

Análise Probabilística da Capacidade de Carga das Estacas do Cais do Porto Novo de Rio Grande (RS) Empregando Metodologia Bayesiana

Aline de Viegas Beloni

Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande/RS, Brasil, belonialine@yahoo.com.br

Felipe Costa Magalhães

IFRS, Rio Grande/RS, Brasil, felipe.magalhaes@riogrande.ifrs.edu.br

Antônio Marcos de Lima Alves

Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande/RS, Brasil, antonioalves@furg.br

Mauro de Vasconcellos Real

Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande/RS, Brasil, mauroreal@furg.br

RESUMO: O objetivo deste trabalho é apresentar a aplicação de um procedimento de atualização da previsão da capacidade de carga geotécnica de estacas, tomando como base os registros documentados durante a execução dos trabalhos. Esta atualização é obtida através da aplicação dos conceitos da análise bayesiana. A incerteza dos parâmetros é modelada por distribuições de probabilidade “a priori” e “a posteriori”. Para obtenção da distribuição “a priori” foram utilizados métodos semi-empíricos de previsão da capacidade de carga das estacas baseados em resultados de ensaios SPT (Standard Penetration Test), adaptados para incluir a variabilidade dos resultados do ensaio. A estimativa da distribuição “a posteriori” é realizada através da atualização da distribuição “a priori”, utilizando uma função de máxima verossimilhança baseada nos dados disponíveis em registros de cravação e na aplicação de uma fórmula dinâmica. O procedimento foi aplicado em um estaqueamento em água da obra de remodelação do Porto Novo, em Rio Grande (RS). Os resultados demonstram a potencialidade do teorema de Bayes na combinação de previsões com dados observacionais de cravação de estacas, reduzindo as incertezas e aumentando a confiabilidade do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Estacas, Capacidade de carga, Análise Probabilística, Teorema de Bayes

1 INTRODUÇÃO

A determinação do nível de confiabilidade de uma obra envolve uma cuidadosa avaliação das incertezas associadas à sua capacidade (resistências dos diversos materiais) e à sua demanda (esforços solicitantes). Essa avaliação pode ser realizada convenientemente aplicando-se ferramentas probabilísticas, que permitem estudar os efeitos combinados das incertezas, incorporando-os na análise.

Lacasse e Nadim (1998) afirmam que a estatística, as análises de confiabilidade e as estimativas de risco podem ser ferramentas de

apoio à decisão muito úteis na Engenharia Geotécnica, e avaliam as razões pelas quais este tipo de estudo é raro na prática. Segundo Duncan (2000), as teorias probabilísticas de análise de confiabilidade podem ser aplicadas na Engenharia Geotécnica através de procedimentos simples, sem exigir mais dados além daqueles normalmente necessários para um análise determinística convencional. Com um esforço adicional relativamente pequeno, é possível um refinamento considerável na avaliação da segurança e confiabilidade de um projeto geotécnico. De Mello (2002) também defende a aplicação de análises probabilísticas

simples aos projetos geotécnicos, visando rechaçar o que o autor chama de “receitas-dogmas” em prol da incorporação de dados experimentais à avaliação de incertezas.

Em especial, o projeto de fundações de qualquer tipo de estrutura envolve incertezas oriundas de várias fontes (Aoki, 2002). Algumas destas fontes são: variabilidade espacial das propriedades do solo; investigação geotécnica limitada; alterações no comportamento do solo ocorridas durante e após a execução da fundação; simplificações adotadas nos modelos de cálculo; desconhecimento do exato mecanismo de interação solo-fundação; variabilidade das cargas aplicadas aos elementos de fundação.

Dentre as abordagens probabilísticas passíveis de aplicação na Engenharia Geotécnica, a abordagem bayesiana tem por característica fundamental a ideia de que a amostra não precisa ser a única fonte de informações (ao contrário da abordagem frequentista). Através da aplicação do teorema de Bayes torna-se possível, de uma forma racional, combinar as informações disponíveis anteriormente à amostragem (probabilidade subjetiva) com as informações contidas na própria amostra (probabilidade objetiva), valendo-se de uma função de máxima verossimilhança. Pode-se, assim, obter um nível de conhecimento atualizado, posterior à amostragem (Hachich, 1998).

Em relação à atualização da capacidade de carga de estacas, a adoção do teorema de Bayes não é recente, como atestam os trabalhos de Kay (1976, 1977), Baecher e Rackwitz (1982), Sidi e Tang (1987), Lacasse et al. (1990), Sugai & Matsuo (1993), Zhang e Tang (2002), Santos (2007), Cabral (2008), Magalhães (2011), Amadori (2013) e Luzzardi (2015).

O objetivo deste trabalho é apresentar a aplicação de um procedimento de atualização da previsão da capacidade de carga geotécnica das estacas do cais modernizado do Porto Novo de Rio Grande (RS). Para tal, foram aplicados os conceitos da análise bayesiana. A estimativa de capacidade de carga “a priori” teve como base os resultados de métodos semi-empíricos de previsão baseados em resultados de ensaios SPT (Standard Penetration Test), adaptados para

incluir a variabilidade dos resultados do ensaio. Os registros documentados durante a cravação das estacas, associados à adoção de uma fórmula dinâmica, foram utilizados para gerar uma função de máxima verossimilhança. A capacidade de carga “a posteriori” é obtida combinando-se a estimativa subjetiva (“a priori”) com a estimativa objetiva (função de verossimilhança), através do teorema de Bayes.

2 DESCRIÇÃO DA OBRA

A obra de modernização do cais do Porto Novo de Rio Grande envolveu a construção de um novo cais com 450 m de extensão, apoiado no antigo muro de cais pelo lado de terra, e em 72 novas estacas mistas pelo lado de mar. O projeto foi dividido em seis módulos, cada um com 75 m de extensão, constando de uma plataforma rígida em seu plano, três vigas paralelas ao cais, estacas Franki (terra) e estacas mistas (mar), conforme exposto na Figura 1.

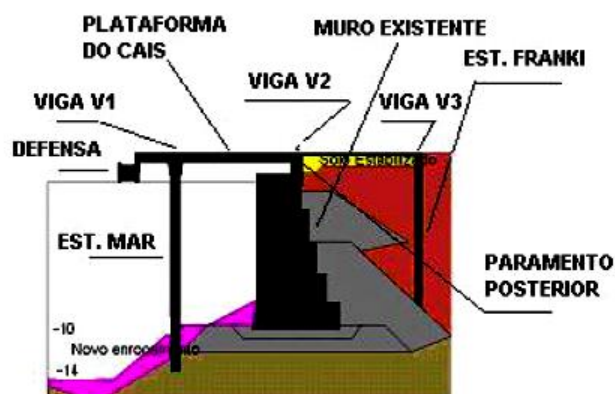


Figura 1. Seção transversal do cais (Lobo, 2003).

Para o projeto, foi realizada uma campanha de ensaios do tipo SPT (“Standard Penetration Test”), composta de furos de sondagem a cada 100 m, tanto do lado do mar quanto em terra firme. Foram executados 12 furos de sondagem, sendo que destes, 7 foram executados sob lâmina d’água e 5 em terra firme. Os boletins de sondagens podem ser encontrados em Lobo (2003) e Magalhães (2011). Na Figura 2 encontra-se um perfil geotécnico esquemático, baseado nos resultados das sondagens de mar.

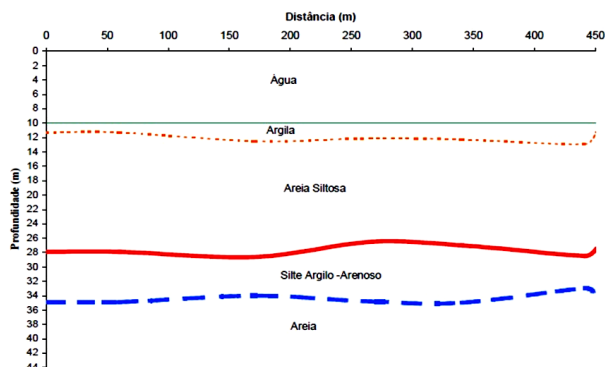


Figura 2. Perfil longitudinal no mar (Magalhães, 2011).

As estacas de mar são mistas (tubos metálicos preenchidos parcialmente com concreto armado). O tubo metálico tem comprimento total de 48m, diâmetro externo de 0,7112 m (28”) e espessura de 9,53 mm. O tubo é preenchido com concreto armado da cota + 1,05 m à cota -21,00 m. O aço que constitui os tubos metálicos das estacas possui uma tensão de escoamento de 316 MPa e o módulo de elasticidade é de 210 GPa. O concreto usado para o preenchimento das estacas possui resistência característica $f_{ck} \geq 30$ MPa e aço CA-50, com cobrimento de 5 cm.

De acordo com o projeto, cada estaca recebe em seu topo uma carga máxima de compressão de 3000 kN e um momento fletor de 310 kNm em qualquer direção. A cravação das estacas foi realizada como martelo modelo DELMAG D-44 (martelo automático a diesel).

Durante a execução do estaqueamento, foi anotado o boletim de cravação de todas as estacas, bem como efetuada a medida de nega ao final da cravação, conforme preconiza a norma brasileira NBR 6122 (2010).

3 ESTIMATIVA “A PRIORI”

No presente estudo, o cais foi dividido em cinco áreas de influência, abrangendo cinco furos de sondagens tipo SPT, executados sob lâmina d’água: S1A, S2B, S3B, S4A e S5 (Figura 3).

Na estimativa da capacidade de carga das estacas, com base nos resultados dos ensaios tipo SPT, adotaram-se dois métodos de previsão: Aoki e Velloso (1975) (com modificações propostas por Laprovitera, 1988, e

Benegas, 1993), e Décourt e Quaresma (1978) (também Décourt et al., 1999).

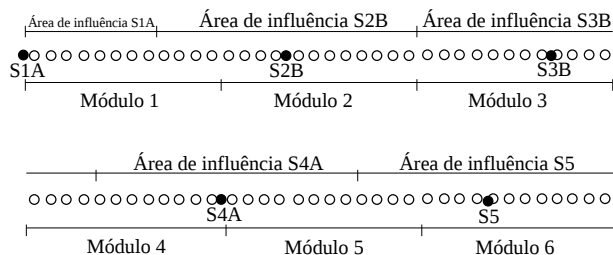


Figura 3. Áreas de influência.

A distribuição probabilística “a priori” da capacidade de carga foi estimada adotando-se a formulação descrita em Alves e Amadori (2012), onde a variabilidade (dispersão) dos valores de N_{SPT} (admitido como variável aleatória) foi incluída nas equações de previsão de Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978), através da aplicação do método FOSM (“First Order Second Moment”). A dispersão no valor de N_{SPT} pode refletir as incertezas associadas aos resultados do próprio ensaio, a variabilidade espacial do solo, bem como as incertezas associadas aos métodos de estimativa de capacidade de carga.

Com base em dados publicados da literatura técnica (Baecher e Christian, 2008), neste trabalho foi adotado um coeficiente de variação CV (razão entre desvio padrão e média) de 50% para os valores de N_{SPT} .

Um vez que as fundações são constituídas por estacas de ponta aberta, admitiu-se por hipótese que as estacas não embucham durante a cravação. Assim, a capacidade de carga geotécnica é composta por uma parcela de ponta (correspondente à área anelar da seção transversal da estaca), uma parcela de atrito lateral externo, e uma parcela de atrito lateral interno (oriunda da coluna de solo posicionada no interior da estaca). O atrito lateral interno foi estimado a partir do atrito externo, considerando-se a diferença entre os perímetros interno e externo, e também um deslocamento da coluna interna de solo em relação à superfície do leito natural. A cota superior da coluna interna de solo foi considerada igual a - 22 metros. Admitiu-se também que o atrito

unitário interno da estaca é igual a 70% do atrito unitário externo.

A cota de assentamento escolhida para a ponta das estacas foi aquela onde a capacidade de carga média era igual ou maior do que o dobro da maior carga aplicada em cada estaca, ou seja, maior ou igual a 6000 kN.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados da análise “a priori”, para os dois métodos de previsão adotados, em termos de elevação da ponta, média (μ_p), desvio padrão (σ_p) e coeficiente de variação (CV, razão entre desvio padrão e média) da capacidade de carga estimada.

Tabela 1. Parâmetros da distribuição “a priori” – Método de Aoki & Velloso.

Área de Influência	Elevação (m)	μ_p (kN)	σ_p (kN)	CV
S1A	-40,20	6046	503	8%
S2B	-40,20	6136	495	8%
S3B	-39,20	6270	523	8%
S4A	-36,20	6081	531	9%
S5	-40,20	6046	494	8%

Tabela 2. Parâmetros da distribuição “a priori” – Método de Décourt & Quaresma.

Área de Influência	Elevação (m)	μ_p (kN)	σ_p (kN)	CV
S1A	-36,20	6246	856	14%
S2B	-35,20	6113	808	13%
S3B	-36,20	6091	838	14%
S4A	-34,20	6228	920	15%
S5	-36,20	6080	677	11%

Observa-se que o método de Décourt & Quaresma previu profundidades de assentamento ligeiramente menores do que o método de Aoki & Velloso (3,60 m, em média). Além disso, os resultados do método de Aoki & Velloso apresentaram coeficientes de variação entre 8% e 9% para a capacidade de carga, enquanto que o método de Décourt & Quaresma apresentou coeficientes de variação entre 11% e 15%.

4 FUNÇÃO DE VEROSSIMILHANÇA

No presente estudo, a capacidade de carga das estacas será avaliada objetivamente a partir das negas medidas ao final da cravação. Foram analisados os dados de 64 das 72 estacas de mar utilizadas na obra, devido à ausência dos boletins de cravação das demais estacas.

O procedimento para definição da função de verossimilhança se baseou na proposta de Guttormsen (1987), adotada também por Cabral (2008). O procedimento se fundamenta na construção de curvas de cravabilidade, que são relações entre a resistência (estática) do solo à cravação (SRD, do inglês “soil resistance to driving”) e o inverso da nega (também chamado de número de golpes por metro, ou BCN, do inglês “blow count number”). Os métodos de construção de tais curvas dependem de parâmetros dinâmicos relativos à estaca, ao solo e ao martelo de cravação.

A variabilidade (incerteza) da resistência da estaca é avaliada através de três curvas de cravabilidade: uma curva construída com parâmetros médios (curva “esperada”), e duas outras curvas construídas com os valores médios dos parâmetros somados ou subtraídos do seu respectivo desvio padrão, de maneira a formar uma curva “superior” e uma curva “inferior” de resistência, conforme mostrado na Figura 4.

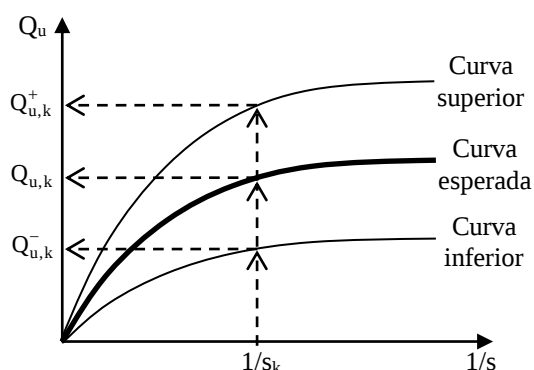


Figura 4. Curvas de capacidade de carga versus o inverso da nega.

Foi utilizado neste trabalho um procedimento ligeiramente modificado em relação ao procedimento original de Guttormsen (1987). De acordo com o procedimento modificado, a

partir dos valores de nega obtidos ao final da cravação, obtém-se, para cada estaca k , a sua capacidade de carga esperada ($Q_{u,k}$), a sua capacidade superior ($Q_{u,k}^+$) e a sua capacidade inferior ($Q_{u,k}^-$).

Chamando de m o número total de estacas em uma determinada área de influência, o valor médio da capacidade de carga estática (μ_L) será igual à média dos valores esperados da capacidade de carga de todas as estacas daquela área. Já a variância da capacidade de carga em uma determinada área de influência (σ_L^2) será considerada igual à soma de duas variâncias parciais:

$$\sigma_L^2 = \sigma_{L,s}^2 + \sigma_{L,v}^2 \quad (1)$$

A parcela $\sigma_{L,s}^2$ é a variância espacial da capacidade de carga esperada, traduzida pela variabilidade das negas medidas na área de influência:

$$\sigma_{L,s}^2 = \frac{\sum_{k=1}^m (Q_{u,k} - \mu_L)^2}{m - 1} \quad (2)$$

A parcela $\sigma_{L,v}^2$ é a variância paramétrica, relativa às incertezas dos parâmetros adotados na construção das curvas de resistência. O valor de $\sigma_{L,v(k)}^2$ de cada estaca é estimado da seguinte forma:

$$\sigma_{L,v(k)}^2 = \left(\frac{Q_{u,k}^+ - Q_{u,k}^-}{2} \right)^2 \quad (3)$$

O valor de $\sigma_{L,v}^2$ de uma área de influência será igual ao valor médio de $\sigma_{L,v(k)}^2$ relativo a todas as estacas situadas naquela área.

Há duas formas possíveis para construção das curvas de cravabilidade: através de simulações baseadas na teoria de propagação de ondas em estacas (método mais preciso), ou através de fórmulas dinâmicas (método aproximado, sujeito a maiores incertezas). No presente trabalho, foi utilizada a fórmula

dinâmica atribuída a Weisbach (Jumikis, 1971):

$$Q_d = \frac{2 \cdot e_H \cdot W \cdot h}{s + \sqrt{s^2 + 2 \cdot e_H \cdot W \cdot h \cdot \frac{L}{E \cdot A}}} \quad (4)$$

onde Q_d é a resistência (dinâmica) mobilizada ao final da cravação, e_H é a eficiência do martelo de cravação, W é o peso do martelo, h é a altura de queda do martelo, s é a nega, L é o comprimento da estaca, E é o módulo de elasticidade do material que compõe a estaca, e A é a área da seção transversal da estaca.

Neste estudo, a fórmula original de Weisbach sofreu uma alteração, substituindo-se o comprimento real L pelo comprimento equivalente $L^* = \alpha \cdot L$, sendo α um fator de proporcionalidade, função do mecanismo de transferência de carga da estaca. Este fator pode variar entre 0,5 (estaca sem transferência de carga pela ponta) até 1,0 (estaca sem transferência de carga por atrito).

Além disso, a transformação da resistência dinâmica ao final da cravação (Q_d) em uma capacidade de carga estática de longo prazo (Q_u) é realizada através de um fator de correção. Este fator de correção é entendido como sendo a razão entre um fator de crescimento da capacidade de carga com o tempo ("set-up"), FT, e um fator de amplificação dinâmica FD, que representa a relação entre as resistências mobilizadas na estaca por uma ação dinâmica e por uma ação estática.

Assim, a fórmula modificada de Weisbach fica:

$$Q_u = \frac{2 \cdot e_H \cdot W \cdot h}{s + \sqrt{s^2 + 2 \cdot e_H \cdot W \cdot h \cdot \frac{\alpha \cdot L}{E \cdot A}}} \cdot \frac{FT}{FD} \quad (5)$$

Os parâmetros considerados determinísticos na análise foram o peso do martelo (W), a área da estaca (A), o módulo de elasticidade do material da (E) e o parâmetro α (estimado com base em resultados de ensaios de carregamento dinâmico realizados em estacas da obra). Na Tabela 3 são mostrados os valores adotados para estes parâmetros.

Tabela 3. Parâmetros determinísticos adotados na fórmula dinâmica.

Parâmetro	Valor
W (kN)	42,27
A (m ²)	0,021
E (kN/m ²)	21 x 10 ⁷
α	0,5675

O comprimento L das estacas também foi considerado um parâmetro determinístico, calculado em cada estaca com base nas cotas de topo e ponta registrados durante a cravação.

Os parâmetros considerados aleatórios na análise foram a altura de queda do martelo (h), a eficiência do martelo (e_H), e os fatores de correção FT e FD. A altura de queda foi considerada aleatória, uma vez que não foi registrada com precisão nos registros de cravação, talvez por se tratar de um martelo diesel. Na Tabela 4 são mostrados os valores máximo e mínimo concebíveis para cada parâmetro. A avaliação da faixa de variação concebível para cada parâmetro deve ser baseada em dados técnicos disponíveis e em um cuidadoso julgamento de engenharia.

Tabela 4. Parâmetros aleatórios adotados na fórmula dinâmica.

Parâmetro	Faixa de variação	
	Mínimo	Máximo
h (m)	1,50	2,50
e _H	0,60	0,80
FT	2,0	3,0
FD	1,5	2,0

A valor médio dos parâmetros aleatórios foi obtido pela média aritmética entre os valores extremos concebíveis (máximo e mínimo). Já o desvio padrão dos parâmetros aleatórios foi estimado a partir da faixa de variação concebível (subtração entre o valor máximo e o valor mínimo). Adotou-se a “regra dos 3- σ ”, baseada no fato de que 99,73% de todos os valores de um parâmetro aleatório normalmente distribuído recaem ao redor de três desvios padrão do valor médio. Assim, em princípio, o desvio padrão de um parâmetro poderia ser estimado dividindo a faixa de variação por 6. Porém, são reportadas na literatura situações em que a divisão da faixa de variação por 6 conduz

a subestimativas do desvio padrão. Assim, no presente estudo, adotou-se a divisão da faixa de variação por 4, conforme sugestão de Duncan (2001).

A Tabela 5 demonstra os valores da função verossimilhança para este estudo em cada área de influência.

Tabela 5. Parâmetros para a função de verossimilhança.

Área de Influência	Elevação média (m)	μ_L (kN)	σ_L (kN)	CV
S1A	-38,72	6138	791	13%
S2B	-41,28	6109	795	13%
S3B	-40,23	6077	794	13%
S4A	-37,03	6220	817	13%
S5	-37,71	6341	833	13%

É possível observar que as capacidades médias obtidas através da função de verossimilhança foram bastante próximas das previstas nas estimativas “a priori”. As profundidades alcançadas também foram muito próximas daquelas previstas. A dispersão da função de verossimilhança (representada pelo seu desvio padrão) também tem boa aproximação à dispersão das estimativas “a priori”.

5 ESTIMATIVA “A POSTERIORI”

A estimativa de capacidade de carga “a posteriori” das estacas, através do Teorema de Bayes, combina as estimativas “a priori” (as quais representam as previsões da capacidade de carga das estacas, obtidas a partir dos métodos semi-empíricos), com a função de verossimilhança (obtida a partir dos resultados medidos durante e após a cravação das estacas).

Guttormsen (1987) apresenta as equações para atualização bayesiana da capacidade de carga de estacas, admitindo normalidade e independência entre as distribuições de probabilidade “a priori” e a função de verossimilhança:

$$\mu_U = \frac{\sigma_L^2 \cdot \mu_P + \sigma_P^2 \cdot \mu_L}{\sigma_L^2 + \sigma_P^2} \quad (6)$$

$$\sigma_U^2 = \frac{\sigma_L^2 \cdot \sigma_P^2}{\sigma_L^2 + \sigma_P^2} \quad (7)$$

onde μ_U é o valor médio atualizado, σ_U^2 é a variância atualizada da capacidade de carga estática das estacas, e os demais parâmetros já descritos anteriormente.

Guttormsen (1987) também propõe um “indicador de falha”, que tem por objetivo avaliar a eficiência da atualização efetuada. O indicador é calculado como segue:

$$D = \frac{\mu_L - \mu_P}{\sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_P^2}} \quad (8)$$

De acordo com Guttormsen (1987), um valor de D (em módulo) menor do que 1,5 indica uma atualização satisfatória da resistência oferecida durante a cravação. Valores superiores indicam que as duas curvas de distribuição probabilística (priori e verossimilhança) são muito diferentes entre si, o que pode eventualmente indicar um erro de avaliação em uma delas.

Nas Tabelas 6 e 7 encontram-se os resultados atualizados de capacidade de carga, adotando a estimativa “a priori” prevista pelos métodos de Aoki & Velloso e Décourt & Quaresma, respectivamente.

Tabela 6. Parâmetros da distribuição “a posteriori” – Método de Aoki & Velloso.

Área de Influência	μ_U (kN)	σ_U (kN)	CV	D
S1A	6073	424	7%	0,10
S2B	6129	420	7%	-0,03
S3B	6211	437	7%	-0,20
S4A	6122	445	7%	0,14
S5	6123	425	7%	0,31

Tabela 7. Parâmetros da distribuição “a posteriori” – Método de Décourt & Quaresma.

Área de Influência	μ_U (kN)	σ_U (kN)	CV	D
S1A	6187	581	9%	-0,09
S2B	6111	566	9%	0,00
S3B	6083	576	9%	-0,01
S4A	6223	611	10%	-0,01
S5	6184	525	8%	0,24

Os resultados da atualização foram satisfatórios, de acordo com o critério de Guttormsen (1987). Observa-se uma concordância ligeiramente superior entre as previsões do método de Décourt & Quaresma e as observações baseadas no controle de cravação. Porém, as dispersões geradas pelo método de Aoki & Velloso foram menores.

Nota-se uma redução geral nas dispersões das capacidades atualizadas, em relação às dispersões observadas nas estimativas “a priori” e na função de verossimilhança, o que caracteriza uma redução na incerteza pelo acréscimo de informações decorrente da combinação das estimativas subjetivas com as observações de campo.

6 CONCLUSÕES

O estudo aplicou uma metodologia bayesiana para atualização das capacidades de carga das estacas de um cais portuário. Os resultados demonstram que foi possível uma atualização satisfatória, combinando uma estimativa subjetiva “a priori” com observações objetivas da capacidade de carga, permitindo uma redução na incerteza em relação aos valores de capacidade de carga, e conseqüentemente um aumento na confiabilidade do projeto de fundações.

AGRADECIMENTOS

O quarto autor agradece ao CNPq o apoio recebido para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). *Projeto e Execução de Fundações*, NBR 6122, Rio de Janeiro, 91 p.
- Alves, A.M.L. e Amadori, T. (2012). Variância Estatística Associada a Métodos Semi-empíricos para Estimativa da Capacidade de Carga de Estacas, *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, No. 20, p. 61-67.

- Amadori, T. (2013). *Análise de Confiabilidade das Fundações da Obra de Ampliação do Cais do Terminal de Contêineres do Porto de Rio Grande (RS) Aplicando Metodologia Bayesiana*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal de Rio Grande, 155 p.
- Aoki, N., Velloso, D.A. (1975). An Approximate Method to Estimate the Bearing Capacity of Piles, *Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, Buenos Aires, Vol. 1, p. 367-376.
- Aoki, N. (2002). Probabilidade de Falha e Carga Admissível de Fundação por Estacas, *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, Vol. XIX, p. 48-64.
- Baecher, G.B., Christian, J.T. (2008). Spatial Variability and Geotechnical Reliability, In: *Reliability-based design in Geotechnical Engineering*, Kok-Kwang Phoon (Ed.), Taylor & Francis, pp. 76-133.
- Baecher, G.B., Rackwitz, R. (1982). Factors of Safety and Pile Load Tests, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, Vol. 6, No. 4, p. 409-424.
- Benegas, E.Q. (1993). *Previsões para a Curva Carga-Recalque de Estacas a partir de SPT*, Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 93 p.
- Cabral, E. V. (2008). *Contribuição à Confiabilidade de Estacas Cravadas através de um Estudo de Caso com Aplicação da Teoria Bayesiana*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 136 p.
- Décourt, L., Albiero, J.H., Cintra, J.C.A. (1999). Análise e Projeto de Fundações Profundas, In: *Fundações Teoria e Prática*, 2ª. Ed., Capítulo 8, Editora Pini, São Paulo, 751p.
- Décourt, L., Quaresma Filho, A. R. (1978). Capacidade de Carga a partir de valores de SPT, *VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, Rio de Janeiro, Vol. 1, p. 45-53.
- De Mello, V.F.B. (2002). Reconstruindo as Bases para a Geotecnia Prática Comparativa Difundindo Estatística-Probabilidades (EP) Simples e Convidativas para Tudo, *XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, São Paulo, p. 1271-1294.
- Duncan, J.M. (2000). Factor of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 4, p. 307-316.
- Duncan, J.M. (2001). Closure on "Factor of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 127, No. 8, p. 717-721.
- Guttormsen, T.R. (1987). Uncertainty in Offshore Geotechnical Engineering, *Application of Bayesian Theory to Pile Driving Predictions*, Research Report Societe Nationale Elf Aquitaine, NGI Report 85307-9.
- Hachich, W. (1998). *Modelos Matemáticos e Probabilistas em Engenharia Geotécnica – Uma Sistematização em Forma de Sonata*, Tese de Livre Docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Jumikis, A.R. (1971). *Foundation Engineering*, Intext Educational Publishers, New York, 828 p.
- Kay, J.N. (1976). Safety Factor Evaluation of Single Piles in Sand, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 92, No. 1, p. 1-39.
- Kay, J.N. (1977). Factor of Safety for Piles in Cohesive Soils, *9th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, Vol. 1, p. 587-592.
- Lacasse, S., Guttormsen, T.R. e Goulois, A. (1990). Bayesian Updating of Axial Capacity of Single Pile, *5th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR'89)*, ASCE, p. 287-290.
- Lacasse, S., e Nadim, F. (1998). Risk and Reliability in Geotechnical Engineering, *4th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, St. Louis, p. 1172-1192.
- Laprovitera, H. (1988). *Reavaliação de Método Semi-empírico de Previsão da Capacidade de Carga de Estacas a partir de Banco de Dados*, Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 231 p.
- Lobo, B.O. (2003). *Verificação de Desempenho das Fundações da Obra de Modernização de um Cais de Gravidade*, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande, 161 p.
- Luzzardi, F. J. A. (2015). *Análise de Confiabilidade das Fundações do Cais do Estaleiro Honório Bicalho no Porto de Rio Grande (RS) Aplicando Metodologia Bayesiana*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, 134 p.
- Magalhães, F. C. (2011). *Análise das Fundações da Obra de Modernização do Cais do Porto Novo de Rio Grande (RS) Aplicando Metodologia Bayesiana*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, 162 p.
- Santos, M.S. (2007). *Inferência Bayesiana na Avaliação da Segurança de Fundações em Estacas de Deslocamento*, Dissertação de mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 157 p.
- Sidi, I.D. e Tang, W.H. (1987). Updating Friction Pile Capacity in Clay, *5th International Conference on Application of Statistics and Probability in Soil and Structural Engineering*, Vancouver, p. 938-945.
- Sugai, M. e Matsuo, M. (1993). The Control of Steel Pipe Pile Driving Based on Reliability Analysis of Bearing Capacity Estimation, *Soils and Foundations*, Vol. 33, No. 3, p. 40-53.
- Zhang, L. e Tang, W.H. (2002). Use of Load Tests for Reducing Pile Length, *An International Perspective on Theory, Design, Construction, and Performance*, Geotechnical Special Publication No. 116, p. 993-1005.