

Estudos de Confiabilidade e Segurança de Fundações Profundas no Complexo Industrial de Suape com Análise da Variabilidade de Projeto

Alfredo Nunes da Silva Neto

Universidade Católica de Pernambuco/UNICAP, Recife-PE, Brasil, alfredonunes91@gmail.com

Joaquim Teodoro Romão de Oliveira

Universidade Católica de Pernambuco/UNICAP e UFPE, Olinda-PE, Brasil, jtrdo@uol.com.br

RESUMO: O Complexo Industrial de Suape é considerado um dos principais polos de investimento do país. Sua localização estratégica em relação às principais rotas marítimas de navegação o mantém conectado a mais de 160 portos em todos os continentes. Neste contexto a região está despertando interesse da comunidade geotécnica em relação ao subsolo do complexo. Os conceitos de confiabilidade já são largamente empregados em outras engenharias e sua aplicação em obras de engenharia civil tem colaborado para elaboração de projetos com nível de segurança adequado e grau de risco conhecido. Na seguinte pesquisa são estudadas duas obras do Complexo Industrial de Suape, o Cais IV e o Dique seco do Estaleiro Atlântico Sul, cada qual apresentando um perfil geotécnico típico da região, tendo como objetivo estimar a probabilidade de ruína e o índice de confiabilidade dos grupos de estacas das duas obras, a partir da análise da capacidade de carga através de métodos semiempíricos e comparar os resultados obtidos com os dados recomendados na literatura e em normas internacionais. A metodologia adotada para análise de confiabilidade foi a sugerida por Cintra e Aoki (2010) e Aoki (2011). Estes autores consideram que a população analisada é finita e que as curvas de densidade de probabilidade de Resistência (R) e de Solicitação (S) seguem uma distribuição normal simétrica. Conclui-se que a probabilidade de ruína varia consideravelmente para diferentes métodos de estimativa de capacidade de carga, assumindo valores que variam de 1/20.186.345 a 1/186.368 numa mesma obra, gerando resultados com valores de confiabilidade e segurança, aceitos ou não, pela literatura e por normas internacionais para um mesmo grupo de estacas.

PALAVRAS-CHAVE: Estacas, Capacidade de Carga, Probabilidade de ruína, Confiabilidade.

1 INTRODUÇÃO

As obras de engenharia estão sujeitas à variabilidade das solicitações e das resistências em seu sistema. No caso de obras de fundações, a situação é mais crítica, já que além da variabilidade dos materiais dos elementos estruturais, também existe a grande variabilidade das características do maciço geotécnico da fundação (Barros, 2012). Portanto é fundamental, para a eficaz elaboração de um projeto de fundação, se conhecer qual parâmetro pode influenciar mais na variabilidade dos

valores de capacidade de carga, proporcionando assim uma probabilidade de ruína maior e uma confiabilidade menor, gerando mais risco para o empreendimento.

O Cais IV de Suape, inaugurado em 2007, possui 330 metros de extensão e atualmente, movimentam cargas gerais e grãos. O dique seco do Estaleiro Atlântico Sul possui 358 metros de extensão, 181,5 metros de largura e 12 metros de profundidade. No Cais IV foram estudadas estacas pré-moldadas de concreto e no Dique Seco estacas hélices contínuas com a finalidade de determinar a capacidade de carga,

probabilidade de ruína e posteriormente a confiabilidade destas. Segundo Silva (2011), as mesmas foram escolhidas devido as suas solicitações elevadas e a importância do conhecimento de suas resistências para a integridade estrutural das obras.

Portanto o presente artigo tem como objetivo estimar a probabilidade de ruína e o índice de confiabilidade, obtidos com a análise da capacidade de carga através dos métodos semiempíricos sugeridos por Aoki-Velloso (1975), Antunes e Cabral (1996) e Teixeira (1996), de dois grupos de estacas situadas no Cais IV e no Dique Seco do Estaleiro Atlântico Sul, ambas no Complexo Industrial de Suape, e comparar os resultados obtidos com os dados recomendados na literatura e em normas internacionais.

2 MATERIAL E METODOLOGIA

2.1 Caracterização Geológica da Região

Na formação geológica do município de Ipojuca, onde está localizado o complexo industrial de Suape são encontrados seis tipos litológicos distintos de rochas: conglomerados, calcários, rochas vulcânicas, arenitos, argilitos e sedimentos inconsolidados englobando: areias, argilas, siltes, cascalhos e turfas (Pfaltzgraff, 1998).

Os sedimentos inconsolidados, que formam as áreas planas do município, mesclam-se de áreas com boa capacidade de suporte, caracterizadas pelos terraços litorâneos, planícies aluviais, praias e planícies flúvio-lagunar, compostas por camadas de areias, cascalhos e algumas argilas, com áreas de baixa capacidade de suporte (camadas de turfas, areias fofas e argilas orgânicas), representadas pelas áreas de manguezais.

Na campanha de investigação geotécnica do Cais IV foram realizados furos de sondagem à percussão SPT para identificar o perfil do solo, mostrando a disposição das camadas, número de golpes do ensaio SPT até o limite de sondagem (40 metros de profundidade). As sondagens estudadas nesta obra, para determinação da capacidade de carga das

estacas, são as seguintes: SP-04, SP-11, SP-14 e SP-22, contendo a seguinte classificação do solo nas camadas: Solo 1 (Areia siltosa, fofa e pouco compacta); Solo 2 (Argila orgânica, muito mole); Solo 3 (Arenito); Solo 4 (Areia média a fina, siltosa, compacta e medianamente compacta); Solo 5 (Argila orgânica, muito mole); Solo 6 (Areia média a fina, siltosa, compacta e medianamente compacta); Solo 7 (Argila siltosa, muito mole); Solo 8 (Areia média a fina compacta).

As sondagens estudadas no Dique Seco são as seguintes: SM06, BHM06, BHM08, BHM09, SMA14 e SPT67, contendo a seguinte classificação do solo nas camadas: Solo 1 (Areia pouco compacta); Solo 2 (Areia média e fina, medianamente compacta); Solo 3 (Areia pouco compacta); Solo 4 (Areia fina e média, muito compacta); Solo 5 (Areia média e grossa, compacta); Solo 6 (Areia fina à média, compacta à muito compacta); Solo 7 (Areia siltosa, medianamente compacta); Solo 8 (Silte arenoso pouco argiloso, medianamente compacto); Solo 9 (Argila siltosa dura).

2.2 Apresentação da Obra

O Cais IV conta com 330m de extensão e largura de 33,40m de linha de atracação. A infraestrutura conta com 6 (seis) estacas tubulares metálicas e núcleo de concreto armado, e 336 (trezentos e trinta e seis) estacas pré-moldadas de concreto protendido de comprimento médio previsto de 40m, distribuídas em 84 (oitenta e quatro) eixos com 4 (quatro) estacas por eixo. As estacas estudadas nesta obra encontram-se descritas em Silva (2011), são pré-moldadas de concreto protendido e possuem diâmetro de 0,80 m.

No Cais IV foram selecionadas para estudo as quatro estacas de maior solicitação estabelecida entre 1.500 a 2.500 KN.

O Dique seco conta com 400 metros de extensão, 73 metros de largura e 12 metros de profundidade.

As estacas estudadas no Dique seco são do tipo hélice contínua com diâmetro de 0,60 metros, as quais apresentam a maior solicitação da obra, com valor médio de solicitação igual a 2.200 kN.

2.3 Apresentação da Metodologia

A metodologia adotada para análise de confiabilidade foi a sugerida por Cintra e Aoki (2010) e Aoki (2011). Estes autores consideram que a população analisada é finita e que as curvas de densidade de probabilidade de Resistência (R) e de Solicitação (S) seguem uma distribuição normal simétrica (ver também Aoki, 2002). Os autores citados utilizam a seguinte notação que será adotada neste artigo:

Sméd – valor médio da solicitação

Rméd – valor médio da resistência

σ_s – desvio padrão da solicitação

σ_r – desvio padrão da resistência

vs – coeficiente de variação da solicitação

vr – coeficiente de variação da resistência

Fs – fator de segurança global

β – índice de confiabilidade

pf – probabilidade de ruína

$\phi(\beta)$ – função de distribuição normal

Onde:

$$v_s = \frac{\sigma_s}{S_{méd}} \quad (1)$$

$$v_r = \frac{\sigma_r}{R_{méd}} \quad (2)$$

$$FS = \frac{R_{méd}}{S_{méd}} \quad (3)$$

$$FS = 1 + \beta \cdot \sqrt{\frac{v_s^2 + v_r^2 - (\beta^2 \cdot v_s^2 \cdot v_r^2)}{1 - (\beta^2 \cdot v_r^2)}} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{1 - \frac{1}{FS}}{\sqrt{v_r^2 + \left(\frac{1}{FS}\right)^2 \cdot v_s^2}} \quad (5)$$

$$pf = 1 - \phi(\beta) \quad (6)$$

A Equação (5) foi deduzida por Cardoso e Fernandes (2001) e a Equação (6) foi demonstrada por Ang e Tang (1984), conforme citado por Cintra e Aoki (2010). Para o cálculo da função de distribuição normal foi utilizada a planilha eletrônica Excel (ver Cintra e Aoki, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Determinação da Capacidade de Carga

No Cais IV a capacidade de carga das quatro estacas estudadas foi estimada através dos métodos semiempíricos sugeridos por Aoki-Velloso (1975) e Teixeira (1996) tendo como referência de cálculo, quatro sondagens (SP-04, SP-11, SP-14 e SP-22).

No Dique Seco a capacidade de carga das cinco estacas estudadas foi estimada através dos métodos semiempíricos sugeridos por Aoki-Velloso (1975) e Antunes e Cabral (1996) tendo como referência de cálculo, seis sondagens (SM06, BHM06, BHM08, BHM09, SMA14 e SPT67).

3.2 Variação dos Resultados de Resistência e Solicitação

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados estatísticos de resistência encontrados para os dois métodos e a Tabela 3 apresenta os resultados estatísticos de solicitação, mostrando os valores de coeficiente de variação da resistência (vr), estimado através da equação (2), e coeficiente de variação da solicitação (vs), conforme equação (1), do estaqueamento estudado no Cais IV.

Tabela 1. Análise estatística dos valores de resistência estimados através do método Aoki-Velloso (1975).

Análise estatística dos valores de resistência			
Estacas	Resistência média (kN)	Desvio padrão (kN)	Coeficiente de variação (vr)
E1-20	5158,5	615,22	0,119
E1-21	5027,4	810,76	0,161
E1-22	5050,0	606,61	0,120
E1-23	5050,0	606,61	0,120
TOTAL	5071,5	597,61	0,118

Tabela 2. Análise estatística dos valores de resistência estimados através do método Teixeira (1996).

Análise estatística dos valores de resistência			
Estacas	Resistência média (kN)	Desvio padrão (kN)	Coeficiente de variação (vr)
E1-20	5208,3	902,70	0,173
E1-21	5386,2	578,03	0,107
E1-22	5506,3	329,52	0,060
E1-23	5506,3	329,52	0,060
TOTAL	5401,8	537,68	0,100

Tabela 3. Análise estatística dos valores de solicitação.

Análise estatística dos valores de solicitação				
Estacas	Carga de trabalho (kN)	Solicitação média (kN)	Desvio padrão (kN)	Coefficiente de variação (vs)
E1-20	2400,0	2150,0	288,68	0,134
E1-21	1900,0			
E1-22	2400,0			
E1-23	1900,0			

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados estatísticos de resistência encontrados para os dois métodos, assim como a Tabela 6 apresenta os resultados estatísticos de solicitação, mostrando os valores de coeficiente de variação da resistência, e coeficiente de variação da solicitação, dos estaqueamentos estudados no Dique seco.

Tabela 4. Análise estatística dos valores de resistência estimados através do método Aoki-Velloso (1975).

Análise estatística dos valores de resistência			
Estacas	Resistência Média (kN)	Desvio padrão (kN)	Coefficiente de Variação (vr)
B5E31	4992,3	699,9	0,1402
E32	4819,2	627,4	0,1302
E53	4945,9	630,4	0,1275
E74	4947,4	630,7	0,1275
E75	4817,7	627,1	0,1302
TOTAL	4904,5	602,2	0,1228

Tabela 5. Análise estatística dos valores de resistência estimados através do método Antunes e Cabral (1996).

Análise estatística dos valores de resistência			
Estacas	Resistência Média (kN)	Desvio padrão (kN)	Coefficiente de Variação (vr)
B5E31	5066,1	1205,1	0,2379
E32	4924,8	1151,8	0,2339
E53	4985,7	1159,3	0,2325
E74	4987,5	1159,8	0,2325
E75	4923,0	1151,4	0,2339
TOTAL	4977,5	1083,6	0,2177

Segundo Cintra e Aoki (2010), quando os dados disponíveis não apresentam um valor de coeficiente de variação da solicitação, na análise de probabilidade de ruína, deve-se adotar o coeficiente como sendo de 10%.

Tabela 6. Análise estatística dos valores de solicitação.

Análise estatística dos valores de solicitação			
Estacas	Carga de trabalho (kN)	Solicitação média (kN)	Coefficiente de variação (vr)
B5E31	2200,0	2200,0	0,1
E32	2200,0		
E53	2200,0		
E74	2200,0		
E75	2200,0		

3.3 Análise das Curvas de Densidade de Probabilidade

Diante da variabilidade existente tanto em R como em S, pode-se fazer uma análise estatística e construir as curvas das funções de densidade de probabilidade de resistência e de solicitação, para o caso de distribuição normal simétrica. Foi assumido que as curvas de resistência e solicitação (Figuras 1 e 2) das estacas apresentam a distribuição normal sugerida por Gauss.

Verificando as Figuras 1 e 2, juntamente com os dados apresentados nas tabelas com os valores estatísticos de resistência e solicitação, pode-se perceber que as curvas de solicitação são mais fechadas e alongadas, quando comparadas com as de resistência, fato que revela a condição de os valores de solicitação estarem mais próximos dos valores médios, caracterizando assim uma maior densidade de probabilidade e menor desvio padrão de solicitação na análise de ambas as obras.

No estaqueamento do Cais IV a convolução das curvas, na Figura 1, apresenta-se pequena, para os resultados de capacidade de carga estimados pelos métodos Aoki – Velloso (1975) e Teixeira (1996), o que através destes indica que a obra estudada deve ter uma probabilidade de ruína baixa, uma vez que a solicitação ultrapassa uma parcela reduzida dos valores de resistência, onde a $Sméd$ e a $Rméd$ estão afastadas o suficiente para garantir as margens de segurança (Zm) aceitáveis e os fatores de segurança (FS) iguais a 2,36 e 2,51 os quais se apresentam adequados, conforme a NBR 6122/2010.

No estaqueamento da obra do Dique Seco, a convolução das curvas, na Figura 2, se apresenta pequena, para os valores de

capacidade de carga estimados pelo método Aoki-Velloso (1975), o que indica que a obra deve ter uma probabilidade de ruína baixa, para um fator de segurança igual a 2,23, que se apresenta em conformidade com a NBR 6122/2010. Já para os valores de capacidade de carga estimados pelo método Antunes e Cabral (1996), a convolução das curvas se apresentou maior, o que indica uma maior probabilidade de ruína para fator de segurança igual a 2,26, onde o valor se encontra em conformidade com a NBR 6122/2010.

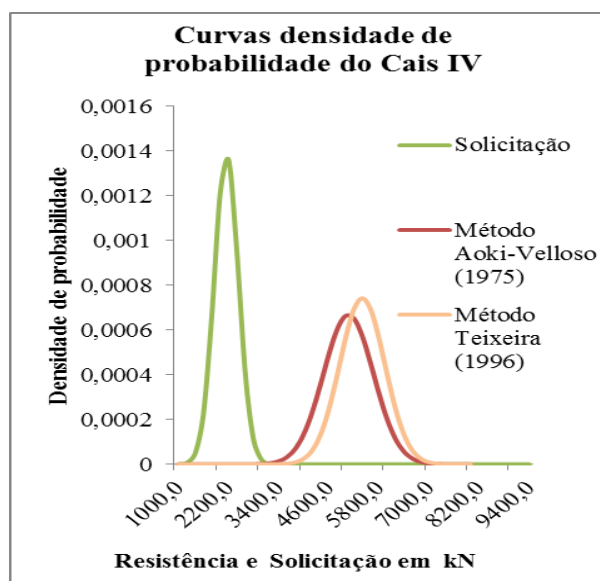


Figura 1. Curvas densidade de probabilidade do Cais IV.

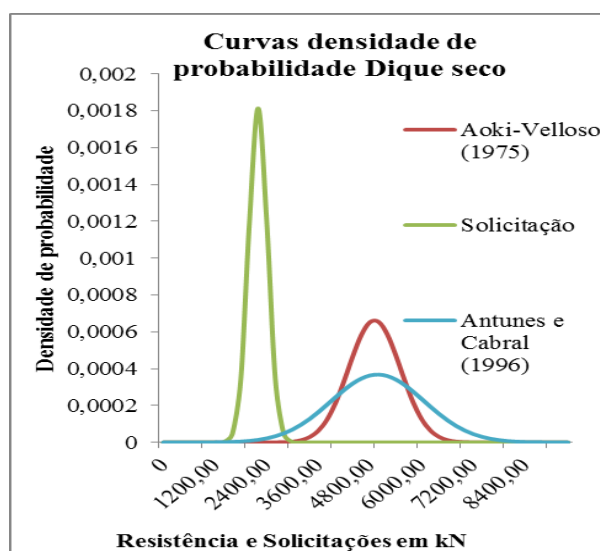


Figura 2. Curvas densidade de probabilidade do Dique Seco.

3.3 Resultados de Probabilidade de Ruína e Confiabilidade

Os valores de probabilidade de ruína e confiabilidade apresentados nas Tabelas 7 e 8 foram calculados através das fórmulas (6) e (5), assim como o fator de segurança apresentado foi estimado com o auxílio da fórmula (4).

Tabela 7. Valores da probabilidade de ruína e confiabilidade do projeto do Cais IV.

Índice de confiabilidade e probabilidade de ruína		
Método de estimativa de Capacidade de carga	Método Aoki - Velloso (1975)	Teixeira (1996)
Desvio padrão da margem de segurança (σ_z)	663,68	610,27
Margem de segurança média (Z_m)	2921,5	3251,8
Fator de segurança (FS)	2,36	2,51
Índice de confiabilidade (β)	4,402	5,328
Probabilidade de ruína (pf)	0,000005366	0,00000005

Tabela 8. Valores da probabilidade de ruína e confiabilidade dos projetos do Dique Seco.

Índice de confiabilidade e probabilidade de ruína		
Método de estimativa de Capacidade de carga	Método Aoki - Velloso (1975)	Antunes e Cabral (1996)
Desvio padrão da margem de segurança (σ_z)	641,1	1105,7
Margem de segurança média (Z_m)	2704,5	2777,5
Fator de segurança (FS)	2,23	2,26
Índice de confiabilidade (β)	4,22	2,51
Probabilidade de ruína (pf)	0,000012	0,006003

Segundo Meyerhof (1995) *apud* Cardoso e Fernandes (2001) considera que a probabilidade de ruína ligada a projetos de fundações deve se situar entre 0,0004 (1/2.500) a 0,0001 (1/10.000). Comparando ainda a outro critério,

Tabela 9. Escala subjetiva de risco e tempo de recorrência considerando a recomendação da norma MIL – STD – 882 (Clemens, 1983) ampliada e citada por Aoki (2011) - Oliveira et al. (2012)

β (Índice de Confiabilidade)	Ocorrência	Tempo recorrência	Frequência	Nível	Nível probabilidade	pf
-7,94	Certeza	1 dia	todo dia		1	1,000000
0,00	50% probabilidade	2 dias	a cada 2 dias		2×10^0	0,500000
0,52	Frequente	1 semana	toda semana	A	3×10^{-1}	0,300000
1,88	Provável	1 mês	todo mês	B	3×10^{-2}	0,030000
2,75	Ocasional	1 ano	todo ano	C	3×10^{-3}	0,003000
3,43	Remota	10 anos	a cada década	D	3×10^{-4}	0,000300
4,01	Extremamente remota	100 anos	a cada século	E	3×10^{-5}	0,000030
4,53	Impossível na prática	1000 anos	a cada milênio		3×10^{-6}	0,000003
7,27	Nunca	5,475E+12	idade do universo		0	1,82648E-13

Oliveira *et. al.* (2012) citado por Silva (2012) demonstra os limites de probabilidade de ruína que o Código Europeu estabelece:

- Em obra de pequeno porte (RC1), a probabilidade limite é de 1/2.069;
- Em obras comerciais (RC2), o limite é de 1/13.822 e;
- Em grandes obras (RC3) a probabilidade deve ser 1/117.096.

Para avaliar a confiabilidade do projeto, tem-se com referência a probabilidade de ruína seguindo a proporcionalidade apresentada na Figura 3 e a Tabela 9 apresentando risco e tempo de recorrência considerando a recomendação da norma MIL-STD-882.

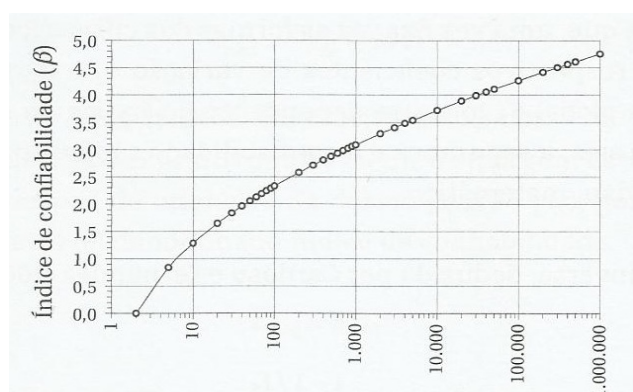


Figura 3. Relação entre o índice de confiabilidade e o inverso da probabilidade de ruína.

Serão a seguir, apresentados os valores de probabilidade de ruína, estimados para o Cais IV, na forma fracionária:

- $pf(Aoki-Velloso(1975)) = 1/186.368;$

- $pf(Teixeira(1996)) = 1/20.186.345;$

Na avaliação dos valores da probabilidade de ruína do Cais IV, pode-se afirmar que uma a cada 186.368 estacas vai chegar à condição de ruptura para o projeto estimado pelo método Aoki – Velloso (1975) assumindo índice de confiabilidade (β) igual a 4,4019. Para o projeto estimado através do método Teixeira (1996), se pode afirmar que uma a cada 20.186.345 estacas vai chegar à condição de ruptura com (β) igual a 5,328. Como o empreendimento conta com 336 estacas, nenhuma das quais deve chegar à condição de ruína. Os valores também atendem a recomendação estabelecida pelo código europeu, para obras classificadas no intervalo entre RC2 e RC3, e os critérios estabelecidos segundo Meyerhof, sendo o risco considerado aceitável.

Segundo a escala subjetiva de risco e tempo de recorrência considerando a recomendação da norma MIL (Tabela 15) a obra do Cais IV se classifica da seguinte forma:

- Para os valores estimados de ($\beta = 4,402$ e $\beta = 5,328$), com referência no $\beta = 4,53$ que mais se aproxima dos mesmos, como ocorrência de ruína impossível na prática;

A seguir, são apresentados os valores de probabilidade de ruína, do Dique Seco, na forma fracionária:

- $pf(Aoki-Velloso(1975)) = 1/81.316,3;$

- $pf(\text{Antunes e Cabral (1996)}) = 1/166,6$;

Na avaliação dos valores da probabilidade de ruína do Dique Seco, pode-se afirmar que uma a cada 81.316,6 estacas vão chegar à condição de ruptura para o projeto estimado pelo método Aoki – Velloso (1975) assumindo índice de confiabilidade (β) igual a 4,22. Para o projeto estimado através do método Antunes e Cabral (1996), se pode afirmar que uma a cada 166,6 estacas vão chegar à condição de ruptura com (β) igual a 2,51. Os valores estimados para esta obra pelo método Antunes e Cabral (1996) não atendem a recomendação estabelecida pelo código europeu, nem as estabelecidas segundo Meyerhof, sendo o risco considerado não aceitável. Já para o projeto estimado pelo método Aoki-Velloso (1975) a obra é considerada aceitável, tanto pelo código europeu, como segundo Meyerhof.

Segundo a escala subjetiva de risco e tempo de recorrência considerando a recomendação da norma MIL (Tabela 15) a obra se classifica da seguinte forma:

- Para o valor estimado de ($\beta = 4,22$), com referência no $\beta = 4,01$ que mais se aproxima do mesmo, como ocorrência de ruína extremamente remota;
- Para o valor estimado de ($\beta = 2,51$), com referência no $\beta = 2,75$ que mais se aproxima do mesmo, como ocorrência de ruína ocasional.

3 CONCLUSÕES

As principais conclusões do artigo são listadas abaixo:

- Os índices de confiabilidade (β) a priori foram estimados em 4,402 e 5,328 no Cais IV, para os métodos Aoki-Velloso (1975) e Teixeira (1996), que equivalem a risco de ocorrência praticamente impossível segundo Clemens (1983), citado por Aoki (2011);
- As probabilidades de ruína a priori estimadas pelos métodos, Aoki-Velloso (1975) e Teixeira (1996) para o Cais IV,

foram $pf(\text{Aoki-Velloso(1975)}) = 1/186.368$ e $pf(\text{Teixeira(1996)}) = 1/20.186.345$, o que é inferior ao limite aceitável segundo o Código Europeu e segundo Meyerhof;

- Os índices de confiabilidade (β) a priori foram estimados em 4,22 e 2,51 para o Dique seco, pelos métodos Aoki-Velloso (1975) e Antunes e Cabral (1996), que equivalem a risco de ocorrência extremamente remota para ($\beta=4,22$) e Ocasional para ($\beta=2,51$), segundo Clemens (1983), citado por Aoki (2011);
- A probabilidade de ruína a priori estimada para o Dique seco do Estaleiro Atlântico Sul, através do método Antunes e Cabral (1996), foi $pf = 1/166,6$, que é superior ao limite aceitável segundo o Código Europeu e segundo Meyerhof. Já a estimada pelo método Aoki-Velloso (1975) de $pf = 1/81.316,3$ a obra é considerada aceitável, tanto pelo código europeu, como segundo Meyerhof;
- O valor da probabilidade de ruína estimado a priori depende do método semiempírico utilizado para avaliação de resistência, ocasionando alta variabilidade nos resultados.
- Na obra do Cais IV podemos evidenciar uma grande variabilidade dos valores de probabilidade de ruína e confiabilidade estimados pelos dois métodos semiempíricos, para fatores de segurança com valores muito próximos, o que demonstra que mesmo utilizando fatores de segurança recomendados pela NBR 6122/2010 as obras podem não apresentar a confiabilidade desejada.

REFERÊNCIAS

- Ang, A.H-S, Tang, W. (1984). *Probability concepts in engineering planning and design*. Volume II: Decision, risk and reliability. John Wiley and sons. New York, EUA.
- Antunes, W. R.; Cabral, D. A. *Capacidade de carga de estacas hélice contínua*. In: SEFE, 3., 1996, São Paulo.

- Aoki, N. (2002). *Probabilidade de falha e carga admissível de fundações por estacas*. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, V.XIX, pp. 48-64, Brasil.
- Aoki, N. (2011). *A probabilidade de ruína e os fatores de segurança em fundações*. 7ª. Palestra ABMS, CD-ROM, Recife, Brasil.
- Aoki, N., Velloso, D. A. (1975). *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*, Proceedings 5th Pan. Conf. on Soil Mech. and Found. Engineering, Buenos Aires.
- Barros, N. B. F. (2012). *Previsão de recalque e análise de confiabilidade de fundações em estaca hélice contínua*. Dissertação de mestrado – Escola de engenharia de São Carlos da universidade de São Paulo.
- Cardoso, A. S., Fernandes, M. M. (2001). *Characteristic values of ground parameters and probability of failure in desing according of Eurocode 7*. Géotechnique 51, No. 6, pp. 519-531.
- Cintra, J. C. A., Aoki, N. (2010). *Fundações por Estacas*. 1ª. Edição, Editora Oficina de Texto, Brasil.
- Oliveira, J. T. R. ; Futai, M. M. ; Oliveira, R.A. ; Ferreira, S. R. M. ; Silva, F.A.N. . *Considerações sobre patologias de fundações de prédios tipo caixa na Região Metropolitana do Recife - Interação entre os Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil da POLI/USP e UNICAP*. Revista Fundações e Obras Geotécnicas (JCR), v. 36, p. 54-62, 2013.
- Pfaltzgraff, P. A. S. (1998). *Carta geotécnica e de sustentabilidade a processos geológicos do Município de Ipojuca/Pernambuco*. Recife: CPRM/FINDEM.
- Silva, E. L. (2012). *Probabilidade de ruína aplicada em projetos de fundação por estacas de uma obra industrial da região metropolitana do Recife*. Projeto final de curso – Universidade Católica de Pernambuco.
- Silva, T.M. (2011). *Ensaio de carregamento dinâmico em estacas no Complexo de Suape*. Dissertação de mestrado – Universidade Católica de Pernambuco.
- Teixeira, A.H. (1996). *Projeto e execução de fundações*. Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, v. 1, p. 33-50, São Paulo.