



## Probabilidade de Ruína em Estacas Hélice Contínua em um Caso de Obras em Belém/PA

Cesar Alberto Ruver

Docente/Pesquisador, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, [cesar@ufrgs.br](mailto:cesar@ufrgs.br)

Fernando Pinheiro Weber

Engenheiro Civil, Vibra Energia S/A. Porto Alegre, Brasil, [fernandopw@vibraenergia.com.br](mailto:fernandopw@vibraenergia.com.br)

Amanda Schmieleski Cossa

Graduanda de Estatística, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, [a3schmieleski@gmail.com](mailto:a3schmieleski@gmail.com)

Gabriel de Sousa Pereira

Graduando de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, [gabriels2001pereira@gmail.com](mailto:gabriels2001pereira@gmail.com)

**RESUMO:** O conceito determinístico de segurança adotado na prática de fundações no Brasil, proposto pela norma de fundações (NBR 6122), não é garantia de segurança. Neste sentido, no estudo e no dimensionamento de fundações, cada vez mais se tem difundido a necessidade da análise estatística para definição da probabilidade de ruína, principalmente em obras de grande vulto ou grandes dimensões. Desta forma, o objetivo deste trabalho é fazer uma análise da probabilidade de ruína de um conjunto de 529 estacas executadas em hélice contínua, de 40 cm e 50 cm de diâmetro e 9 metros de comprimento, projetadas como fundações de sete tanques, executados na região portuária de Belém/PA. O estudo tem como base os resultados de 44 ensaios de carregamento dinâmico (PDA), cujos resultados de resistência são comparados com as cargas solicitantes máximas e individuais de projeto. O estudo foi conduzido ao longo da execução das estacas. Inicialmente verificou-se uma alta probabilidade de ruína, principalmente, para as estacas de 50 cm. Após um maior controle executivo da execução e adoção de somente estacas com diâmetro de 40 cm, nas fundações do último tanque, obteve-se uma redução na probabilidade de ruína até uma probabilidade aceitável.

**PALAVRAS-CHAVE:** fator de segurança, probabilidade de ruína, estacas hélice contínua, segurança em fundações.

**ABSTRACT:** The deterministic concept of safety adopted of foundations designing in Brazil, proposed by the Brazilian Foundation Standard (NBR 6122), is not a guarantee of safety. In this sense, in the study and designing of foundations, the need for statistical analysis to define the probability of failure has been increasingly disseminated, mainly in great size or large builds. Thus, the objective of this paper is to analyze the probability of failure of 529 continuous flight auger piles with diameters of 40 cm and 50 cm and 9 meters long, designed as foundations for seven tanks, executed in the port region of Belém city (north of Brazil). The study is based on the results of 44 dynamic loading tests (PDA), whose resistance results are compared with the maximum and individual design loads. The study was carried out during the execution of the piles. Initially, there was a high probability of failure, mainly for the 50 cm piles. After a better executive control and adoption of only piles with a diameter of 40 cm, in the foundations of the last tank, a reduction in the probability of failure was obtained until an acceptable probability.

**KEYWORDS:** safety factor, failure probability, safety of foundations, continuous flight auger piles

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.





## 1 Introdução

Na atividade geotécnica, o trabalho com fundações passa por várias fases, que consistem na prospecção e interpretação geotécnica, escolha do tipo de fundação, elaboração do projeto, execução das fundações, e verificação do desempenho a curto e a longo prazo. Segundo a norma brasileira de fundações, NBR 6122 (ABNT, 2022), a verificação do desempenho dos elementos de fundação deve ser realizada por provas de cargas estáticas, podendo ser substituído por ensaios de carga dinâmica. Após a realização das provas de carga, o resultado médio da capacidade de carga (resistência,  $\mu_R$ ) é comparado com carga característica média (solicitação,  $\mu_S$ ) de projeto, de modo a se obter um valor de fator de segurança. Quando este atende o valor mínimo estabelecido pela NBR 6122 (ABNT, 2022), o projetista subentende que a obra está segura. Embora, a NBR 6122, tenha passado por duas atualizações, 2010 e 2019, além de duas emendas em 2021 e 2022, ainda permanece a filosofia de projeto, que tem como base uma análise puramente determinística. Porém, sabe-se que a carga característica de projeto e os resultados de capacidade de carga apresentam variabilidade e erros, de modo que se for feita uma análise estatística, pode haver uma possibilidade de ruína elevada e não aceitável, mesmo que o fator de segurança atenda as normativas.

O tema sobre a probabilidade de ruína em fundações vem sendo, reiteradamente, enfatizado e difundido pelo professor doutor Nelson Aoki (AOKI, 2002; AOKI et al., 2002; AOKI, 2009; CINTRA e AOKI, 2010, AOKI, 2018). Este estímulo tem impulsionado vários pesquisadores a usarem o conceito de probabilidade de ruína, a exemplo de: Favretto e Alves (2014), Silva Neto e Oliveira (2018), Lopes et al. (2019), Romanini et al. (2019), Rubatino et al. (2022).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é fazer uma análise de probabilidade de ruína de um conjunto de 529 estacas executadas em hélice contínua, de 40 cm e 50 cm de diâmetro, executadas como elementos de fundação para sete tanques, cujo empreendimento localiza-se na cidade de Belém/PA.

## 2 Análise de Probabilidade de Ruína em Fundações

A área de estudo de fundações tem como base a NBR 6122 (ABNT, 2022), que se fundamenta no uso de fatores de segurança globais (obtenção da tensão/carga admissível) ou parciais (obtenção da resistência das fundações). Este tipo de análise é puramente determinístico, o que segundo Aoki (2009) e Cintra e Aoki (2010) não garante a ausência de risco de ruptura. O emprego de fatores de segurança, causa uma falsa sensação de segurança nos projetistas. Os autores citam que os projetos devem também realizar uma análise de confiabilidade. A determinação do fator de segurança global (FS) é obtido pela razão entre a resistência média ( $\mu_R$ ) e a solicitação média ( $\mu_S$ ), sem levar em consideração a variabilidade do carregamento.

A figura 1 mostra a distribuição normal entre a solicitação e a resistência, em dois casos hipotéticos. Em uma rápida análise a figura 1, verifica-se uma distância entre os valores médios, que corresponde ao fator de segurança. Agora se forem analisadas as distribuições de normais entre a solicitação e a resistência, verifica-se que ocorre cruzamento entre ambas, mostrando haver uma faixa abaixo do ponto C, onde a solicitação é maior que a resistência, que corresponde a ruína. Comparando-se as figuras 1(a) e 1(b), observa-se que a segunda apresenta um fator de segurança maior que a primeira. No entanto, na figura 1(b) há uma região sobreposta superior a figura 1(a), mostrando que aquele, embora tenha um fator de segurança maior, mostra-se menos segura, devido a uma maior probabilidade de falha.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.





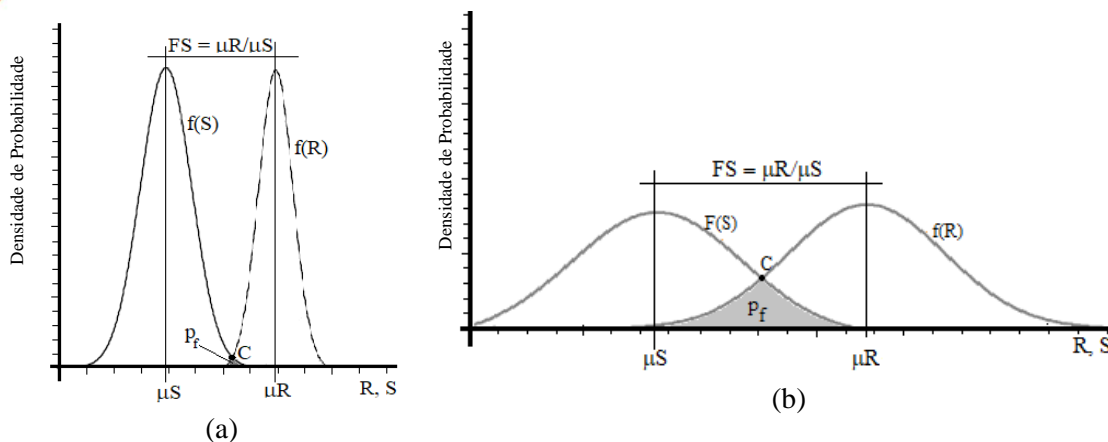


Figura 1. Distribuição normal hipotética de solicitação e resistência, com (a) baixa probabilidade de ruína e (b) alta probabilidade de ruína

O formato das distribuições normais da solicitação e da resistência é dependente dos valores médios ( $\mu_S$  e  $\mu_R$ ) e dos valores dos coeficientes de variação ( $\vartheta_S$  e  $\vartheta_R$ ), obtidos pela equação 1.

$$\vartheta_S = \frac{\sigma_S}{\mu_S} \text{ e } \vartheta_R = \frac{\sigma_R}{\mu_R} \quad (1)$$

Estatisticamente, as funções que definem as curvas normais da solicitação e da resistência, são independentes, sendo a diferença entre elas definido como margem de segurança ( $z$ ). Por sua vez, o inverso do coeficiente da margem de segurança ( $\vartheta_z$ ) corresponde ao índice de confiabilidade ( $\beta$ ), que é uma medida indireta da probabilidade de ruína ( $p_f$ ), ou seja, a probabilidade de ruína é função (de distribuição normal:  $\beta = -\Phi^{-1}(p_f)$ ) do índice de confiança. Assim, combinando os fatores de variação e o fator de segurança, obtém-se o índice de confiança, através da equação 2. Desta forma, conhecendo-se os parâmetros que definem as distribuições normais (média e desvio padrão), pode-se obter a probabilidade de ruína, que comumente é expresso pelo seu inverso ( $n = 1/p_f$ ) (figura 2), facilitando a utilização da expressão: “as chances de ruína são de 1 em  $p_f$  vezes”.

$$\beta = \frac{1}{\vartheta_z} = \frac{\sigma_z}{\mu_z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} = \frac{1 - 1/FS}{\sqrt{\vartheta_R^2 + (1/FS)^2 \cdot \vartheta_S^2}} \quad (2)$$

Uma vez apresentados os conceitos básicos sobre a probabilidade de ruína, cabe ao projetista, em consulta ao contratante, verificar qual o risco aceitável (econômicos, ambientais, etc.), e então definir a máxima probabilidade de ruína aceitável. Cintra e Aoki (2010) citam que probabilidades de ruína aceitáveis ficam entre 1/1.000 e 1/100, sugerindo que sejam adotado um valor de  $1/(n+1)$ , em que “ $n$ ” é o número de estacas, quando houver mais de 100 estacas, ou valores de  $1/2n$  até  $1/5n$ , se o número de estacas inferior a 100 estacas. Já Phoon e Ching (2015) citam que o objetivo para obras geotécnicas é obter uma probabilidade de ruína de 1/1.000. O autor recomenda que valores de para grupos de estacas e solos reforçados entre 1/40 e 1/160. A figura 2 apresenta o nível de confiança esperado em obras geotécnicas associado a probabilidade de ruína.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



$\beta$	$1/p_r$	Nível de confiança esperado
0,5	1/3,22	
1,0	1/6,25	Perigoso
1,5	1/14,7	Insatisfatório
2,0	1/43,5	Ruim
2,5	1/161,3	Abaixo da média
3,0	1/769	Acima da média
4,0	1/33.333	Bom
5,0	1/3.333.333	Alto

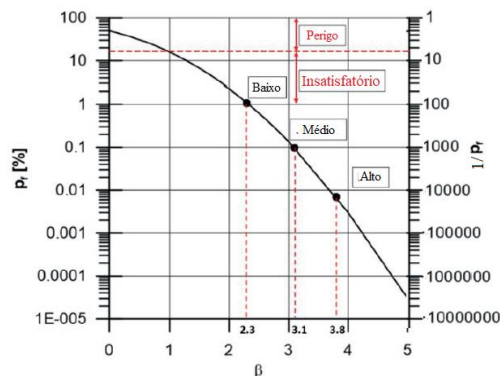


Figura 2. Relação entre o índice de confiabilidade ( $\beta$ ) e a probabilidade de ruína ( $p_r$ ) (IVANDIC et al, 2022)

#### 4 Metodologia

A metodologia adotada no presente trabalho, consistiu em um primeiro momento apresentar a caracterização geotécnica do local e a descrição das fundações do empreendimento composto por sete tanques de grande dimensões. A seguir, foi montado um banco de dados, em planilha eletrônica, com todas as informações sobre as estacas submetidas aos ensaios de carregamento dinâmico (número do relatório; data da execução do ensaio; número, diâmetro, posição, carga de solicitação das estacas, resultados dos ensaios de resistência de ponta, fuste e total). Após foi realizada a análise estatística com a utilização do *software* estatístico R, versão livre 4.3.1. Pelo *software* foram determinados os parâmetros como média, coeficientes de variação, e demais parâmetros que permitiram determinar o fator de segurança (FS), índice de confiabilidade ( $\beta$ ) e probabilidade de ruína ( $1/p_r$ ). Pelo *software* ainda foi possível obter os gráficos das distribuições normais das variáveis de solicitação e resistência envolvidos. Foram gerados relatórios individuais (a) para cada tanque e (b) por diâmetro de estaca, e (c) relatório global, tendo como base a (i) maior solicitação por tanque e (ii) valores de solicitações individuais de cada estaca. Os resultados serão apresentados a seguir.

#### 5 Caracterização do Local de Estudo

O local do estudo situa-se na localidade de Miramar, próximo às margens da Baía do Guarajá, região portuária da cidade de Belém/PA. Para subsidiar o projeto foram executadas 19 sondagens de simples reconhecimento (SPT) até o impenetrável (variando entre 8,45 m e 9,45 m) (locadas na figura 4). A figura 3 apresenta um resultado das sondagens realizadas e um perfil representativo do subsolo obtido pela média das sondagens, em termos de profundidade do impenetrável, texturas do solo, espessuras, nível de água e valores de N. O subsolo é composto por três camadas distintas de solo, sendo a primeira composta por uma alternância de silte arenoso e silte argiloso variando entre as espessuras de 1,6 m e 5,6 m. A segunda camada apresenta uma alternância entre solo argiloso e arenoso com espessuras variando entre 1,4 m e 2,1 m. E por fim, uma camada de areia (alternando entre fina e grossa) com espessura variando entre 2,8 m a 4,5 m. O nível de água varia entre 4,5 m a 6,0 m.

Em termo de índice de resistência a cravação do SPT, N, a primeira camada apresenta valores baixos da ordem de 2 golpes no primeiro metro, aumentando linearmente com a profundidade. A segunda camada apresenta valores mais elevados de N, mas mantendo uma

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.





mesma taxa de aumento com a espessura. Quando o amostrador atinge a camada de areia, os valores de N aumentam significativamente, até cerca de 40 golpes antes do impenetrável. A primeira camada apresenta um valor de N médio de 11,3, passando a 18,4 para a segunda camada até um valor médio de 37,9 na camada de areia.

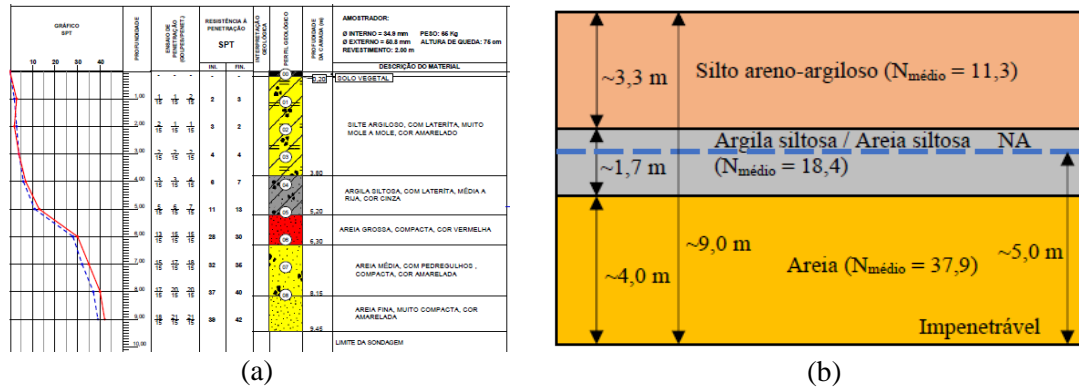


Figura 3. (a) Perfil Típico do SPT do Local e (b) Perfil Representativo

## 6 Caracterização do empreendimento

O empreendimento é composto por sete tanques, cujas dimensões são apresentadas na tabela 1. A estrutura dos tanques é metálica, sendo o fundo apoiado sobre uma laje de concreto, que é apoiada sobre os capiteis das estacas hélice contínua de diâmetro de 50 cm (exceto o tanque TQ 8 que é composto por estacas de diâmetro de 40 cm). Já a borda é formada por uma cinta de concreto consolidada a laje de fundo e apoiada sobre os blocos das estacas hélice contínua com diâmetro de 40 cm. A tabela 1 também apresenta a quantidade de estacas hélice contínua de cada tanque, perfazendo um total 529 estacas executadas até o impenetrável (cerca de 9 m de comprimento). Deste total, 44 estacas (8,32% do total) foram submetidas a ensaios de carga dinâmica (PDA) (23 com diâmetro de 40 cm e 21 com diâmetro de 50 cm). A figura 4 apresenta a locação dos tanques com a indicação da posição das estacas ensaiadas.

Tabela 1. Dados Sobre os Tanques.

Nº Tanque	Geometria (m)		Diâmetro das estacas (cm)	
	Diâmetro	Altura	40	50
6				
7				
10	15,48	14,15	16	32
11				
8	19,70	14,70	105	0
9				
12	26,95	11,85	26	90
Total de estacas			221	308

Segundo a NBR 6122 (ANBT, 2022), devem ser executadas provas de carga estáticas em 1% das estacas, se o número total de estacas ultrapassar 100 unidades no caso de estacas hélice contínua. Ainda segundo a norma, as provas de carga estáticas podem ser substituídas por ensaios de carga dinâmica na proporção de 1 por 5. No presente caso, deveriam ter sido executadas pelo menos 25 ensaios de carga dinâmica, sendo executado um número superior.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



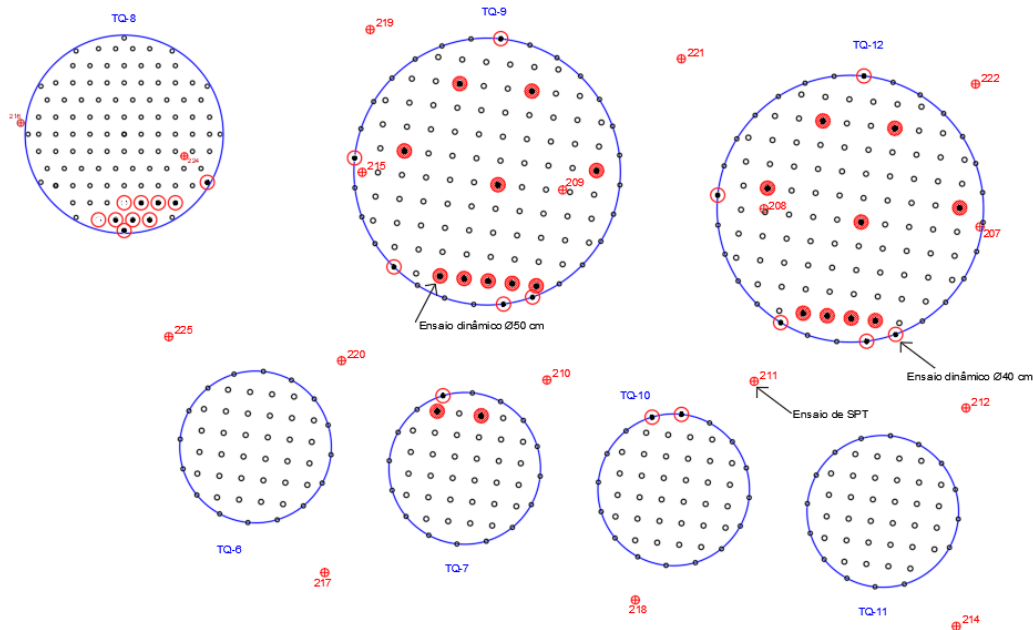


Figura 4. Locação dos Tanques Com a Posição das Estacas e Indicação das Estacas Ensaçadas

## 7 Resultados

A tabela 2 mostra o compilado entre os valores das solicitações e resistências médias, além do fator de segurança (FS) e a probabilidade de ruína ( $1/p_f$ ), obtidos dos relatórios do *software* R. As análises foram feitas considerando a solicitação máxima de cada tanque (para todos os sete tanques) e as solicitações reais de projeto de cada estaca (exceto o tanque TQ 8). Além disso, foram feitas análises por diâmetro de estaca, por tanque e uma análise global utilizando todos os ensaios de carga dinâmica. Nas análises individuais por diâmetros utilizou-se a carga (tf) e nas análises conjuntas utilizou-se a tensão ( $tf/m^2$ ), que é a carga dividida para seção as estacas. A figura 5 mostra as distribuições de probabilidade de cada uma das análises.

Os ensaios de carga dinâmica foram executados, após a cura do concreto, a medida que as estacas eram executadas. O início dos ensaios deu-se junto ao tanque TQ 10, passando para o TQ 7 e o TQ 12. Nas primeiras análises, verificou-se valores de FS abaixo de 1,6 (mínimo permitido pela norma de fundações), além da capacidade de carga medida nas estacas de 50 cm, ficar muito próxima (algumas até abaixo) das estacas de 40 cm. Este fato, norteou a execução de ensaios adicionais a quantidade inicialmente estabelecida para o empreendimento, uma vez as estacas de 6 tanques já estavam concluídas. Em função dos resultados, o projeto de fundações do tanque TQ 8 foi alterado, passado a ser concebido somente com estacas de diâmetros de 40 cm. Após a execução das estacas deste último tanque, que foi acompanhado de um controle executivo mais intenso, foram realizados 10 ensaios de carga dinâmica. E adicionalmente, foram executados mais alguns ensaios em estacas dos outros tanques. Isso, fez com que fossem executados 44 ensaios, quantidade a mais que o mínimo previsto por norma, que eram 25 ensaios.

Em termos gerais, verifica-se que a utilização dos valores de solicitação individuais das estacas, resulta em valores superiores de FS e  $1/p_f$  maiores se comparados com solicitação máxima. Analisando os resultados do TQ 12, os valores de FS são da ordem de 1,5 (inferior ao 1,6 exigido pela norma) e a probabilidade de ruína muito elevada, o que requer monitoramento mais intenso deste tanque antes e durante seu uso. O TQ 9, já apresenta valores de FS aceitáveis pela norma de fundações, porém com probabilidade de ruína ainda elevada, ainda fora dos limites

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.





aceitáveis ( $1/(n+1) = 1/117$ ), o que também requer monitoramento antes e durante o uso do tanque. Agora, observando os resultados do TQ 8, o valor de FS é de 2,81 com uma probabilidade menor que  $1/40.000$ , bem abaixo dos  $1/1.000$  e  $1/106$  (máximo aceitável), mostrando um desempenho surpreendente, frente as fundações dos demais tanques. Observando as distribuições de probabilidade, para TQ 12 (figuras 5i e j) as curvas de solicitação sobrepõem-se totalmente as curvas das resistências, já para TQ 9 (figuras 5g e h) a sobreposição é parcial; e para p TQ 8 (figura 5k), a solicitação é bem afastada da resistência, não havendo sobreposição visível.

Na análise dos resultados dos ensaios de carga dinâmica (PDA) para as estacas com diâmetros de 40 cm, verifica-se valores de FS acima de 2, com probabilidade de ruína alta ( $1/p_r$ ), da ordem do quatro vezes a mais que o aceitável ( $1/(n+1) = 1/222$ ). Agora quando se analisa os resultados para as estacas com diâmetros de 50 cm, o valor de FS é da ordem de 1,5 (abaixo dos 1,6), com probabilidade de ruína muito elevados (cerca de  $1/5$ ), muito aquém do aceitável ( $1/(n+1) = 1/309$ ). Pode-se notar que a resistência média das estacas com diâmetro de 50 cm é igual a resistência média das estacas com diâmetros de 40 cm, sendo que estas recebem cerca da metade da solicitação daquelas. Isso mostra que as estacas com diâmetro de 50 cm apresentaram problemas de execução, possivelmente relacionados ao torque insuficiente do equipamento para a execução do diâmetro especificado. Por fim, analisando o conjunto de todos os ensaios de carga dinâmica, verifica-se um FS da ordem de 2 (acima dos 1,6), porém a probabilidade de ruína mostra-se elevada (da ordem de  $1/10$ , sendo o aceitável de  $1/530$ ). Estas tendências podem ser bem observadas pela análise dos gráficos das figuras 5(a) a 5(e), onde o distribuição das solicitações dos gráficos das figuras 5 (a, b) fica mais afastado a esquerda em relação aos distribuições das resistências (mais à direita).

Tabela 2. Compilação dos Resultados da Análise de Probabilidade de Ruína.

Tipo de Análise	Tamanho da amostra	Média Solicitação	Média Resistência	FS	$1/p_r$
Todas as estacas com $\phi = 40$ cm - solicitação máxima (tf)	23	47,95	119,45	2,49	1/40,9
Todas as estacas com $\phi = 40$ cm - solicitações reais (tf)	23	43,22	119,45	2,76	1/47,2
Todas as estacas com $\phi = 50$ cm - solicitação máxima (tf)	21	84,72	119,34	1,41	1/4,6
Todas as estacas com $\phi = 50$ cm - solicitações reais (tf)	21	77,05	119,34	1,55	1/5,7
Todas a estacas ( $\phi = 40$ e 50 cm) - solicitação máxima (tf/m <sup>2</sup> )	44	404,92	786,97	1,94	1/9,1
Todas a estacas ( $\phi = 40$ e 50 cm) - solicitações reais (tf/m <sup>2</sup> )	44	367,06	786,97	2,14	1/10,7
Tanque - TQ8 ( $\phi = 40$ cm) - solicitação máxima (tf)	10	53,29	149,75	2,81	1/41.412
Tanque - TQ 9 ( $\phi = 40$ e 50 cm) - Solicitação máxima (tf/m <sup>2</sup> )	15	407,97	749,73	1,84	1/21,3
Tanque - TQ 9 ( $\phi = 40$ e 50 cm) - Solicitações reais (tf/m <sup>2</sup> )	15	361,42	749,73	2,07	1/31,0
Tanque - TQ 12 ( $\phi = 40$ e 50 cm) - Solicitação máxima (tf/m <sup>2</sup> )	14	406,18	534,66	1,32	1/3,9
Tanque - TQ 12 ( $\phi = 40$ e 50 cm) - Solicitações reais (tf/m <sup>2</sup> )	14	363,33	534,66	1,47	1/5,0

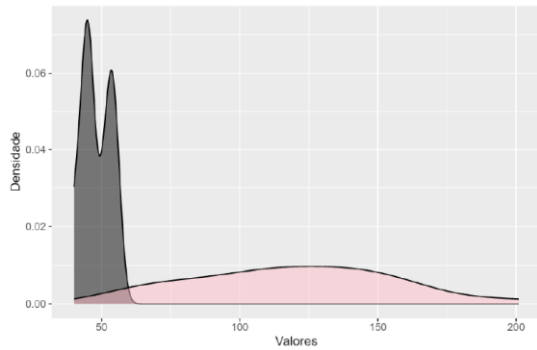
Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



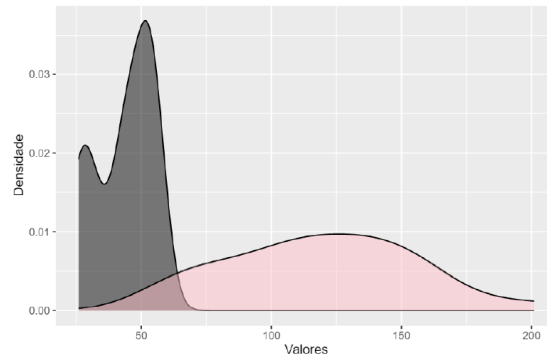


# sefe 10

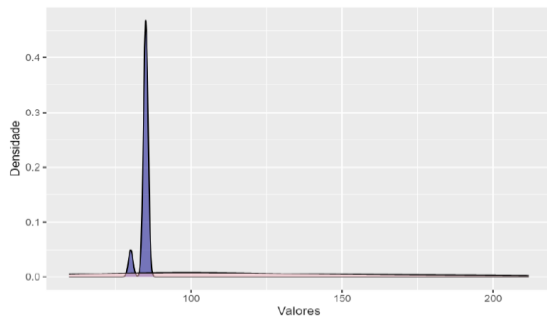
04 a 07  
dezembro/2023  
São Paulo



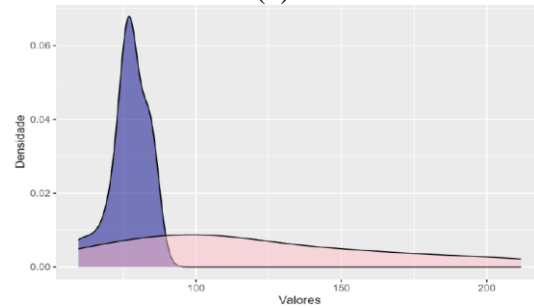
(a)



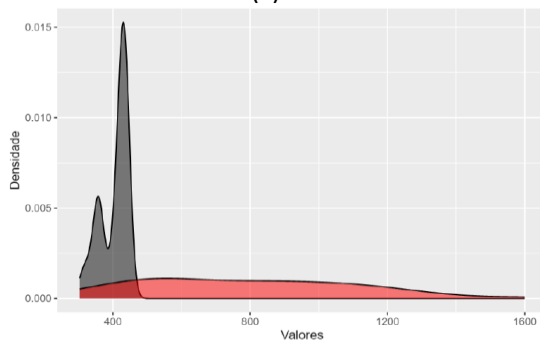
(b)



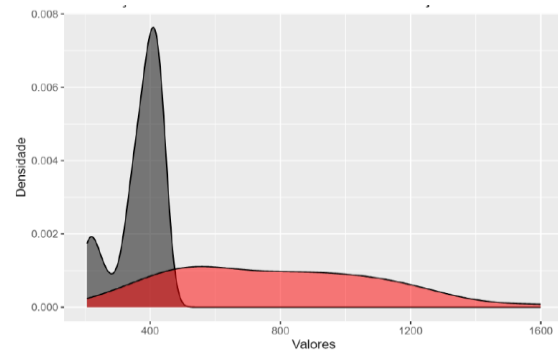
(c)



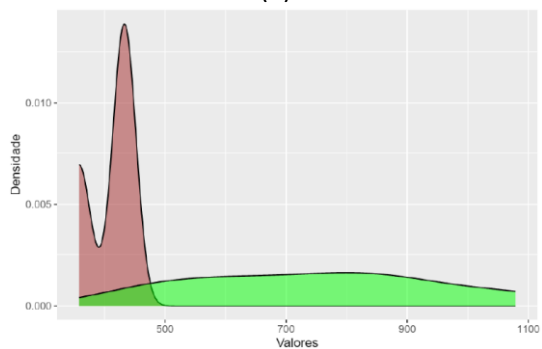
(d)



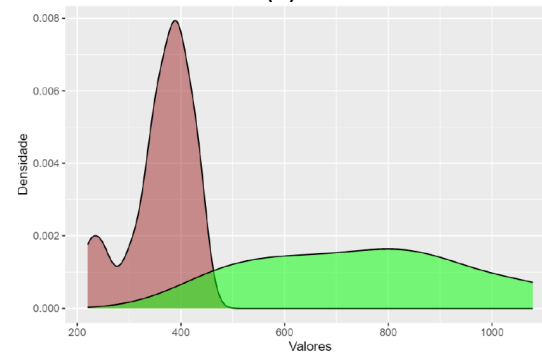
(e)



(e)



(g)



(h)

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



Realização:



Avenida Rebouças, 353, Sala 74 A  
Cerqueira César, São Paulo/SP, 05401-900  
Telefone: (11) 3052-1284  
E-mail: [abef@abef.org.br](mailto:abef@abef.org.br)

Organização:



Avenida T-9, 2310 - Ed. Inove Intelligent Place  
Sala B701, Jardim América, Goiânia/GO, 74255-220  
E-mail: [secretaria@qeeventos.com.br](mailto:secretaria@qeeventos.com.br)  
Site: [www.qeeventos.com.br](http://www.qeeventos.com.br)



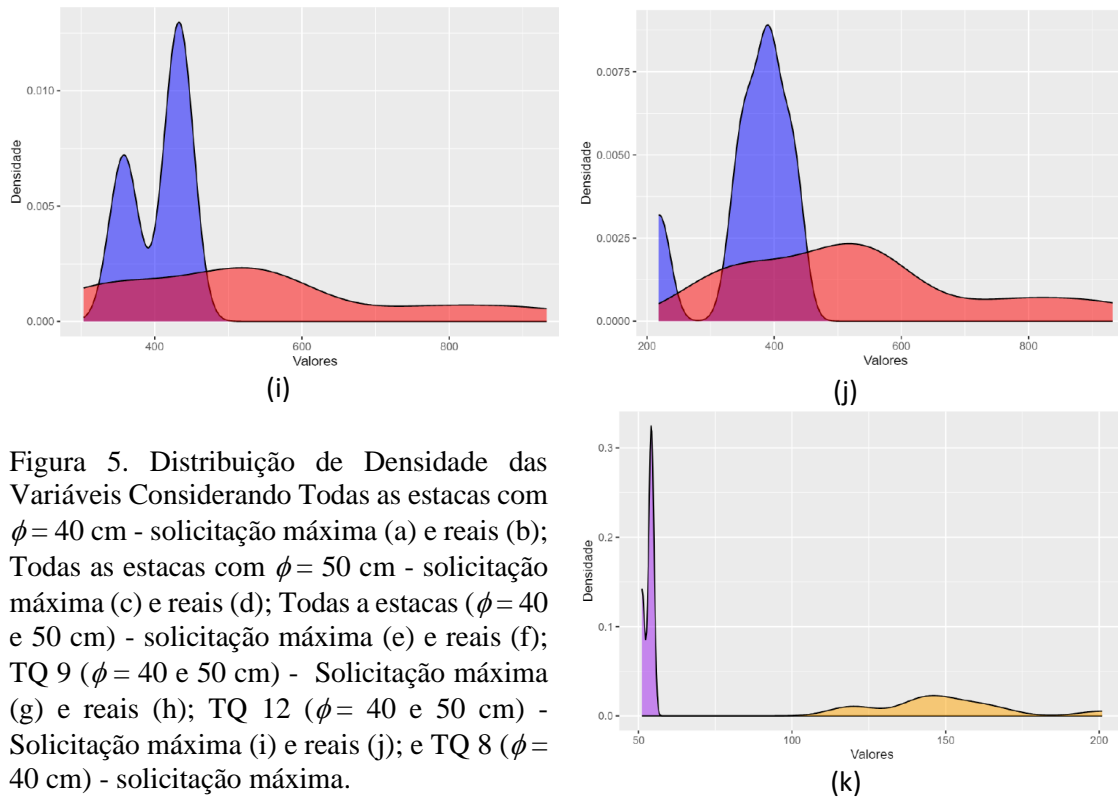


Figura 5. Distribuição de Densidade das Variáveis Considerando Todas as estacas com  $\phi = 40$  cm - solicitação máxima (a) e reais (b); Todas as estacas com  $\phi = 50$  cm - solicitação máxima (c) e reais (d); Todas as estacas ( $\phi = 40$  e  $50$  cm) - solicitação máxima (e) e reais (f); TQ 9 ( $\phi = 40$  e  $50$  cm) - Solicitação máxima (g) e reais (h); TQ 12 ( $\phi = 40$  e  $50$  cm) - Solicitação máxima (i) e reais (j); e TQ 8 ( $\phi = 40$  cm) - solicitação máxima.

## 8 Conclusões

Os resultados apresentados no presente estudo mostram uma análise determinística empregada no estudo de fundações é insuficiente e também se mostra falha. Pois mesmo atingindo valores de fatores de segurança dentro e até acima do valor permitido pela norma de fundações (por exemplo,  $FS = 2,14 > 1,6$ ), existe a possibilidade de falha, com valor de probabilidade de ruína acima dos limites mínimos aceitáveis (por exemplo,  $1/p_f = 1/10,7 > 1/530 = 1/(n+1)$ ). Por outro lado, embora tenha se detectado problemas executivos, mesmo que tardiamente, foi possível corrigir o projeto (último tanque), obtendo-se valor aceitáveis do ponto de vista estatístico ( $FS = 2,81 \gg 1,6$  e  $1/p_f \sim 1/40.000 \ll 1/106 = 1/(n+1)$ ).

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos incentivos recebidos através do projeto UFRGS/Propesq nº 42.431 – “Análise de Estabilidade e Probabilidade de Ruínas de Estacas Hélice contínua: Estudo de Caso” e o financiamento da bolsa BIC/UFRGS durante o período 2022/2023.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aoki, N. (2002) Novo conceito de carga admissível de fundação profunda baseado em probabilidade de ruína. III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, GEOSUL, ABMS, Joinville/SC, p. 131-139.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.





- Aoki, N. (2009). O Dogma do Fator de Segurança. Curso sobre a inclusão da probabilidade de ruínas no cálculo do fator de segurança. ABMS, São Paulo, 21p.
- Aoki, N., Cintra, J. C. A., e Menegotto, M. L. (2002). Probabilidade de ruína como critério para definir o coeficiente de segurança a ser usado na previsão da carga admissível de fundações por estacas. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABMS, São Paulo/SP.
- Aoki, N. (2018). Aplicação de Métodos Probabilísticos em Fundações. *Minicurso XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, COBRAMSEG, ABMS, Salvador/BA, p. 1-27.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2022). NBR 6.122: *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro/RJ, 108p.
- Cintra, J. C. A. e N. Aoki. (2010) *Fundações por estacas – projeto geotécnico*. 2ª reimpressão, Oficina de Textos, São Paulo/SP, 96p.
- Cintra, J. C. A.; Aoki, N.; Tsuha, C. de H. C. e Giacheti, H. L. (2013). *Fundações – ensaios estáticos e dinâmicos*. Oficina de Textos, São Paulo/SP, 144p.
- Favretto, J. e Alves, A. M. L. (2014). Análise da confiabilidade de fundações baseada na monitoração da cravação de estacas. *13ª Mostra da Produção Universitária*, MPU, FURG, Rio Grande/RS, p. 1-2;
- Ivandic, K.; Dodigović, F.; Soldo, B.; Kovačević, M. S. (2022) Probabilistic Evaluations of Prescribed Safety Margins in Eurocode 7 for Spread Foundations. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 66(3), pp. 710–719.
- Lopes, L. M. P. C, Maia, P. C. A. e Prellwitz, M. F. (2019). Análise do Índice de Confiabilidade de Fundações em Estacas Empregando Diferentes Metodologias - Estudo de Caso. *9º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia*, SEFE9, ABMS, São Paulo/SP, p. 1-10.
- Phoon, K.-K., Ching, J. (2015) *Risk and Reliability in Geotechnical Engineering*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. <https://doi.org/10.1201/b17970>
- Romanini, A.; Porto, T. B. J. e Crispim, F. A. (2019). Análise da probabilidade de falha de uma fundação profunda na região centro-oeste do Brasil. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 31913-31949.
- Rubatino, F. S., Batista, S. H. e Duarte, L. N. (2022). Probabilidade de Ruína: Aplicação dos Métodos de Aoki e Monte Carlo. *XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, COBRAMSEG, ABMS, Campinas/SP, p. 1-8.
- Silva Neto, A. N. e Oliveira, J.T.R.(2018). Confiabilidade e segurança de fundações em dois empreendimentos no Nordeste do Brasil. *Revista de Engenharia Civil*, No. 55, p. 19-28.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.

