



Avaliação do Atrito Negativo em Estaca Isolada conforme NBR 6122/2019 e suas Consequências em Projetos de Fundações

Gérson Jacques Miranda dos Anjos
Professor Associado, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, mirandadosanjos@gmail.com

Marcelo Seabra de Andrade
Eng. Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, eng.marceloseabra@gmail.com

André Hideo Umemura Paiva
Graduando em Eng. Civil, UFPA, Belém, Brasil, andrehideoup@hotmail.com

RESUMO: Atrito Negativo (AN), conforme descrito no item 3.2 da NBR 6122/2019, corresponde ao atrito lateral em estacas quando o recalque do solo adjacente é maior do que o recalque do elemento de fundação. O item 5.8 trata da possibilidade de incorporar o atrito negativo no dimensionamento geotécnico e estrutural das fundações, sempre que sua influência for considerada. O item 8.4.3 da referida norma enfatiza a necessidade de avaliar o fenômeno sempre que possível. Neste trabalho, será abordado especificamente o item 5.8.1, que trata do atrito negativo em relação ao fator de segurança global. Hoje em dia, é reconhecido que a maioria dos processos de instalação de estacas provocam recalques no solo adjacente. Fellenius & Altaee (1995) destacam que o fenômeno do atrito negativo afeta tanto estacas cravadas como escavadas, independentemente da magnitude do recalque. Tanto na norma brasileira anterior quanto na atual (NBR 6122/2019), o tema é abordado de maneira semelhante, podendo levar a resultados de carga de trabalho nulos ou negativos. Seu uso certamente aumentaria os custos do projeto de fundações. Neste trabalho, serão apresentados dois modelos de avaliação do fenômeno: o rígido-plástico e o elasto-plástico. Além disso, será proposta uma alteração na referida norma.

PALAVRAS-CHAVE: Atrito negativo, recalque, plano neutro, modelo rígido plástico, modelo elasto plástico.

ABSTRACT: Negative Skin Friction (NSF), as described in item 3.2 of NBR 6122/2019, corresponds to the lateral friction on piles when the settlement of the adjacent soil is greater than the settlement of the foundation element. Item 5.8 discusses the possibility of incorporating negative skin friction in geotechnical and structural design of foundations, whenever its influence is considered. Item 8.4.3 of the mentioned standard emphasizes the need to evaluate the phenomenon whenever possible. This study will specifically discuss item 5.8.1, which deals with negative skin friction in relation to the global safety factor. Nowadays, it is recognized that the majority of pile installation processes cause settlements in the adjacent soil. Fellenius & Altaee (1995) emphasize that the phenomenon of negative skin friction affects both driven and bored piles, regardless of the magnitude of the settlement. In both the previous Brazilian standard and the current one (NBR 6122/2019), the topic is approached similarly, which can lead to null or negative working load results. Its consideration would certainly increase foundation project costs. This study will present two models for assessing the phenomenon: rigid-plastic and elastic-plastic. Furthermore, a modification to the mentioned standard will be proposed.

KEYWORDS: Negative skin friction, settlement, neutral plane, rigid-plastic model, elastic-plastic model.

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



1 Introdução

O fenômeno do atrito negativo e seus efeitos nos estaqueamentos são amplamente conhecidos e estudados pela comunidade geotécnica. Gonçalves et al. (2007) mencionam o caso de preocupação com o atrito lateral negativo durante a construção de um moinho para uma fábrica de óleo, em 1926. Terzaghi & Peck (1948) relatam o caso de problemas em estaqueamentos na Holanda, em que edifícios com fundações em estacas de concreto armado, resistidas fundamentalmente pela base e cravadas em argila muito mole, sofreram recalques excessivos quando no local foi colocada uma camada de aterro.

Johannessen & Bjerrum (1965), Bjerrum et al. (1969) e Bozozuk (1972) foram os primeiros trabalhos que mediram o atrito negativo em experimentos reais. Em tempo, Bjerrum et al. (1969) mediram carga por atrito negativo (*dragload* – “carga de arrasto”) da ordem de 4.000 kN em uma estaca de aço de 0,50 m de diâmetro e 55 m de comprimento, com a base assente em maciço rochoso. Fellenius & Broms (1969) e Fellenius (1972) avaliaram o atrito negativo em uma estaca cravada de concreto com 0,32 m de diâmetro e 49 m de comprimento, em solo argiloso de 40 m de espessura, sobrejacente a uma camada de silte e areia. Imediatamente após a cravação, a carga medida era aproximadamente igual ao peso da estaca antes da cravação (pequena, portanto). Após 180 dias da cravação e considerando que ocorreu o fenômeno de reconsolidação (dissipação de todo o excesso de poro-pressão gerado durante a cravação), registrou-se um atrito negativo de aproximadamente 400 kN. O recalque da superfície do terreno associado com o período de reconsolidação foi entre 2 e 3 mm. Ao final do experimento, ou seja, 1.300 dias após a cravação da estaca, o atrito negativo foi desenvolvido com a carga máxima de 1.750 kN, consistindo de 800 kN devido a carga permanente (*dead load*) e 950 kN devido a carga por atrito negativo.

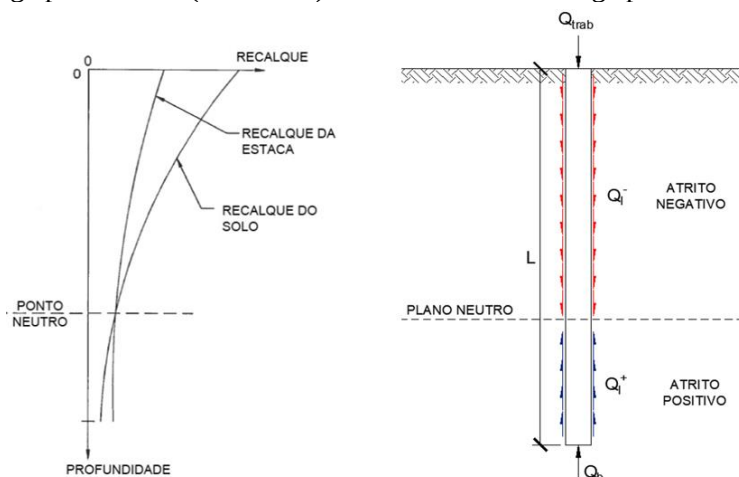


Figura 1. Diagrama esquemático com atrito negativo atuando em uma estaca.

A Figura 1 ilustra os elementos esquemáticos do fenômeno de atrito negativo em uma estaca isolada, que inclui os seguintes elementos: atrito lateral (negativo e positivo); ponto ou plano neutro; e o recalque do solo e da estaca em relação ao maciço no qual o sistema estaca-solo está inserido, quando uma carga de trabalho é aplicada ao sistema. Quando o recalque do solo é maior que o recalque da estaca, o atrito negativo ocorre, sendo limitado até o ponto neutro, onde ocorre a inversão do atrito, tornando-se positivo. A NBR 6122/2019 em seu item 3.2 trata o atrito negativo como sendo o “*atrito lateral que solicita estacas ou tubulões quando o recalque do solo adjacente é maior do que o recalque dos elementos de fundação. Esse fenômeno ocorre no caso de o solo estar em processo de adensamento, provocado pelo seu peso próprio, por sobrecargas lançadas na superfície, por rebaixamento do lençol freático, pelo amolgamento da camada mole*”

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





compressível decorrente de execução de estaqueamento etc”. O item 5.8 aborda a necessidade de considerar o atrito negativo, conforme descrito a seguir: “Sempre que houver a possibilidade de desenvolvimento de atrito negativo, a sua ação deve ser considerada no dimensionamento geotécnico e estrutural dos elementos da fundação, blocos de coroamento, vigas enterradas, reservatórios e outras estruturas enterradas. Admite-se a utilização de recursos (por exemplo, pintura betuminosa), visando minimizar os efeitos do atrito negativo, bem como a realização de ensaios ou provas de carga para a sua melhor avaliação. Para as verificações da segurança de estacas ou tubulões em situações em que se prevê a ação do atrito negativo, define-se:

P_{an} a carga característica de atrito lateral negativo, na ruptura; a profundidade da fundação onde ocorre a mudança de atrito negativo para positivo é chamada de ponto neutro;
 R_{lp} a parcela de força resistente característica de atrito lateral positivo, na ruptura;
 R_p a parcela de força resistente característica de ponta, na ruptura.

Nestas verificações as cargas de ações variáveis efêmeras não podem ser incluídas”.

A NBR 6122/2019 em seu item 5.8.1 trata da verificação da segurança em valores característicos (fator de segurança global) conforme expressão:

$$P_{adm} = (R_p + R_{lp})/FS_g \quad (1)$$

onde

P_{adm} é a carga admissível;
 FS_g é o fator de segurança global.

O critério de segurança é então expresso por:

$$P_{útil} \leq P_{adm} - P_{an} \quad (2)$$

onde

$P_{útil}$ é a carga útil admissível sobre o elemento de fundação, excluídas, para esta verificação, as cargas variáveis efêmeras (e a carga proveniente do atrito negativo).

O texto da NBR 6122/2019 promoveu apenas um rearranjo na expressão da versão de 2010. Conceitualmente, nada mudou em relação a expressão anterior, dada pela Equação 3:

$$Q_{adm} = \left[\left(\frac{Q_l^+ + Q_b}{F_s} \right) - Q_{an} \right] \quad (3)$$

onde Q_{adm} é a carga admissível; Q_l^+ e Q_b são as parcelas de atrito lateral positivo e base na ruptura, respectivamente; F_s é o fator de segurança global e Q_{an} é a carga por atrito negativo na ruptura.

As equações 1 a 3 tratam o atrito negativo como uma ação externa desfavorável que reduz a capacidade de carga geotécnica da estaca. Essa premissa favorece uma diminuição acentuada na capacidade de carga útil, levando a projetos com custos mais elevados. No trabalho de Tan & Fellenius (2016), uma das conclusões é a de que o problema do atrito negativo não é de capacidade

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





geotécnica. Trata-se, na verdade, de um estado limite de utilização, em que após o estabelecimento do plano neutro (recalque do solo igual ao da estaca), a questão relevante é se os recalques da fundação permanecerão dentro de limites aceitáveis ou não com o aumento da carga devido ao atrito negativo. Poulos (1997) e Fellenius (1998), entre outros, consideram que há uma concepção errônea de que este fenômeno irá reduzir a carga geotécnica Q_t .

2 Modelos de análise do fenômeno de atrito negativo

A seguir, serão mostrados dois modelos de avaliação do fenômeno de atrito negativo. No primeiro modelo (rígido-plástico), é possível avaliar a profundidade, carga e tensão de compressão no plano neutro, bem como a carga por atrito lateral (negativa e positiva) ao longo do comprimento da estaca. Já o segundo modelo (elasto-plástico), que é conceitualmente mais preciso que o rígido-plástico, permite avaliar todas as respostas anteriores, adicionando os recalques relativos entre o topo e a base da estaca e o solo adjacente. Além disso, possibilita a avaliação da resistência mobilizada na base da estaca.

2.1 Modelo Rígido-Plástico

Este modelo assume que as parcelas devido ao atrito lateral positivo (Q_l^+), atrito lateral negativo (Q_l^- ou Q_{an}) e a resistência da base (Q_b) são totalmente mobilizados na condição de ruptura. Além disso, o atrito lateral unitário positivo (q_l^+) e negativo (q_l^-) variam linearmente com a profundidade z da estaca. Por fim, q_l^+ e q_l^- possuem o mesmo valor na mesma profundidade. Essa afirmação não é completamente válida para a base, ao contrário da carga lateral, que requer menores recalques para sua completa mobilização. Q_a representa a carga aplicada no topo da estaca, atuando como carga permanente.

A Figura 2 ilustra os elementos da transferência de carga conforme o modelo rígido-plástico. É importante observar que a simbologia utilizada nas Figuras 2 e 3, bem como nas Equações 4 a 9, apresentam pequenas diferenças em relação às Equações 1 a 3 da NBR 6122/2019. No entanto, essas diferenças serão claramente identificadas nas equações pertinentes. Com os elementos da Figura 2, é possível estabelecer as seguintes relações:

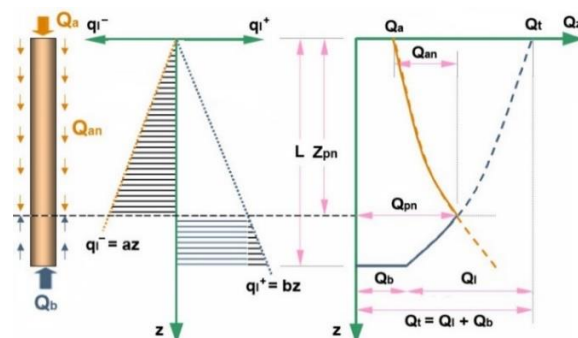


Figura 2. Atrito negativo - Modelo rígido-plástico

$$Q_{an} = \left(\frac{U \cdot a \cdot Z_{pn}^2}{2} \right) \quad (4)$$

$$Q_l = \left(\frac{U \cdot a \cdot L^2}{2} \right) \quad (5)$$

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





onde U é o perímetro da seção transversal da estaca; Z_{pn} é a profundidade do ponto neutro; a é coeficiente angular da reta $q_l^- = a.z$ e L é o comprimento da estaca.

Utilizando as equações do equilíbrio para as regiões acima e abaixo do ponto neutro, obtém-se as Equações 6 e 7. Resolvendo essas equações e introduzindo dois parâmetros adimensionais $\alpha = Q_t/Q_l$ e $F_s = Q_t/Q_a$, é possível obter as equações 8 e 9:

$$Q_{pn} = Q_a + U \int_0^{Z_{pn}} q_l^- dz \quad (6)$$

$$Q_{pn} = Q_b + U \int_{Z_{pn}}^L q_l^+ dz \quad (7)$$

$$Q_{pn} = \frac{Q_t}{2} \left(1 + \frac{1}{F_s} \right) \quad (8)$$

$$Z_{pn} = L \sqrt{\frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{1}{F_s} \right)} \quad (9)$$

onde Q_t é a capacidade de carga total da estaca, ou seja, a soma das parcelas de atrito lateral e de base na ruptura; Q_{pn} é a carga no ponto neutro (carga máxima na estaca); Z_{pn} é a profundidade do ponto neutro; F_s é o fator de segurança; e L é o comprimento total da estaca.

2.2 Modelo Elasto-Plástico

No modelo elasto-plástico, são assumidas as seguintes hipóteses: a estaca é considerada rígida e incompressível, e o recalque do subsolo é linear, atingindo um valor máximo na superfície do terreno e decrescendo com a profundidade. Somente na zona de transição do ponto neutro é que o atrito negativo e o atrito positivo podem não ser totalmente mobilizados. A Figura 3 mostra a transferência de carga para o modelo elasto-plástico.

Três parâmetros adimensionais são introduzidos, como segue: $\Psi = \delta_{b,max}/S$; $\omega = \delta_{l,max}/S$ e por fim, $\lambda = \delta_t/S = Z_{pn}/L$. $\delta_{b,max}$ e $\delta_{l,max}$ são os valores de deslocamento relativo para a mobilização da base e fuste da estaca, respectivamente; δ_t é o recalque relativo no topo entre a estaca e a superfície do terreno; δ_b é o recalque relativo na base entre a estaca e a superfície do terreno; $S = \delta_t + \delta_b$ ao longo da profundidade da estaca. Em tempo, o ponto neutro é deslocado para baixo quando a resistência Q_b aumenta e para cima quando Q_a aumenta.

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

Organização:



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

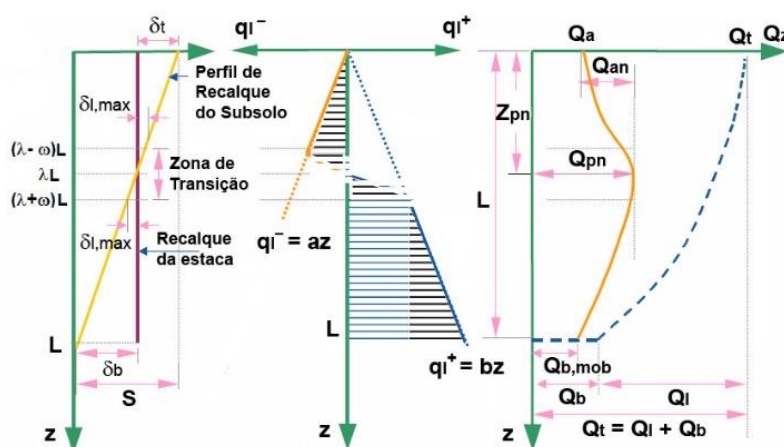


Figura 3. Transferência de carga - Modelo elasto-plástico

Para este modelo, uma solução determinística será apresentada com os parâmetros relevantes já introduzidos, conforme equações 10 a 13.

$$Q_{pn} = Q_a + U \int_0^{(\lambda-\omega)L} q_l^- dz + U \int_{(\lambda-\omega)L}^{\lambda L} q_{l,mob}^- dz \quad (10)$$

$$Q_{pn} = Q_{b,mob} + U \int_{\lambda L}^{(\lambda+\omega)L} q_{l,mob}^+ dz + U \int_{(\lambda+\omega)L}^L q_l^+ dz \quad (11)$$

$$Q_{pn} = Q_t \left[\frac{1}{F_s} + \frac{1}{\alpha} \left(\lambda^2 - \omega\lambda + \frac{\omega^2}{3} \right) \right] \quad (12)$$

$$Q_{b,mob} = Q_b \frac{\delta_b}{\delta_{b,max}} \quad (13)$$

Matyas & Santamarina (1994) apresentam detalhes do modelo elasto-plástico, incluindo a extensão da zona de transição entre o atrito negativo totalmente mobilizado e o atrito positivo totalmente mobilizado. Isso possibilita a visualização das limitações e outras informações relevantes para a aplicação do modelo elasto-plástico. Este modelo é mais preciso em comparação com o rígido-plástico.

3 Aplicação dos modelos

Serão realizadas avaliações de alguns casos da literatura aplicando os modelos apresentados. Serão abordados aspectos que têm maior impacto na fase de projeto de fundações. Matyas & Santamarina (1994) propõem os dados de entrada para o modelo em duas estacas, denominadas EC01 e EC02. A Tabela 1 apresenta os dados de entrada para o modelo rígido-plástico, incluindo os valores de diâmetro (D), comprimento (L), carga lateral (Q_l), carga na base (Q_b) e o fator de segurança global correspondente.

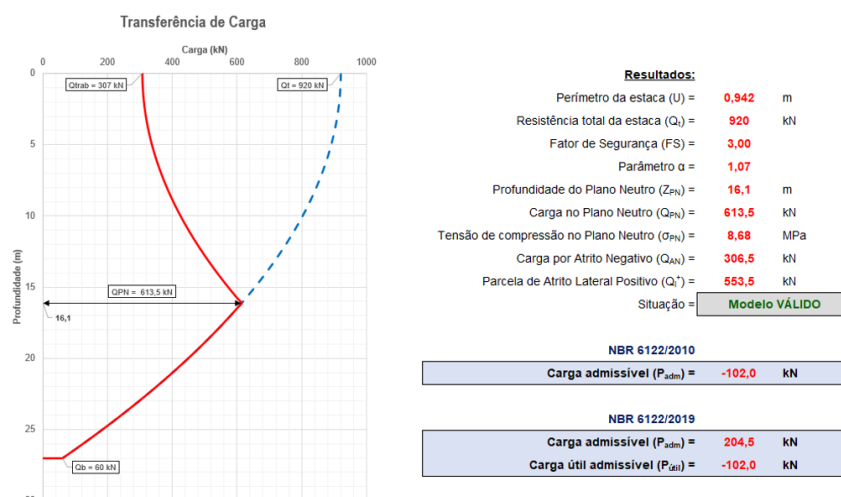
Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





Tabela 1. Entrada de dados: avaliação do atrito negativo

Estaca	D (m)	L (m)	Q_i (kN)	Q_b (kN)	FS -	Q_{trab} (kN)
EC01	0,30	27	860	60	3	≈ 307
EC02	0,30	27	860	1910	2	1385

Figura 4. Resultados para modelo rígido-plástico: EC01 ($F_s = 3,0$)

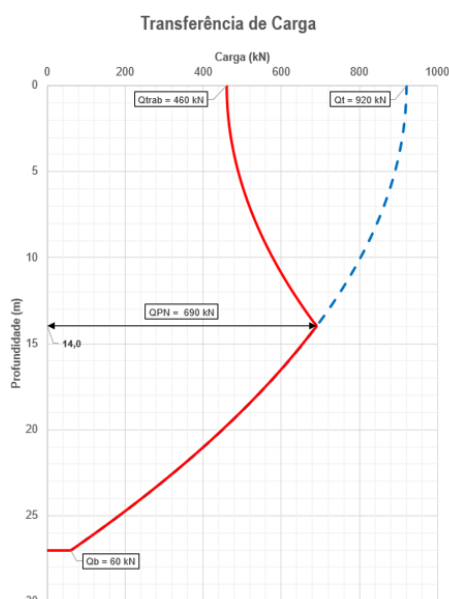
Na Estaca EC01, com um Fator de Segurança global igual a 3, a carga no ponto neutro é de 613,5 kN (essa carga deve ser resistida pelo elemento estrutural), com o ponto neutro localizado a 16,1 m de profundidade. Além disso, temos que a carga por atrito negativo (Q_{AN}) é de 306,5 kN e a carga lateral positiva abaixo do ponto neutro (Q_i^+) de 553,5 kN. A transferência de carga ao longo da profundidade é ilustrada graficamente na Figura 4. Também é mostrado o valor da carga admissível útil geotécnica de acordo com a NBR 6122/2010 e 2019, com um valor de -102 kN (sem sentido físico, portanto). Esse valor negativo é resultado do coeficiente de segurança adotado. Se um $F_s = 2$ for adotado, de acordo com as Equações 8 e 9, a profundidade e a carga no plano neutro são alteradas. A Figura 5 mostra que, ao mudar o F_s , os resultados também mudam, pois estão interconectados. A carga admissível passa a ser positiva e muito baixa de acordo com a NBR 6122/2019.

Para EC02, têm-se a mesma geometria e comprimento da EC01, porém com uma carga na base significativamente maior do que a EC01. Os resultados são apresentados na Figura 6. Os resultados indicam que, para um fator de segurança igual a 2, a carga no ponto neutro (Q_{PN}) é de 2077,5 kN, localizada em uma profundidade de 24,2 m. A carga por atrito negativo (Q_{AN}) é de 692,5 kN e a carga por atrito positivo abaixo do ponto neutro (Q_i^+) é de 167,5 kN. A Figura 6 apresenta o valor da carga admissível geotécnica de acordo com as expressões constantes nas NBR 6122/2010 e NBR 6122/2019, cujo valor é igual a 346,3 kN.

No caso da EC02, em que Q_b é maior que Q_i , o ponto neutro fica mais profundo, e o valor da carga admissível de acordo com a NBR 6122/2019 seria muito baixo, tornando-se antieconômico para uso em projeto. As análises para o modelo elasto-plástico serão realizadas apenas para a estaca EC01, com os mesmos dados das estacas da Tabela 1, acrescidos do recalque relativo total (S) de 20 mm. O recalque relativo necessário para mobilizar o fuste é de 1 mm, enquanto que, para mobilizar a base, o recalque é de 20 mm. Os resultados obtidos no modelo elasto-plástico (EC01), assim como a transferência de carga ao longo da profundidade, são apresentados na Figura 7.

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





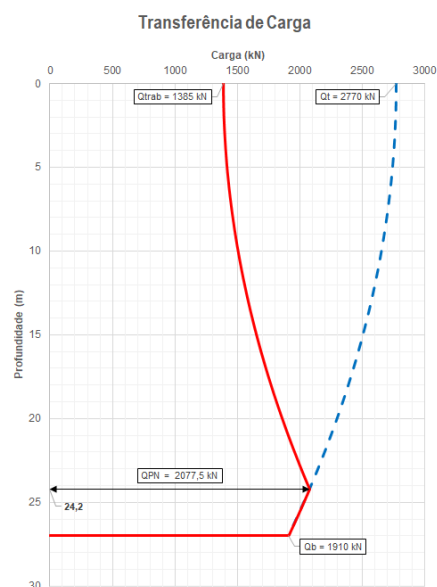
Resultados:

Perímetro da estaca (U) =	0,942	m
Resistência total da estaca (Q_t) =	920	kN
Fator de Segurança (FS) =	2,00	
Parâmetro α =	1,07	
Profundidade do Plano Neutro (Z_{PN}) =	14,0	m
Carga no Plano Neutro (Q_{PN}) =	690,0	kN
Tensão de compressão no Plano Neutro (σ_{PN}) =	9,76	MPa
Carga por Atrito Negativo (Q_{AN}) =	230,0	kN
Parcela de Atrito Lateral Positivo (Q_l^+) =	630,0	kN
Situação =	Modelo VÁLIDO	

NBR 6122/2010

Carga admissível (P_{adm}) = 115,0 kN

NBR 6122/2019

Carga admissível (P_{adm}) = 345,0 kNCarga útil admissível ($P_{útil}$) = 115,0 kNFigura 5. Resultados para modelo rígido-plástico: EC01 ($F_s = 2,0$)

Resultados:

Perímetro da estaca (U) =	0,942	m
Resistência total da estaca (Q_t) =	2770	kN
Fator de Segurança (FS) =	2,00	
Parâmetro α =	3,22	
Profundidade do Plano Neutro (Z_{PN}) =	24,2	m
Carga no Plano Neutro (Q_{PN}) =	2077,5	kN
Tensão de compressão no Plano Neutro (σ_{PN}) =	29,4	MPa
Carga por Atrito Negativo (Q_{AN}) =	692,5	kN
Parcela de Atrito Lateral Positivo (Q_l^+) =	167,5	kN
Situação =	Modelo VÁLIDO	

NBR 6122/2010

Carga admissível (P_{adm}) = 346,3 kN

NBR 6122/2019

Carga admissível (P_{adm}) = 1038,8 kNCarga útil admissível ($P_{útil}$) = 346,3 kNFigura 6. Resultados para modelo rígido-plástico: EC02 ($F_s = 2,0$)

Analisando os resultados para o modelo elasto-plástico da estaca EC01 (Fig.7), tem-se que a carga no ponto neutro é de 571,2 kN, a qual deve ser resistida pelo elemento estrutural, e o ponto neutro está localizado a 15,64 m de profundidade. Além disso, temos que a carga por atrito negativo (Q_{AN}) é de 264,2 kN e a carga lateral positiva abaixo do ponto neutro (Q_l^+) de 595,8 kN.

Também é apresentado o valor da carga admissível geotécnica, de acordo com a NBR 6122/2010 e com a NBR 6122/2019, com um valor de -45,6 kN – novamente demonstrando um valor negativo e sem sentido físico. Fica a indagação aos profissionais da Engenharia de Fundações que se segue: com base nos modelos apresentados e adicionando a sugestão da NBR 6122/2019, a estaca seria projetada para uma carga negativa igual a -102 kN para o modelo rígido-plástico ou -45 kN para o elasto-plástico? Qual carga deveria ser utilizada?

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



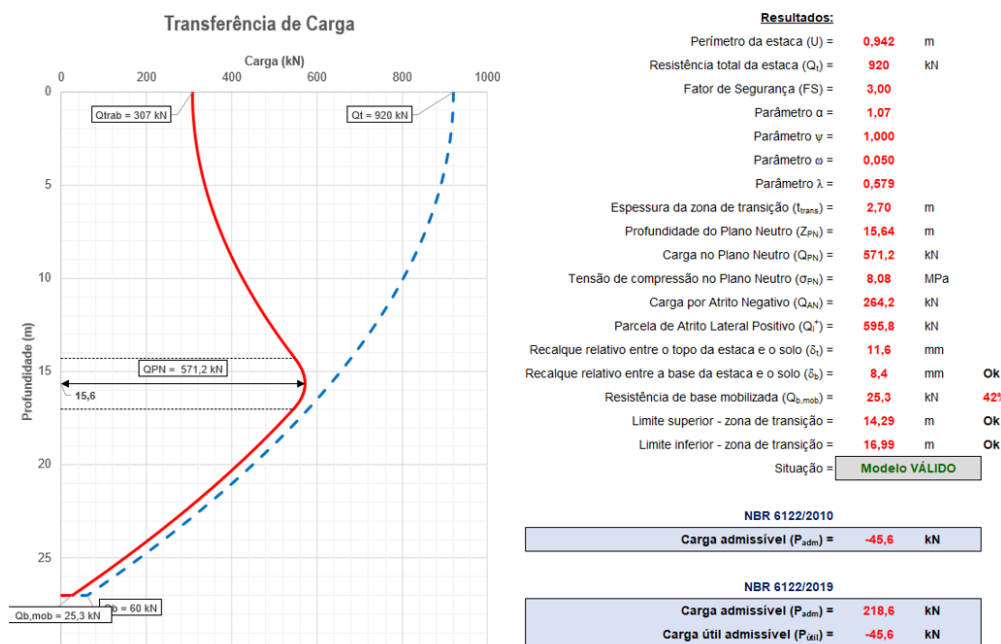


Figura 7. Resultados para modelo elasto-plástico: EC01 ($F_s = 3,0$)

Comparando os modelos, observamos que Q_{PN} e Z_{PN} seriam menores no modelo elasto-plástico em relação ao modelo rígido-plástico. Na Figura 7, é possível verificar que na base, somente seriam mobilizados 25,3 kN para o modelo elasto-plástico, enquanto no rígido-plástico, seriam mobilizados 60 kN. Por imposição do modelo elasto-plástico, a distribuição do deslocamento relativo estaca-solo é linear. O recalque relativo entre o topo da estaca e o solo é de 11,6 mm, enquanto que o recalque relativo entre a base da estaca e o solo é de 8,4 mm, totalizando um deslocamento relativo total igual a 20 mm.

4 Conclusões

Diante das análises realizadas, pode-se concluir que:

1. Conforme o item 5.8.1 da NBR 6122/2019, o valor da carga admissível da estaca, quando o atrito negativo atua, pode ser drasticamente reduzido;
2. Sugere-se que a expressão Q_{adm} seja reescrita na forma tradicional, ou seja, $Q_{adm} = (Q_l + Q_b)/FS$, ao contrário das expressões atualmente sugeridas na NBR 6122/2019. Isso se deve ao fato de que não há efeito do atrito negativo na capacidade geotécnica da estaca, pois se trata de um problema de recalque;
3. A partir das Equações 8 e 9, nota-se que o Fator de Segurança (FS) e a carga no ponto neutro (Q_{PN}) estão interconectados. Mudando o valor do FS, o valor do atrito negativo (Q_{an}) também é alterado;
4. O uso do modelo rígido-plástico, que assume a total mobilização para Q_l e Q_b , pode ser inadequado para avaliar o atrito negativo, especialmente para estacas com uma proporção maior de Q_b em relação a Q_l . Isso pode levar a valores superestimados em comparação com o modelo elasto-plástico;
5. O uso das expressões do item 5.8.1 da NBR 6122/2019, quando o atrito negativo atua, resulta em uma considerável redução na carga admissível. Essas expressões devem ser revistas nas próximas edições da norma, uma vez que os efeitos do atrito negativo não

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





devem ser tratados como ações externas desfavoráveis que reduzem a capacidade de carga geotécnica da estaca, mas sim como um problema de recalque ou estado limite de utilização. Após o estabelecimento do plano neutro, a questão pertinente é se os recalques da fundação permanecerão pequenos e dentro de limites aceitáveis;

6. O uso dos dois modelos de análise do atrito negativo destaca a importância de incluir a parcela de recalque relativo (estaca-solo) do solo circundante à estaca. A não consideração desse aspecto pode levar a sérios erros de superestimação do esforço atuante ($Q_{PN} = Q_{adm} + Q_{AN}$).
7. É crucial a escolha adequada do valor da carga admissível (estrutural) do elemento estaca, a fim de evitar possíveis rupturas quando o atrito negativo entra em ação. A carga admissível estrutural do elemento deve ser menor do que a carga máxima no plano neutro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro.
- Bjerrum, L., Johannessen, I. J., Eide, O. (1969). Reduction of Negative Skin Friction on Steel Piles to Rock. In *Proc. 7th Int. Conf. in Soil Mech. & Found. Engrg*, Mexico, Vol. 2, pp 27-34.
- Bozozuk, M., (1972). Downdrag Measurements on a 160-ft Floating Test Pile in Marine Clay. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 9 (2), pp. 127-136.
- Fellenius, B.H. (1972). Downdrag on Long Piles in Clay due to Negative Skin Friction. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 9 (4), pp 323-337.
- Fellenius, B.H. (1998). Recent advances in the design of piles for axial loads, dragload, downdrag and settlement. *Proceedings of the ASCE and Port of New York and New Jersey*, 19 p.
- Fellenius, B. H & Altaee, A., (1995). Critical depth: how it came into being and why it does not exist. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 113(2), 107-111.
- Fellenius, B.H., Broms, B.B. (1969). Negative Skin Friction for Long Piles Driven in Clay. *Proc. 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Mexico City, Aug. 25-29, Vol (2), 93-97.
- Gonçalves, C; Bernardes, G. P.; Neves, L. F. S (2007). *Estacas Pré-Fabricadas de Concreto: Teoria e Prática*. São Paulo: 1ª edição, 616 p.
- Johannessen, I. J., Bjerrum, L. (1965). Measurement of the compression of a steel pile to rock due to settlement of the surrounding clay. In *Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Montreal, QC, Canada, 8-15 September 1965; pp. 261-264.
- Matyas, E. L., Santamarina, J. C. (1994). Negative Skin Friction and the Neutral Plane. *Canadian Geotechnical Journal*. 31: 591-597.
- Poulos, H.G. (1997). Piles subjected to negative friction: A procedure for design. *Geotechnical Engineering (Southeast Asian Geotechnical Society)*, 28(1) 23-44.
- Tan S. A., Fellenius B. H. (2016). Negative skin friction pile concepts with soil-structure interaction. *Geotech Res* 3(4):137-147.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 1st Edition, John Wiley and Sons, New York.

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

