

Influência Da Excentricidade Executiva Sobre A Probabilidade De Ruína De Fundações Em Estacas Na Região Metropolitana Do Recife

Marcelo Sabino Costa

Engenheiro, TPF Engenharia, Recife, Brasil, marcelosabino96@gmail.com

Pedro Eugênio Silva Oliveira

Professor, UPE, Olinda, Brasil, pedro.oliveira@poli.br

Joaquim Teodoro Romão Oliveira

Professor, UNICAP, Olinda, Brasil, jtrde@uol.com

RESUMO: Devido ao complexo subsolo da Região Metropolitana do Recife, do ponto de vista geotécnico, a escolha de estacas como solução para fundações é bastante frequente. A ocorrência de excentricidades executivas é recorrente, porém pouco estudada e analisada assim como os conceitos de confiabilidade, embora muito disseminados em outras engenharias como aeronáutica e de petróleo, ainda não são comumente utilizados pelos profissionais da área de geotécnica, que na maioria das vezes realizam apenas uma análise determinística (uso de um fator de segurança global) para os seus projetos, não garantindo, assim, um nível de segurança adequado e um grau de risco conhecido, isso porque a norma brasileira aplica a análise determinística, que consideram apenas as resistências médias e as solicitações médias e não consideram a variabilidade das grandezas envolvidas, ou aplica a avaliação do valor característico das resistências por meio dos coeficientes de ponderação, onde é possível avaliar o efeito da média e do menor valor de cálculo. Neste trabalho será exposto um estudo de um conjunto composto por 9 torres, localizada na Região Metropolitana do Recife, com fundações em estacas metálicas e mistas (pré-moldada de concreto com um perfil metálico na ponta) que apresentaram uma excentricidade média e máxima de 8,94cm e 126,92cm para estacas metálicas e 9,97cm e 46,17cm para as estacas mistas. Usando a metodologia sugerida por CINTRA e AOKI (2010) e AOKI (2011) para estimar a probabilidade de ruína, foi concluído que quando se considera o efeito da excentricidade, a probabilidade de ruína sempre aumenta, porém, o seu nível de influência depende da variabilidade do solo, quanto mais homogêneo é o solo maior a influência da excentricidade sobre a probabilidade de ruína. Através de índices propostos foi possível aferir que quando o coeficiente de variação das cargas resistentes é 50% maior do que o coeficiente de variação das cargas solicitantes a excentricidade executiva não possui tanta influência sobre a confiabilidade da obra.

PALAVRAS-CHAVE: Excentricidade; Probabilidade de ruína; confiabilidade; coeficiente de variação.

ABSTRACT: Due to the complex subsurface conditions in the Metropolitan Region of Recife, pile foundations are a common choice for geotechnical solutions. However, the occurrence of pile construction eccentricities is frequent but has been poorly studied and analyzed. Similarly, while reliability concepts are widely used in other engineering fields such as aeronautics and petroleum, they are not yet commonly employed by geotechnical professionals. Instead, most geotechnical engineers perform only a deterministic analysis (using a global safety factor) for their projects, which does not guarantee an adequate level of safety or a known risk level. This is because the Brazilian standard only mandates deterministic analysis, which considers only mean resistances and mean loads and does not account for the variability of the involved parameters. This study presents an analysis of a set of 9 towers located in the Metropolitan Region of Recife with foundations on metallic and mixed piles (precast concrete with a metallic profile at the tip). These piles exhibited an average and maximum eccentricity of 8.94 cm and 126.92 cm for metallic piles and 9.97 cm and 46.17 cm for mixed piles, respectively. Using the methodology proposed by CINTRA and AOKI (2010) and AOKI (2011) to estimate the probability of failure, the study concludes that when the effect of eccentricity is considered, the probability of failure always increases. However, the level of influence depends on soil variability. The more

homogeneous the soil, the greater the influence of eccentricity on the probability of failure. Through the proposed indices, it was possible to determine that when the coefficient of variation of the resisting loads is 50% higher than the coefficient of variation of the applied loads, the construction eccentricity does not have as much influence on the structural reliability.

KEYWORDS: Eccentricity; Probability of failure; Reliability; coefficient of variation

1 INTRODUÇÃO

A grande heterogeneidade do subsolo combinado com a natureza da obra resulta em uma grande variabilidade de cargas, solicitantes e cargas resistentes, que comumente não são levadas em conta em projetos geotécnicos que se preocupam apenas com os valores médios (análise determinística). Segunda CINTRA (2010) análises determinísticas não são suficientes para garantir a confiabilidade da obra, justamente por não levar em conta a variabilidade das grandezas envolvidas no projeto, que podem apresentar alterações durante a execução, como por exemplo, a execução de reforço devido à quebra de alguma estaca e as excentricidades executivas levantadas no *as built*.

Caso uma estaca seja executada excêntrica (fora do eixo previsto em projeto) ocorrerá uma redistribuição de cargas nas demais estacas do bloco. De modo que as cargas nas estacas não serão mais as mesmas. À medida que as cargas são diferentes, existe dispersão, e desvio padrão associado a redistribuição de cargas nas estacas. Dessa forma pode-se inferir que o aumento da excentricidade executiva das estacas aumenta o desvio padrão das cargas, aumenta o coeficiente de variação das cargas nas estacas, diminui a confiabilidade (medida pelo coeficiente β) e aumenta a probabilidade de ruína do sistema (COSTA, 2018).

Segundo VELLOSO (2010) excentricidade executiva é o deslocamento da estaca em relação ao eixo definido em projeto. É mais comum em fundações profundas classificadas como “de deslocamento”, onde estariam as estacas cravadas em geral. A norma brasileira NBR 6122/2019 (ABNT, 2019) tolera excentricidades que não ultrapassem 10% do diâmetro da estaca, caso tenha-se um valor superior, é preciso fazer uma avaliação da capacidade da estaca de absorver a solicitação que passou a receber, caso a mesma não tenha resistência suficiente, é necessária uma correção por meio de reforço estrutural, que pode ser realizado mediante a implantação de cintas de travamento, ou aumentando-se o número de estacas no bloco de fundação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obra

A obra em estudo localiza-se na cidade do Recife, próximo ao rio Jordão e da praia de boa viagem, na periferia do parque dos manguezais. A obra consiste em uma área de 32.000m², com 9 torres, com altura variável de 20 a 22 pavimentos tipo, e 11 setores que incluem quadras poliesportivas, garagens, parque aquático e as demais áreas de lazer. Todos os dados utilizados para a execução do estudo foram devidamente fornecidos pela empresa responsável pelo projeto de fundação.

As torres analisadas têm em geral 22 pavimentos tipos, com exceção das torres 4 e 6 que possuem 20 pavimentos tipos, o tipo de estaca empregada foi à estaca metálica, com exceção da torre 1 e da torre 7 que foi utilizada estaca mista (pré-moldada de concreto com estaca metálica); o comprimento das estacas variou entre 29m a 48m (estabelecidos a priori com base na capacidade de carga estimada calculada por métodos semiempíricos); o número de blocos varia de 31 a 59, foi necessário a realização de reforço em 10 blocos da torre 1 e de 14 blocos da torre 7; as excentricidades executivas variaram de 3,88cm a 6,44cm no eixo X, 2,71cm a 8,64cm no eixo Y e 5,26cm a 12,03cm resultante; o número de estacas executadas variou 128 a 205, a torre 1 previa em projeto 177 estacas, porém com a execução das estacas de reforço o número de estacas subiu para 184, o mesmo ocorreu com a torre 7 e o número de estacas subiu de 166 para 191, como mostra a Tabela 1. A torre 5 não foi estudada devido a carência de dados disponíveis para a análise. As torres 1 e 7 foram as únicas onde houve a quebra de estacas e conseqüentemente a execução de estacas de reforço.

Tabela 1. Características das torres analisadas

Torre	Pavimentos	Tipo de estaca:	Comprimento da estaca (m)	Excentricidade média (cm)			Nº de Blocos	Nº de Blocos Reforçados	Nº de estacas no projeto	Nº de estacas executadas	Sondagens
				ex	ey	er					
1	22	Mista	39 (12 pré-moldada de concreto e 27 metálica)	4,68	4,82	7,55	36	10	177	184	F05/2010; F06/2010; F07/2010; F08/2010; SP-13/2008
2	22	Metálica	48	4,62	4,79	7,67	38	0	143	143	SP-12/2011; SP-13/2011; SP-14/2011; SP-15/2011; SP-18/2008
3	22	Metálica	48	6,44	8,64	12,03	31	0	128	128	F01/2010; F02/2010; F03/2010; F04/2010; SP-03/2008
4	20	Metálica	45	4,16	3,67	6,55	38	0	157	157	SP-27/2011; SP-28B/2011; SP29/2011; SP28/2008
6	20	Metálica	48	5,1	5,13	8,49	59	0	205	205	SP-26/2012; SP-27/2012; SP-28/2012; SP-29/2012; SP-30/2012
7	22	Mista	29 (11 pré-moldada de concreto e 18 metálica)	3,88	2,71	5,26	31	14	166	191	SP-31/2010; SP-32/2010; SP-33/2008; SP-38/2008; SP-02/2001
8	22	Metálica	48	5,18	4,84	8,65	31	0	131	131	SP-39/2012; SP-40/2010; SP-41/2012; SP-43/2008; SP-48/2008
9	22	Metálica	48	4,45	4,43	7,45	59	0	182	182	SP-33/2010; SP-34/2010; SP-35/2010; SP-36/2010; SP-37/2010 e SP-38/2010

2.2 Descrição do Subsolo e Solução de Fundação

Foram realizados no total 46 furos de sondagem SPT (*Standard Penetration Test*). As sondagens foram locadas no terreno sobre as áreas de incidência das maiores cargas do projeto estruturas, nas lâminas das 9 torres. Um estudo realizado por AGUIAR (2012) para a obtenção do modelo tridimensional do subsolo no software Rockworks 15, Figura 1, identificou uma distribuição estratigráfica com características de um terraço marinho holocênico recortado por mangue. Para esse estudo foi considerado um perfil geotécnico médio constituído por 11 camadas para facilitar a sua descrição por se tratar de um terreno extenso e com camadas de solo descontínuas.

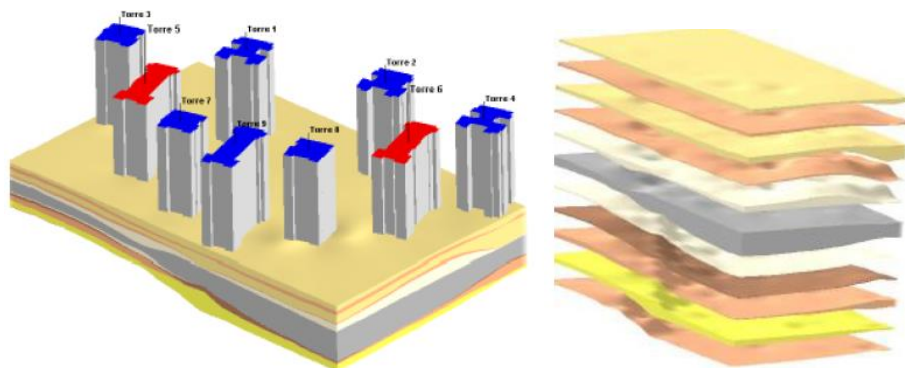


Figura 1. Modelo 3D e camadas estratigráficas isoladas (AGUIAR, 2012)

Devido à natureza do subsolo, exibida no perfil mostrado, e as elevadas cargas estruturais do empreendimento, a solução em fundação superficial se tornou inviável, portanto, a solução para as fundações foi em estacas metálicas, pré-moldadas de concreto e mistas (pré-moldadas em concreto+metálicas). Os diâmetros das estacas variam entre 25cm e 52cm, no caso do conjunto de estacas a NBR ABNT 6122/210 (ABNT, 2010) permite um valor máximo para excentricidade de 10% do diâmetro de maior estaca, logo chegou-se a um valor máximo permitido para excentricidade de 5,2cm para esta obra.

2.3 Roteiro de Análise

1. Cálculo das cargas solicitantes em 3 cenários, considerando apenas as cargas verticais, sem considerar o efeito do vento:
 - Cenário I - Cargas de Projeto: Carga nas estacas considerando apenas as estacas, e suas respectivas locações, previstas em projeto, sem considerar as estacas de reforço e as excentricidades em sua locação.
 - Cenário II - Cargas com Reforço: Cargas nas estacas considerando as estacas de reforço e suas respectivas locações previstas no projeto modificado, porém sem considerar as excentricidades em sua locação.
 - Cenário III - Cargas com Excentricidade: Carga nas estacas considerando todas as estacas cravadas e as excentricidades em sua locação, de forma a representar o cenário real em que ficou o estaqueamento.
2. Cálculo das capacidades de carga a partir das 46 sondagens realizadas utilizando os métodos semiempíricos, com base no Nspt, de forma a garantir o fator de segurança mínimo, para fundações profundas, 2: Aoki-Velloso (1975); Décourt-Quaresma (1978); Teixeira (1996).
3. Com os valores das cargas solicitantes estimados foi realizada uma análise estatística com o cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação.
4. Em seguida, foi realizada a mesma análise estatística nas cargas resistentes.
5. Foram realizadas 9 combinações, entre os 3 cenários de cargas solicitantes e os 3 métodos de obtenção das cargas resistentes. Para cada combinação obtida foi possível executar a metodologia prevista por CINTRA E AOKI (2010) e AOKI (2011), para a estimativa do índice de confiabilidade e da probabilidade de ruína da obra, estabelecendo a análise com nível de confiabilidade II.

2.4 Índices de Estado

Foram propostos índices de estado, para tentar avaliar a influência das variações sobre a confiabilidade da obra. O primeiro é o índice de estado de variação (I_{cv}), Equação 1, que mede o quanto a excentricidade fez o coeficiente de variação ser alterado. Ele é a relação entre o coeficiente de variação das cargas resistentes (CV_r) e o coeficiente de variação das cargas solicitantes (CV_s), através dele é possível verificar a alteração no coeficiente de variação das cargas solicitantes devido a excentricidade:

$$I_{cv} = \frac{CV_r}{CV_s} \quad (1)$$

O segundo é o índice de ruína (I_{pf}), Equação 22 que mede o quanto a probabilidades de ruína foi alterada. Ele relaciona as probabilidades de ruína entre os cenários propostos, que é a relação entre a probabilidade de ruína do cenário III (Pf_{III}) e a probabilidade de ruína do cenário I (Pf_I):

$$I_{pf} = \frac{Pf_{III}}{Pf_I} \quad (2)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram calculadas as cargas solicitantes para os 3 cenários citados anteriormente e foram calculadas as cargas resistentes pelos 3 métodos de estimativa de capacidade de carga já citados anteriormente. Com os resultados obtidos foi possível realizar uma análise estatística calculando a média, desvio padrão e coeficiente de variação e traçar as curvas de distribuição normal das cargas solicitantes e resistentes, conforme exemplificado na Figura 2 e Figura 3, que representam essas curvas para a Torre 1 e 3 respectivamente. Para resumir, os resultados das probabilidades de ruína obtidas serão mostrados apenas da Torre 1 (representando também a torre 7, pois também tem estacas de reforço) e da Torre 3 (representando as torres 2, 4, 6, 8 e 9).

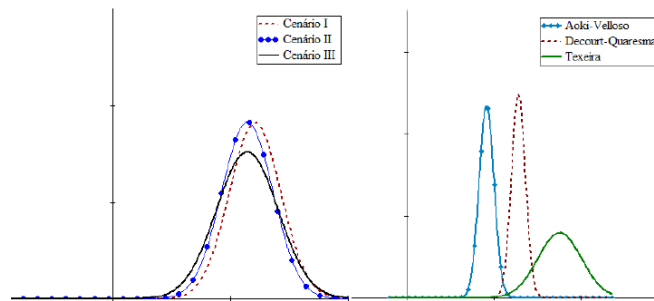


Figura 2. Curvas de distribuição normal das cargas solicitantes (esquerda) e resistentes (direita) da torre 1

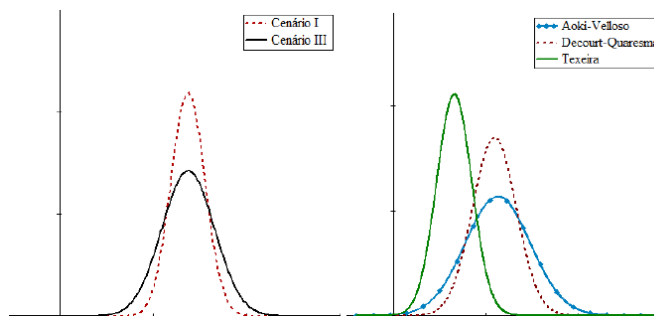


Figura 3. Curvas de distribuição normal das cargas solicitantes (esquerda) e resistentes (direita) da torre 3

3.1 Probabilidade de Ruína

Com os cálculos das cargas solicitantes e das cargas resistentes e com suas respectivas análises estatísticas é possível efetuar a metodologia proposta por CINTRA E AOKI (2010) e AOKI (2011) para a estimativa do índice de confiabilidade (β) e da probabilidade de ruína (pf).

3.1.1 Resultado para Torre 1

Para melhor entendimento dos resultados foi escolhido a torre 1, com a execução de estacas de reforço era esperado que a média das cargas solicitantes diminuíssem e que o desvio padrão aumentasse, assim a probabilidade de ruína aumentaria, com a consideração da excentricidade o desvio padrão aumentaria novamente e conseqüentemente a probabilidade de ruína também aumentaria e o índice de confiabilidade (β) diminuiria, esse pensamento foi confirmado pela análise da torre 1, conforme mostra a Tabela 3, que foi feita com base na Tabela 2, que constam os resultados obtidos para as 9 combinações.

Tabela 2. Resultados obtidos na análise de confiabilidade da torre 1

	β			1/pf			F.S		
	C.I	C.II	C.III	C.I	C.II	C.III	C.I	C.II	C.III
Aoki-Velloso	2,538	2,470	2,186	179	148	69	1,54	1,60	1,60
Decourt-Quaresma	5,602	5,236	4,610	94300450	12169342	495688	2,16	2,24	2,24
Texeira	4,321	4,306	4,161	128676	120496	63142	2,95	3,07	3,07

Tabela 3. Comparação do índice de confiabilidade e probabilidade de ruína dos cenários da torre 1

		Aoki-Velloso	Decourt-Quaresma	Texeira
Índice de Confiabilidade (β)	C.I \rightarrow C.II	-3%	-7%	-0,34%
	C.I \rightarrow C.III	-14%	-18%	-3,70%
	C.II \rightarrow C.III	-12%	-12%	-3,37%
Pf	C.I \rightarrow C.II	21%	675%	6,79%
	C.I \rightarrow C.III	159%	18924%	103%
	C.II \rightarrow C.III	114%	2355%	90,80%

C.I - Cenário I (Cargas de Projeto); C.II - Cenário II (Cargas consid. o Reforço); C.III - Cenário III (Cargas consid. Reforço e Excentricid)

3.1.2 Resultado para Torre 3

A torre 3 não apresentaram o cenário II (considerando os reforços executados devido à quebra das estacas) pois não houve quebra de estacas, sendo assim apresentam o cenário I (cargas de projeto) e o cenário III (cargas considerando o efeito da excentricidade executiva). Logo, nessa torre houve apenas a 6 combinação, 2 cenários de cargas solicitantes com 3 métodos de estimativa de capacidade de carga. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4 e 5.

Tabela 4. Resultados obtidos na análise de confiabilidade da torre 3

	β			I/pf			F.S		
	C.I	C.II	C.III	C.I	C.II	C.III	C.I	C.II	C.III
Aoki-Velloso	2,395	X	2,378	120	X	115	4,10	X	4,10
Decourt-Quaresma	3,409	X	3,356	3067	X	2526	3,97	X	3,97
Teixeira	1,972	X	1,926	41,17	X	36,95	2,39	X	2,39

Tabela 5. Comparação do índice de confiabilidade e probabilidade de ruína dos cenários da torre 3

Indicie de Confiabilidade (β)	C.I → C.III	Aoki-Velloso	Decourt-Quaresma	Teixeira
			-0,72%	-1,57%
Pf	C.I → C.III	5,00%	21,00%	11,43%

C.I - Cenário I (Cargas de Projeto); C.II - Cenário II (Cargas consid. o Reforço); C.III - Cenário III (Cargas consid. Reforço e Excentricid)

3.2 Variação das cargas solicitantes X Variação das cargas resistentes

Tendo em vista os trabalhos anteriores relacionados ao tema, é possível concluir que, dependendo do coeficiente de variação das cargas solicitantes ou resistentes, o cálculo da probabilidade de ruína e do índice de confiabilidade (β) podem sofrer maior influência da variação das cargas solicitantes ou da variação das cargas resistentes. Essa conclusão pode ser observada quando foi feita a análise dos trabalhos de BRAGA (2018), onde foi possível observar que para valores de coeficiente de variação das cargas resistentes acima de 10% a variação das cargas solicitantes praticamente não tinha influência, pois os valores do índice de confiabilidade (β) das cargas de projeto e das cargas considerando a excentricidade convergiam a partir desse valor; e o trabalho de COSTA (2018), em que se constatou que para valores de excentricidade acima de 25cm os valores do índice de confiabilidade (β) para os coeficientes de variação do solo de 10%, 15% e 20% convergiram. Para ambos os trabalhos se fez o cálculo das cargas resistentes média multiplicando a média das cargas solicitantes pelo fator de segurança (FS=2) para fundações profundas, o que difere do presente trabalho que fez uso de 3 métodos de estimativa de capacidade de carga. Como já foi citado anteriormente foi proposto um índice denominado de índice de estado de variação (Icv), com o objetivo de entender melhor a relação entre os coeficientes de variação das cargas resistentes (CVr) e o coeficiente de variação das cargas solicitantes (CVs). Estabelecido o índice de estado de variação foi possível gerar os gráficos, representados nas Figuras 4, de Icv x Pf comparando o cenário I e o cenário III para os métodos de estimativa de capacidade de carga usados.

Por meio dos gráficos gerados, verificou-se que para valores críticos de Icv houve um aumento brusco na probabilidade de ruína, e que esses valores críticos de Icv, apresentados na Tabela 6, foram menores quando se consideram o efeito das excentricidades executivas (cenário III).

Foi sugerido também outro índice de estado, sugerido para relacionar as probabilidades de ruína entre os cenários propostos, denominado de índice de estado de ruína (Ipf), que é a relação entre a probabilidade de ruína do cenário III (Pf_{III}) e a probabilidade de ruína do cenário I (Pf_I). Com os dois índices de estados definidos foi elaborado 3 gráficos, figura 5, para analisar a influência da variação das cargas sobre a probabilidade de ruína.

Foi possível observar que a partir de valores de Icv o Ipf converge para 1, os valores para cada método constam na Tabela 7, ou seja, a probabilidade de ruína seria igual para os cenários I e III, mostrando assim que

a variação das cargas solicitantes não influencia tanto quanto a variação das cargas resistentes, visto que o aumento o Icv é dado pelo aumento do coeficiente de variação das cargas resistentes.

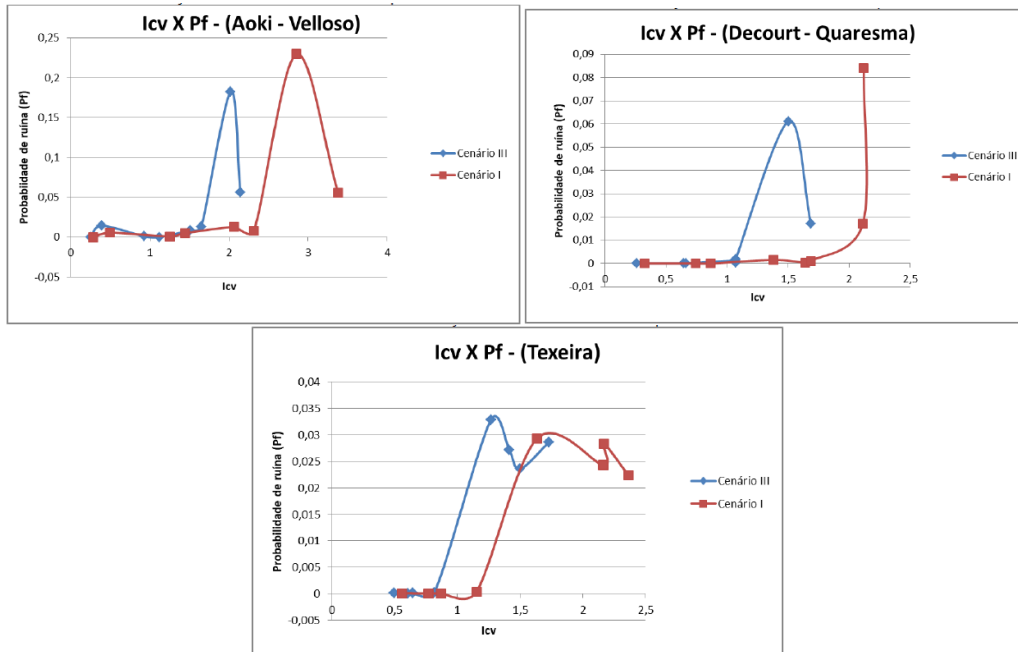


Figura 4. Índice de estado de variação X Probabilidade de ruína para os métodos de estimativa de capacidade de carga

Tabela 6. Valores críticos de Icv

	Aoki-Velloso	Decourt-Quaresma	Teixeira
Cenário I	2,8	2,12	1,63
Cenário III	2	1,5	1,26

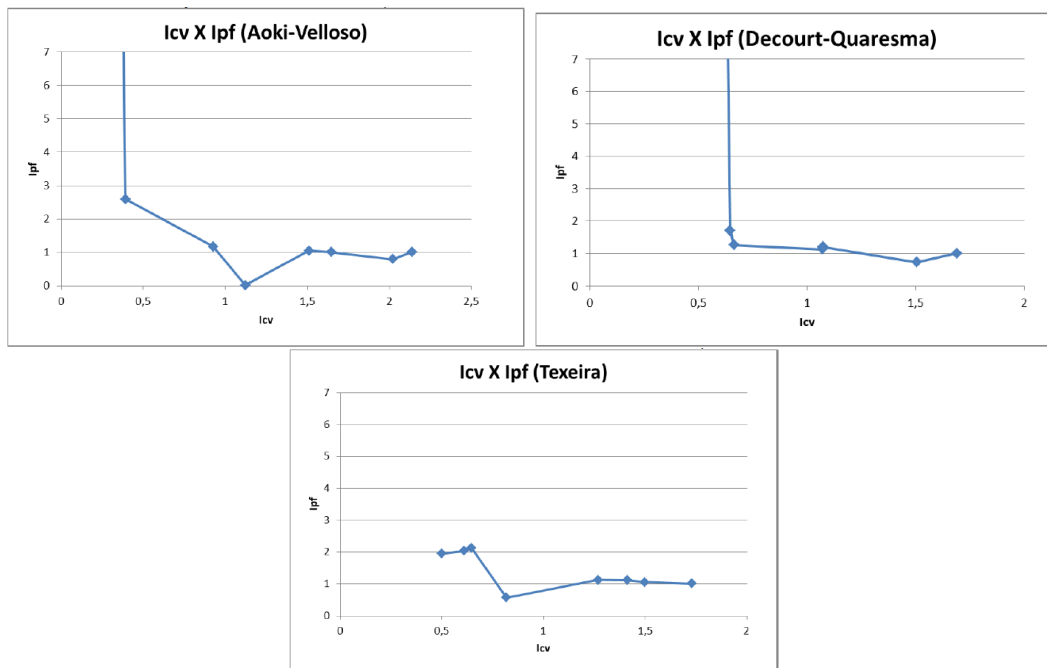


Figura 5. Índice de estado de variação X Índice de estado de ruína para os métodos de estimativa de capacidade de carga

Tabela 7. Valores de Icv para Ipf igual a 1

	Aoki-Velloso	Decourt- Quaresma	Texeira
Icv	1,5	1,68	1,5

4 CONCLUSÕES

A excentricidade é um problema executivo que carece de mais estudos e desenvolvimento de técnicas de controle, visto que a sua ocorrência pode ocasionar em um sobrecarregamento nas estacas, resultando em uma solicitação acima daquela prevista em projeto no elemento de fundação.

É preciso que falhas executivas como a excentricidade sejam consideradas em análises probabilísticas, pois o intuito dessa análise é aferir a confiabilidade da obra de forma mais real possível. Visto que sempre que comparado o Cenário I (cargas de projeto) com o Cenário III (cargas considerando a excentricidade executiva) é notável o aumento na probabilidade de ruína e a diminuição do índice de confiabilidade (β).

A determinação dos índices de estados sugeridos possibilitou analisar e concluir que a influência da excentricidade executiva sobre a probabilidade de ruína e índice de confiabilidade (β) é efetiva quando a variabilidade das cargas resistentes é baixa, ou seja, terrenos mais homogêneos sofrem mais influência das excentricidades no aumento da probabilidade de ruína.

Quando a variação das cargas resistentes é 50% (1,5 vezes) maior que a variação das cargas solicitantes, a excentricidade praticamente não influencia na confiabilidade da obra, visto que a partir de valores de 1,5 para Icv, o Ipf converge para 1, ou seja, a probabilidade de ruína era igual para os cenários I e III. Dessa forma, é possível confirmar, através de valores reais, as conclusões feitas nos trabalhos paramétricos realizados por BRAGA (2018) e COSTA (2018).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, C. M. G. C. *Aplicação do Programa RockWorks 15 em obras geotécnicas – estudo de caso*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade de Pernambuco, UPE, Escola politécnica de Pernambuco, POLI. 2012, Recife/PE
- AOKI, N.; CINTRA, J.C.A (1996). Influência da variabilidade do maciço de solos no comprimento de estacas. III Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo, Brasil, ABEF/ABMS, v.1, pp.173-184.
- AOKI, N. A probabilidade de ruína e os fatores de segurança em fundações. 7ª. Palestra ABMS, CD-ROM, Recife, Brasil, (2011).
- AOKI, N. Probabilidade de falha e carga admissível de fundações por estacas. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, V.XIX, pp. 48-64, Brasil, (2002).
- AOKI, N. (2005). Segurança e confiabilidade de fundações profundas. Proceedings. Congresso Brasileiro de Pontes e Estrutura. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Pontes e Estruturas. 2005, 1: 1-12.
- AOKI, N., VELLOSO, D. A. *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*, Proceedings. 5th Pan. Conf. on Soil Mech. and Found. Engineering, Buenos Aires, (1975).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122: *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro: ABNT, (2010).
- BRAGA, L. H. (2018). Avaliação da influência da excentricidade executiva sobre a redistribuição de esforços em uma obra de estacas metálicas em Recife/PE. Trabalho de Conclusão de Curso, UNICAP, Recife/PE.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. Fundações por estacas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- COSTA, M. S.; OLIVEIRA, P. E. S.; OLIVEIRA, J. T. R. Discussão sobre a influência da excentricidade executiva de estacas sobre a probabilidade de ruína de fundações. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, COBRAMSEG, 2018, Salvador, Bahia
- DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT. In: Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia de fundações, 6. Rio de Janeiro, (1978).
- TEIXEIRA, A.H. Projeto e execução de fundações. Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, v. 1, p. 33-50, São Paulo, (1996).
- VELLOSO, D.A. E LOPES, F.R. Fundações, volume completo: critérios de projeto: investigações de subsolo: fundações superficiais: fundações profundas. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos. 2010.
- VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R., Fundações, Volume 2: fundações profundas. São Paulo: Oficina de textos, 2010.