

Análise da Eficiência da Determinação de Recalques em Fundações Profundas em Solos Silto-Arenosos de Fortaleza

Marcos Fábio Porto de Aguiar
IFCE, Fortaleza, Brasil, marcosfpa@hotmail.com

Luis Helcio Figueiredo
UNIFOR, Fortaleza, Brasil, helcio@tecnord.com.br

Leila Maria Coelho de Carvalho
UNIFOR, Fortaleza, Brasil, leila.mariacoelho@hotmail.com

Fernando Feitosa Monteiro
UFC, Fortaleza, Brasil, engffmonteiro@gmail.com

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
UNIFOR, Fortaleza, Brasil, heberoliveiracivil@gmail.com

RESUMO: Existem diversos métodos teóricos, semi-empíricos e empíricos para a estimativa dos recalques em fundações profundas utilizados no Brasil e no mundo, dessa forma, surge a necessidade de averiguar a eficiência dos métodos recorrentes e suas aplicabilidades. O presente artigo tem como objetivo principal analisar a eficiência de métodos semi-empíricos de Aoki (1984) e Bowles (2001) para cálculo de recalques em estacas raiz a partir de resultados de ensaios de sondagem a percussão, através de uma comparação com ensaios de prova de carga realizados no campo experimental de fundações da Universidade de Fortaleza. Foram realizadas sondagens à percussão tipo SPT, e construídas duas estacas tipo raiz com diâmetro de 310mm e comprimento de 6m e executadas duas provas de carga estáticas. A partir das análises e considerando as restrições conceituais, pode-se obter uma melhor avaliação dos métodos semi-empíricos, que partem do NSPT, na estimativa de recalques, para regiões que possuem estratigrafia de solos silto-arenosos, assim aprimorando a previsão de recalques adotados em projetos. Verificou-se que os métodos de Aoki (1984) e Bowles (2001) apresentaram estimativas inconsistentes na previsão de recalque em fundações profundas para solos silto-arenosos do campo experimental da Universidade de Fortaleza, partindo de dados de ensaio de percussão, pois as estimativas de recalques através dos métodos semi-empíricos apresentaram valores superiores aos valores obtidos pelo ensaio de prova de carga. No estudo percebe-se a importância de uma satisfatória estimativa da capacidade de carga, pois a mesma influência diretamente na determinação dos recalques avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: Recalque, Métodos semi-empíricos, Prova de carga, Fundações profundas

1 INTRODUÇÃO

Nos estudos geotécnicos têm-se o fornecimento de informações necessárias para a determinação de parâmetros do solo ou rocha. Tais

parâmetros podem ser coletados através de sondagens, ensaios de campo e ensaios de laboratório. Assim, adquirindo o conhecimento das tensões suportadas pelo solo, bem como as tensões normais e de cisalhamento, que proporcionam ao engenheiro geotécnico uma

maior segurança na elaboração dos projetos de fundações. No Brasil, o dimensionamento geotécnico de fundações profundas considera, em sua maioria, somente a capacidade de carga da estaca. Entretanto, a importância da análise de recalque, sendo este um dado primordial para a execução de uma fundação, garantindo a segurança do elemento estrutural de fundação e de toda a superestrutura. Existem inúmeros métodos teóricos, semi-empíricos e empíricos para a estimativa dos recalques em fundações profundas utilizadas no Brasil e no mundo. O trabalho avalia o método de Aoki e o método de Bowles, com o intuito de averiguar a eficiência dos métodos recorrentes e suas aplicabilidades.

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.1 Prova de carga estática em estaca

Segundo Marchezini (2013), o ensaio de carregamento estático é considerado como o ensaio de campo mais eficiente de verificação de desempenho de uma fundação. Por meio deste ensaio é possível conhecer o comportamento da fundação com aplicação de cargas em níveis crescentes, até atingir a carga limite ou a completa ruptura do sistema estaca-solo. A análise do comportamento da fundação é realizada pela curva carga-recalque resultante do ensaio como apresentado na Figura 1.

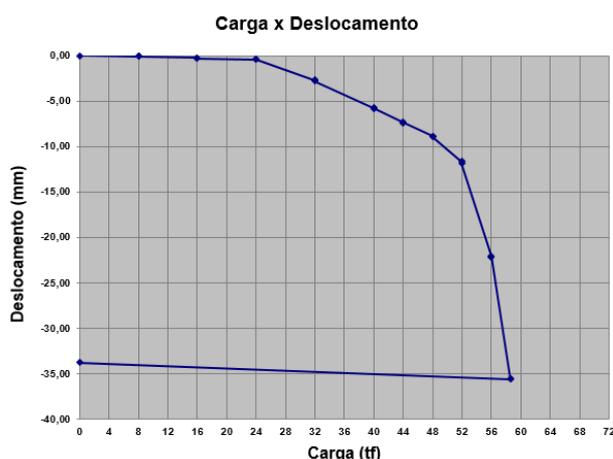


Figura 1. Exemplo de curva carga x recalque.

2.2 Recalque em fundações profundas

A performance de uma obra de engenharia civil, ao longo de sua vida útil, especialmente da sua fundação, é consequência do grau de alteração do maciço do solo durante a fase de execução desta última (AOKI e CINTRA, 2000). Considerando os valores de referência de deslocamentos verticais de serviço em fundações, os recalques podem ser estimados partindo de tensões admissíveis obtidas por procedimentos teóricos ou semiempíricos e emprego de métodos analíticos. (CINTRA *et al.*, 2011).

2.2.1 Método de Bowles (2001)

De acordo com Bowles (2001), os recalques em estacas podem ser calculados em três etapas, onde na primeira etapa se calcula a força axial média em cada segmento de comprimento ΔL , área da seção da estaca A_{med} , e o módulo de elasticidade E_p da estaca, assim:

$$\Delta H_{s,s} = \frac{P_{med} \Delta L}{A_{med} E_p} \quad (1)$$

Somando-se os diversos valores obtidos para obter a compressão axial total da estaca:

$$\Delta H_{\alpha} = \sum \Delta H_{s,s} \quad (2)$$

Na segunda etapa calcula-se o recalque na ponta de acordo com a equação:

$$\Delta H_{pt} = \Delta q D \frac{1-\mu^2}{E_s} m I_s I_F F_1 \quad (3)$$

Onde: $m I_s = 1$ (fator de forma);

I_F = Fator de embutimento com os seguintes valores ($I_F = 0,55$ se $L/D \leq 5$; $I_F = 0,5$ se $L/D > 5$);

D = Diâmetro da estaca ou menor dimensão da estaca

μ = Coeficiente de Poisson (sugere-se usar um valor de 0,35)

Δq = Carga sobre a fundação

E_s = Modulo de elasticidade do solo abaixo da ponta da estaca, podendo ser obtido pelas seguintes relações:

SPT : $E_s = 500 (N+15)$ em kPa

CPT : $E_s = 3$ a $6 q_c$ (usar valores de 5,6 se o OCR for maior que 1) em kPa

F_1 = Fator de redução variando entre valores de 0,25 se a resistência lateral reduz a carga de ponta $P_p \leq 0$; 0,5 se a carga na ponta $P_p > 0$; 0,75 se houver apenas carga de ponta

O fator F_1 é usado pela razão da região da ponta da estaca se mover para baixa devido à carga na ponta e o recalque na ponta devido à resistência lateral ao longo do fuste puxar o sistema solo-fundação para baixo. Esse método usa a carga axial total, que é conhecida, e o fator F_1 , que é um valor estimado. Na terceira etapa soma-se o recalque axial e o recalque da ponta para se obter o recalque total, como visto na equação:

$$\Delta H_p = \Delta H_a + \Delta H_{pt} \quad (4)$$

2.2.2 Método de Aoki (1984)

Observando uma estaca qualquer, de comprimento L , cravada no terreno, e com a sua base distante C da superfície do indeslocável, representada na Figura 2 (a superfície do indeslocável, abaixo da qual podemos desprezar os deslocamentos decorrentes das cargas aplicadas ao maciço, é determinada pelo topo rochoso ou o topo da camada de solo tão rígida que possa ser considerada indeslocável). Temos também a aplicação de uma carga vertical P no

topo dessa estaca que provocará dois tipos de deslocamentos (CINTRA e AOKI, 2010).

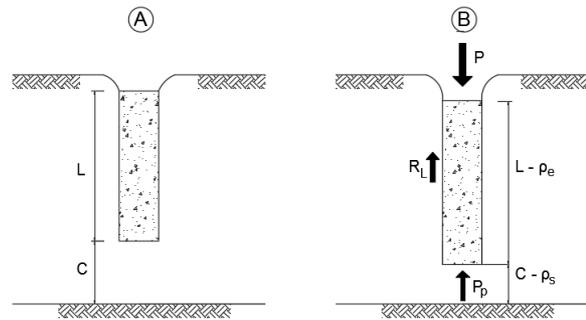


Figura 2 . Parcelas de recalque da estaca.

Esses deslocamentos de acordo com Cintra e Aoki (2010) são representadas pelo encurtamento elástico da própria estaca, como elemento estrutural submetido à compressão, equivalente ao recalque de igual magnitude da cabeça da estaca (ρ_e), uma vez que a base é mantida imóvel, e os deslocamentos verticais de compressão do solo implícito à base da estaca, até o indeslocável, o que resulta um recalque da base (ρ_s). Como resultado o comprimento L será reduzido ($L - \rho_e$) e a distância C também será reduzida ($C - \rho_s$). Portanto, o topo da estaca sofrerá um recalque (ρ), ou um deslocamento total, vertical para baixo, como definido por :

$$\rho = \rho_e + \rho_s \quad (5)$$

2.3 Previsão da curva carga x recalque

Aoki (1979) propõe uma metodologia para a precisão da curva carga x recalque de um elemento de fundação por estaca, conhecido um ponto dessa curva e considerando aplicável a expressão de Van der Veen (1953):

$$P = R (1 - e^{-\alpha \cdot \rho}) \quad (6)$$

Em que o parâmetro α define a forma da curva. Assim, calculada a capacidade de carga R e feita a estimativa do recalque (ρ), para uma carga (P), compreendida entre R_L e $R/2$, e em seguida determina-se o valor de α :

$$R_L < P < R/2$$

(7)

$$a = \frac{-\ln\left(1 - \frac{P}{R}\right)}{\rho}$$

(8)

3 ESTUDO DE CASO

Foram coletados dados de ensaios SPT e provas de cargas, em 3 localidades distintas numa mesma área, no campo experimental da UNIFOR. A indicação do local e a localização das sondagens estão indicadas nas Figuras 3 e 4.



Figura 3. Vista aérea UNIFOR

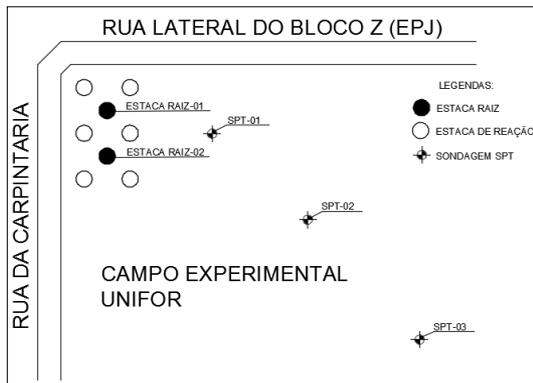


Figura 4. Localização dos furos de sondagens e estaca raiz no campo experimental da UNIFOR

3.1 Ensaios de Caracterização

Foram executados ensaios de caracterização do solo, que podem ser realizados tanto em laboratório quanto no campo (*in situ*), com o objetivo de obter os parâmetros dos solos tais como a densidade real do grão, os limites de Atterberg, a dimensão dos grãos que compõem o solo e classificá-los. A Tabela 1 apresenta um

resumo dos ensaios de caracterização do solo feitos no campo experimental da UNIFOR.

Tabela 1. Caracterização do campo experimental da UNIFOR

Profundidade (m)	Caracterização do Campo Experimental							
	Pedregulho	Análise Granulométrica (%)			Silte e Argila	LL	LP	Densidade Real
		Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina				
1m	0	0,57	15,49	67,83	16,11	-	NP	2,62
2m	0	0,27	16,71	61,87	21,15	-	NP	2,63
3m	0	0,34	13,75	67	18,91	-	NP	2,59
4m	0	0,46	15,58	63,34	20,62	-	NP	2,6

3.2 Ensaios de Sondagem a Percussão

No estudo de caso, foram utilizados 3 ensaios à percussão do tipo SPT, executados conforme a ABNT (2001), utilizou-se lama betônica durante a execução da sondagem para que fosse possível atingir a cota do impenetrável. Na área em estudo, foram implantadas 6 estacas de reação e 2 estacas raiz. Na Figura 5 são apresentados os resultados dos 3 ensaios de sondagem a percussão, bem como o comprimento da estaca, o diâmetro e a estratigrafia geral do solo, ainda vale ressaltar que o lençol freático se encontra a 5m.

Lestaca (m)	N _{spt-01}	N _{spt-02}	N _{spt-03}	Estaca Raiz (Ø = 310mm)	TIPO DE SOLO
1	2	3	3	ESTACA	AREIA SILTOSA
2	5	4	6		
3	7	4	9		
4	9	8	7		
5	12	8	7		
6	7	9	4	SILTE ARGILOSO	
7	6	9	9		
8	7	10	31		
9	23	22	20		
10	24	30	18		
11	30	22	23		
12	29	25	30		
13	40	27	40		
14	40	37	40		
15	29	43	29		
16	29	14	14		
17	31	22	18		
18	20	15	16		
19	20	15	16		
20	25	40	40		

Figura 5. Resultados das Sondagens do Campo Experimental da UNIFOR

3.3 Ensaio de Prova de Carga Estática

O ensaio de prova de carga foi realizado na estaca raiz-01, a estaca possui 6,00 metros de comprimento, diâmetro de 310 mm, e para os cálculos, adotou-se um módulo de elasticidade

de 22,00 GPa, de acordo com os valores indicados por Benati (2007). O ensaio foi realizado com 10 estágios de carga, iniciando com 80 kN e terminando com 585,9 kN, apresentando uma ruptura convencional. Na Figura 6, observa-se a curva carga deslocamento obtida a partir do ensaio de prova de carga.

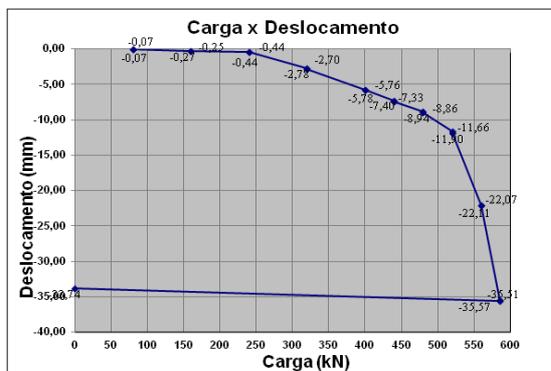


Figura 6 . Resultado do ensaio de Prova de Carga

3.4 Análises de recalque utilizando o método de Aoki

Inicialmente calcula-se a capacidade de carga a partir do método de Aoki-Velloso (1975), como visto na Tabela 2.

Tabela 2. Capacidade de Carga -Método de Aoki-Velloso

Capacidade de carga	SPT-01 (kN)	SPT-02 (kN)	SPT-03 (kN)
Capacidade de carga lateral	136,00	105,00	111,00
Capacidade de carga na ponta	61,00	78,00	35,00
Capacidade Total	197,00	183,00	145,00

Em seguida, utilizam-se os dados de capacidade de carga estimados pelo método de Aoki-Velloso (1975) para determinação dos valores de recalque do solo (ρ_s), que serão subdivididos em duas parcelas, onde, $\rho_{s,p}$ é o recalque devido a reação da ponta e $\rho_{s,l}$ é a parcela relativa à reação às cargas laterais, como visto na Tabela 3.

Tabela 3. Recalques - Método de Aoki

Recalque	SPT-01 (mm)	SPT-02 (mm)	SPT-03 (mm)
Recalque do solo	31,49	26,03	26,29
Recalque por encurtamento elástico do fuste	0,82	0,63	0,67
Recalque Total	32,31	26,66	26,96

Para a previsão da curva carga x recalque, conhecido um ponto dessa curva e considerando-o aplicável, utiliza-se o método de Van der Veen (1953). Assim com os dados da capacidade de carga (R) obtidos pelo método de Aoki-Velloso (1975) e com os respectivo recalque (ρ), calcula-se o α (coeficiente que define a forma da curva), a partir desses valores, pode-se estimar valores de recalque, obtendo os respectivos valores de carga, como exibido na Tabela 4, resultando na expressão matemática da curva carga x recalque, conforme a Figura 7.

Tabela 4 . Dados para curva carga x recalque - Método de Van der Veen (1953)

PROVA DE CARGA		SPT-01		SPT-02		SPT-03	
CARGA (kN)	RECALQUE (mm)	CARGA (kN)	RECALQUE (mm)	CARGA (kN)	RECALQUE (mm)	CARGA (kN)	RECALQUE (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80,00	0,07	73,60	2,00	70,00	2,00	50,90	2,00
160,00	0,27	135,80	5,00	128,30	5,00	95,90	5,00
240,00	0,44	158,70	7,00	149,30	7,00	113,30	7,00
320,00	2,78	178,00	10,00	166,80	10,00	128,60	10,00
400,00	5,78	185,20	12,00	173,10	12,00	134,50	12,00
440,00	7,40	189,60	14,00	177,00	14,00	138,30	14,00
480,00	8,94	193,40	17,00	180,20	17,00	141,70	17,00
520,00	11,90	194,80	18,50	181,40	18,50	143,00	18,50
560,00	22,11	195,60	21,00	182,10	21,00	143,90	21,00
585,90	35,57	196,40	24,00	182,70	24,00	144,60	24,00
		196,60	26,00	182,90	26,00	144,90	26,00
		196,90	29,00	183,10	26,66	145,00	26,96
		197,00	32,31	183,10	29,00	145,20	29,00

De acordo com a metodologia, os valores de recalques são estimados, por isso, observa-se os mesmos valores para os três exemplos de sondagens, exceto na carga de ruptura, onde o valor foi calculado. Adotou-se uma carga de 145 kN como referência para a análise de recalques, pois este é o valor da ruptura para o SPT-03, ou seja, o solo com menor capacidade de carga. A partir dos valores de recalques obtidos, verificam-se resultados divergentes, sendo a prova de carga a que apresentou uma maior divergência, com um valor na diferença dos recalques com relação ao SPT-03 em torno de 99,54% menor. Ainda analisando os valores de recalque para a carga de 145 kN, observa-se uma diferença de 98,17% maior que o SPT-02, quando comparado com a prova de carga,

enquanto para o SPT-01 a diferença é 97,93% maior que o ensaio de prova de carga.

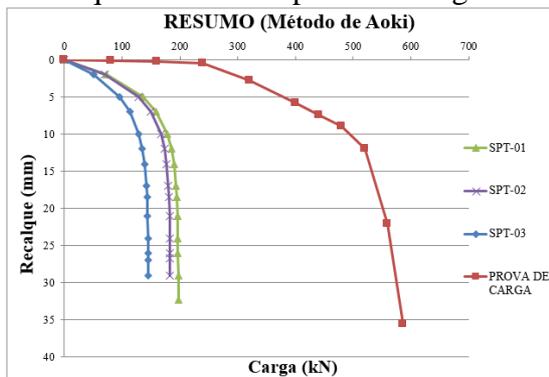


Figura 7. Método de Aoki

3.5 Análises de recalque utilizando o método de Bowles

Para estimativa de recalque pelo método de Bowles, primeiramente determinou-se a capacidade de carga utilizando o método de Cabral (1986). A capacidade de carga será o somatório de todas as resistências laterais até a altura da ponta da estaca, que será com 6,00 metros, somando-se com a resistência da ponta da estaca, assim tem-se a capacidade de carga total, conforme a Tabela 5.

Tabela 5. Capacidade de Carga - Método de Cabral

Capacidade de carga	SPT-01 (kN)	SPT-02 (kN)	SPT-03 (kN)
Capacidade Total	356,40	315,10	267,70

Em seguida utilizam-se os dados de capacidade de carga para determinação de recalque pelo método de Bowles (2001), que será calculado em três etapas. Na primeira etapa calcula-se a força axial média em cada segmento de comprimento ΔL , área da seção da estaca A_{med} , e o módulo de elasticidade E_p da estaca. Na segunda etapa calcula-se o recalque na ponta e, por último, na terceira etapa soma-se o recalque axial e o recalque da ponta para se atingir o recalque total, como se pode observar na Tabela 6.

Tabela 6. Recalque - Método de Bowles

Recalque	SPT-01 (mm)	SPT-02 (mm)	SPT-03 (mm)
Recalque axial	0,38	0,40	0,25

Recalque da ponta	30,58	23,66	20,10
Recalque Total	30,96	24,06	20,35

Por último, para a previsão da curva carga x recalque, utilizou-se o método de Van der Veen (1953), assim, adota-se uma carga maior que a capacidade de carga lateral e menor ou igual a carga de ruptura, de acordo com a Equação 7, e em seguida, determina-se o recalque para a carga adotada pelo método de Bowles. Encontra-se um valor de α (fator que define a forma da curva), assim, estimam-se os valores de recalque e obtêm-se as cargas correspondentes a estes recalques, como mostra a Tabela 7, resultando na expressão matemática da curva carga x recalque, de acordo com a Figura 8

Tabela 7. Dados para curva carga x recalque - Método de Van der Veen (1953)

PROVA DE CARGA		SPT-01		SPT-02		SPT-03	
CARGA (kN)	RECALQUE (mm)	CARGA (kN)	RECALQUE (mm)	CARGA (kN)	RECALQUE (mm)	CARGA (kN)	RECALQUE (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80,00	0,07	227,83	3,00	228,49	3,00	184,07	3,00
160,00	0,27	310,02	6,00	291,30	6,00	241,58	6,00
240,00	0,44	339,67	9,00	308,36	9,00	239,54	9,00
320,00	2,78	350,36	12,00	313,30	12,00	265,15	12,00
400,00	5,78	354,22	15,00	314,61	15,00	266,90	15,00
440,00	7,40	353,61	18,00	314,96	18,00	267,45	18,00
480,00	8,94	356,12	21,00	315,06	21,00	267,70	20,35
520,00	11,90	356,30	24,00	315,09	24,06	267,70	23,00
560,00	22,11	356,36	27,00	315,10	27,00	267,70	26,00
585,90	35,57	356,40	30,96	315,10	30,00	267,70	29,00
		356,40	35,00	315,10	35,00	267,70	35,00

Os valores de recalques são estimados, por isso, observa-se os mesmos valores para os três exemplos de sondagens, exceto na carga de ruptura, onde o valor foi calculado. Adotou-se uma carga de 267,7 kN como referência para a análise de recalques, pois este é o valor da ruptura para o SPT-03, ou seja, o solo com menor capacidade de carga.

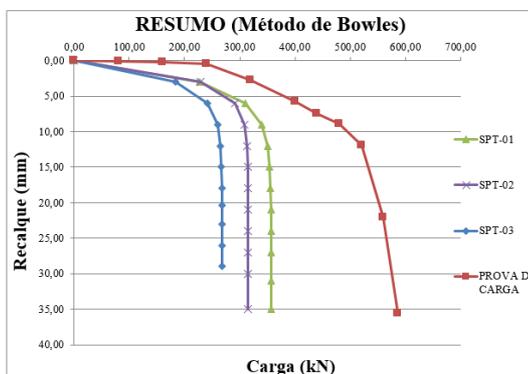


Figura 8. Resumo – Método de Bowles

Verificam-se resultados divergentes, sendo a prova de carga a que apresentou uma maior divergência, com um valor na diferença dos recalques com relação ao SPT-03 em torno de 93,85% menor. Ainda, analisando os valores de recalque para a carga de 267,7 kN, observa-se uma diferença 74,33% menor que o SPT-02, quando comparado com a prova de carga, enquanto para o SPT-01 a diferença é 71,94% maior que a prova de carga,

3.6 Análises Geral dos Métodos Semi-Empíricos estudados

Avaliando os métodos estudados, nota-se que o método de Bowles foi o que obteve uma maior proximidade quanto ao comportamento da curva carga x recalque e aos valores de recalques quando comparados com a prova de carga, como visto na Figura 9. Os valores estimados pelo método de Bowles são os que mais se aproximam do valor de recalque obtido pelo ensaio de prova de carga, quando comparados para uma mesma carga de 267,70 kN, vale resaltar que o resultado que mais se aproximou da prova de carga foi o do SPT-01, provavelmente por ser o ensaio de percussão executado mais próximo da estaca em análise. Pelo método de Aoki, para uma carga de 145 kN, o ensaio de percussão que mais se aproximou da prova de carga foi o SPT-01, com uma diferença de valores de aproximadamente 97,93% maior.

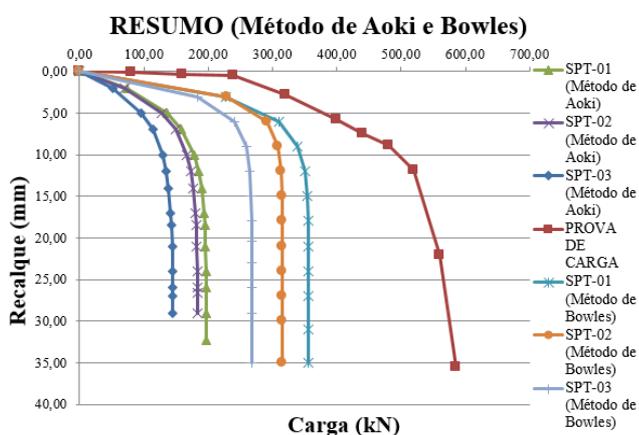


Figura 9. Resumo – Método de Aoki e Método de Bowles, com prova de carga.

4 CONCLUSÃO

Analisando-se os resultados apresentados pelos métodos semiempíricos de Aoki-Velloso (1975) e Cabral (1986) para estimativa da capacidade de carga da fundação, pode-se afirmar que a correlação da medida N_{SPT} , a qual é uma medida dinâmica enquanto que a capacidade de carga trata-se de uma grandeza estática, bem como o nível de incertezas envolvido no ensaio SPT, fazendo com que as formulações semi-empíricas adotem margens de segurança altas, assim, ocasionando a disparidade observada entre os métodos semi-empíricos e a prova de carga. Os resultados de previsão de recalques são fortemente influenciados pelos valores de previsão da capacidade de carga, que por sua vez, não apresentaram resultados satisfatórios, por nenhum dos métodos adotados no estudo. Observa-se que o método de Cabral (1986) obteve melhor desempenho na previsão da capacidade de carga, logo, a previsão de recalque também apresentou resultados mais consistentes com os obtidos a partir dos ensaios de campo.

O ensaio SPT é uma ferramenta importante para a comunidade técnica, uma vez que garante aos projetistas a segurança necessária para o adequado dimensionamento das fundações de uma estrutura. Seu baixo custo, praticidade de execução e dados apresentados garantem a eficiência do projeto. O SPT-01 foi o ensaio executado com maior proximidade da estaca raiz ensaiada na prova de carga, o que provavelmente influenciou nesse resultado, pois observa-se que é a sondagem que melhor representa o comportamento da estaca na estratigrafia do solo na qual ela está inserida.

Pode-se afirmar que os recalques ou deformações podem ser estimados com os módulos de deformabilidade dos materiais, enquanto os dados de ensaio à percussão partem de um ensaio que leva o solo à ruptura. A teoria da elasticidade por ser um modelo teórico de determinação da previsão de recalques iniciais deveria, conceitualmente, resultar em valores menos conservadores, sendo que essa mesma

teoria, não se leva em consideração o comportamento elastoplástico dos solos, assim, o comportamento da curva carga x recalque acaba sendo subestimado, acarretando em resultados em favor da segurança.

Neste trabalho, observou-se estimativas inconsistentes dos métodos semi-empíricos na previsão de recalque em fundações profundas para solos silto-arenosos do campo experimental da UNIFOR, partindo de dados de ensaio de percussão. Ainda vale ressaltar, a importância de uma satisfatória estimativa da capacidade de carga, pois a mesma influência diretamente na determinação dos recalques avaliados neste estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas Tecnord e Berater pela a realização dos ensaios de campo, a UNIFOR pela disponibilidade do campo experimental e a CAPES pelo o apoio financeiro

REFERÊNCIAS

- AMANN, K. A. P. (2010) *Metodologia semiempírica unificada para a estimativa da capacidade de carga de estacas. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484/2001 (2001) *Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio, Rio de Janeiro*
- AOKI, N. (1979). *Considerações sobre projeto e execução de fundações profundas. Palestra proferida no Seminário de Fundações, Sociedade Mineira de Engenharia, Belo Horizonte, 1979.*
- AOKI, N. (1984). *Previsão da curva carga-recalque. Palestra proferida na escola de Engenharia de São Carlos- USP, São Carlos, 1984.*
- AOKI, N.; CINTRA, J. C. A. (2000) *Carga admissível e carga característica de fundações por estaca. Solos e Rochas, v. 23, n. 2, p. 137-142.*
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. (1975) *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: PAN AMERICAN CSMFE, 5., 1975, Buenos Aires. Proceedings... Buenos Aires. v. 1, p. 367-376.*
- BENATI, J. B. (2007). *Metodologia de Execução e Determinação da Capacidade de Carga de Estacas de Pequeno Diâmetro Cravadas e Injetadas, MT. Dissertação de Mestrado. UVF, Viçosa, MG.*
- BOWLES, Joseph E..(2001) *Foundation Analysis and Design. Singapore: The McGraw-Hill Companies.*
- CABRAL, D. A. O. (1986) *uso da estaca raiz como fundação de obras normais. In: CBMSEF, 8., 1986, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, 1986. v. 6, p. 71-82.*
- CINTRA, J. C., Aoki, N., Albiero, J. H. (2011). *Fundações diretas - projeto geotécnico, São Paulo-SP, Editora Oficina de Textos.*
- CINTRA, J.C.A.; AOKI, N (2010). *Fundações por estacas: Projeto Geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos.*
- MARCHEZINI, S. F. (2013). *Comparação Entre Métodos Estáticos E Dinâmicos De Previsão De Capacidade De Carga Em Estacas Assentes Em Solo Tropical, MT. Dissertação de Mestrado. UNB, Brasília, DF.*
- VAN DER VEEN, C. (1953) *The Bearing Capacity of a Pile. Proc. Third International Conference Soil Mechanics Foundation Engineering, Zurich, 1953, vol. II.*