M ₂	Lateral	1022	665	811	2035	1762	1321	1351	1905	898	1275
	Ponta	508	221	198	675	348	1758	344	628	420	629
M ₁ /M ₂	Lateral	0,97	0,93	0,80	0,89	0,76	1,57	1,02	0,92	0,94	1,08
	Ponta	1,41	1,32	3,43	1,81	3,60	0,37	5,84	1,88	1,97	1,87

Para os resultados de resistência de ponta, dos 10 ensaios analisados, nota-se proximidade entre a reta de referência e métodos somente em 3 ensaios. Em 6 ensaios os valores de ponta foram maiores nos métodos semi-empíricos de Décourt (1998) e Aoki-Velloso (1991) – média geral de 74% superiores eliminando o ensaio da estaca E-23 que obteve resistência de ponta por Van der Veen (1953) 1% igual a zero.

8 CONCLUSÃO

Após análise dos 10 ensaios de prova de carga selecionados no empreendimento analisado do complexo industrial e portuário de Suape, foi possível se obter as seguintes conclusões:

- Entre os métodos de estimativa de carga de ruptura através da extrapolação da curva carga vs recalque, os resultados apontam a mesma ordem de grandeza de valores, principalmente entre os métodos de Van Der Veen (1953), Rigidez (1996), Chin-Kondner (1970) e Mazurkiewicz (1972) com destaque para a precisão de resultados do método de Van Der Veen (1953).
- Avaliando especificadamente os métodos de Van der Veen (1953) e Rigidez (1996), nota-se que os valores obtidos foram semelhantes entre



os métodos com média de 12% superiores no método da Rigidez.

- Os tradicionais métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso (1991) e Décourt (1996), utilizados para dimensionamento de estacas hélice contínua, obtiveram, em média, valores de ruptura final 84% inferiores quando comparados aos métodos de extrapolação de Van der Veen (1953) e Rigidez (1996). Maiores variações ocorreram em Aoki-veloso (1991), subestimando valores quando comparados aos métodos de extrapolação (30% inferior na média).

- Analisando os resultados de contribuições de resistência lateral e de ponta, enquanto o método de Van der Veen (1953) “valoriza” a resistência lateral das estacas, método da Rigidez (2008), ao contrário, valoriza sua resistência de ponta. Mesma conclusão foi obtida na comparação entre métodos semi-empíricos e método da Rigidez (2008). Maior precisão de resultados ocorreu na comparação entre valores de Van der Veen (1953) 1% e Décourt (1998) na estimativa de resistência lateral com variação de 5%.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6.122, Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.131, Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.
- ALONSO, U. R. Previsão e controle das fundações. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 1 ed., 152p, 1991
- AMANN, K. A. P. Metodologia Semi-empíricas Unificada para a Estimativa da Capacidade de Carga de Estacas 2010. 430 f. Tese (Doutorado) – Escola B Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- AOKI, N.; ALONSO, U.R. Previsão e Verificação da Carga Admissível de Estacas. ABMS - NRSP. Workshop realizado no IESP, 1991
- CINTRA, J. C. A. Fundações por Estacas : projeto geotécnico. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2010.
- DÉCOURT, L. A ruptura de fundações avaliada com base no conceito de rigidez. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, III SEFE, 1996, São Paulo. Anais. São Paulo: ABEF e ABMS, 1996, v.1, p. 215-224.
- DÉCOURT, L. Provas de carga em estacas podem dizer muito mais do que têm dito. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, VI SEFE . Anais. São Paulo: ABMS, 2008, v.1, p. 221-245, 2008.
- FRANÇA, D. C. Provas de Carga Estática Instrumentadas em Profundidade em Estacas Escavadas de Grande Diâmetro (Estacões). 2011. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- GUSMÃO, A.D. OLIVEIRA, K.P.S. Curva Carga x Recalque de Estacas Hélice Contínua. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, UFG 2013. Recife-PE, 2013
- HACHICH, W. et al. Fundações Teoria e Prática. 2 ed. São Paulo : Editora PINI, 1998. Engng, ASCE. v. 89. n. SM1, p. 115. 1963.
- KONDNER, K. L. Hyperbolic stress-strain response: cohesive soils. Journal of Soil Mech. and Found. Engng, ASCE. v. 89. n. SM1, p. 115. 1963.
- MASSAD, F.; LAZO, G. Método gráfico para interpretar a curva carga-recalque de provas de carga verticais em estacas rígidas e curtas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 1998, Brasília: ABMS, 1998, v.3 p. 1407-1414.
- MELO, B. N. Análise de Provas de Carga à Compressão à Luz do Conceito de Rigidez. 2009. 250 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.
- NIYAMA, S; AOKI, N.; CHAMECKI, P.R. Verificação do Desempenho – Provas de Carga Estáticas. In: Fundações: Teoria e Prática. 1 ed. São Paulo-SP, ABMS/ABEF/Pini, 1996.
- POULOS, H. G. ; DAVIS, E. H. Pile Foundation Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 397 p. (Series in Geotechnical Engineering). 1980.
- SANTINI, I. B. et al. Análise do Comportamento de Cinco Provas de Carga Estáticas em Estacas Tipo Hélice Contínua – Previsão x Comportamento, 16º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Porto de Galinhas. 2012, CD Rom.
- VAN DER VEEN, C. The Bearing Capacity of a Pile. Proc. Third Int. Conf. Soil Mech. Found. Engrg., Vol. II, pp. 84-90, Zurich, 1953
- VELLOSO, D. A. e LOPES, F. R. Fundações. Oficina de Textos. São Paulo. 2011, 568p.