

Influência da largura da base na resistência ao arrancamento de ancoragem em formato L assentada em solo areno-argiloso

Influence of width on pull-out capacity of a L-shaped plate anchor in cohesive-frictional soil

Influencia del ancho en la capacidad de arranque de un anclaje de plana en L en suelo cohesivo-friccional

Recebido: 12/06/2022 | Revisado: 28/06/2022 | Aceito: 30/06/2022 | Publicado: 09/07/2022

Carolina Coelho de Magalhães Grossi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3375-6811>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: carolcmg2@hotmail.com

Leonardo Naoto Bussolin

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6189-2581>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: naoto.bussolin@gmail.com

Jeselay Hemetério Cordeiro dos Reis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6196-2607>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: jeselay@uem.br

Resumo

O presente trabalho apresentou uma análise experimental do efeito do grau de compactação do solo, do comprimento da ancoragem e da aplicação de sobrecarga na capacidade de carga de ancoragens em L assentadas em solo areno-argiloso a partir das curvas carga x deslocamentos obtidas nos ensaios de arrancamento estáticos. O carregamento inclinado, oriundo da configuração de estais de torres de transmissão, desenvolve resposta horizontal e vertical da ancoragem e a maioria dos artigos até então focaram no estudo de ancoragens assentadas em posição horizontal ou vertical, além de não verificarem a influência do comprimento da placa e seu efeito tridimensional. Foram realizados 13 testes experimentais de arrancamento com aumentos progressivos de peso até a ruptura do solo, anotando os respectivos deslocamentos em ancoragens em L com quatro comprimentos distintos: 20 cm, 15 cm, 10 cm e 5 cm. Analisando gráficos tensão versus comprimento da ancoragem, verificou-se que a capacidade de carga não apresentam um crescimento linear constante. Para ancoragens com comprimento pequeno, a tensão mobilizada cresce consideravelmente com a diminuição da área de contato, provavelmente desenvolvendo uma ruptura por punção no solo. A partir do comprimento igual a 10 cm, o comportamento começa a seguir o pressuposto por Terzaghi (1943), com crescimento linear da capacidade de carga. Esse trabalho, por fim, chegou a valores teóricos de fatores de forma N_c , N_q e N_γ , influenciados pela sobrecarga aplicada e o grau de compactação do solo.

Palavras-chave: Testes experimentais de arrancamento; Fundações rasas; Ancoragem em Placa; Capacidade de carga; Comprimento da ancoragem.

Abstract

This work experimentally presented the effect of soil compaction, the footing size (l) and overload on the pull-out capacity of L-shaped anchor laid in sandy clayey soil from load displacements curves obtained in tests of static pull-out. The inclined load, arising from the configuration of guyed towers, develops horizontal and vertical response of the anchor and most of the articles until now focused on the study of anchor seated in a horizontal or vertical position, in addition to not verifying the influence of length/width and its three-dimensional effect. Thirteen experimental pullout tests were performed with progressive weight increases until the soil rupture, noting the respective displacements in L-shaped anchor with four different lengths: 20 cm, 15 cm, 10 cm and 5 cm. Analyzing tension versus footing size (l) behaviour, it was verified that load capacity does not present a constant linear increasing variation. For anchors with short length, the mobilized tension increases considerably as the contact area decreases, probably developing a puncture failure in soil. From the length equal to 10 cm, the behaviour begins to follow the assumption by Terzaghi (1943) with linear growth of pull-out capacity. This work finally presents a theoretical values of shape factors N_c , N_q and N_γ , influenced by the applied load and the soil compaction.

Keywords: Experimental pull-out analysis; Shallow foundations; Plate anchors; Bearing capacity; Footing size.

Resumen

El presente trabajo presentó un análisis experimental del efecto del grado de compactación del suelo, la longitud de anclaje y la aplicación de sobrecarga sobre la capacidad de carga de anclajes en L colocados en suelo arenoso-arcilloso a partir de las curvas de carga x desplazamiento obtenidas en los ensayos de extraer. La carga inclinada, proveniente de la configuración de tirantes de torres de transmisión, desarrolla la respuesta horizontal y vertical del anclaje y la mayoría de los artículos hasta entonces enfocados al estudio de anclajes asentados en posición horizontal o vertical, además de no verificar la influencia de la longitud de la placa y su efecto tridimensional. Se realizaron 13 pruebas de extracción experimentales con incrementos progresivos de peso hasta la ruptura del suelo, anotando los respectivos desplazamientos en anclajes en L con cuatro longitudes diferentes: 20 cm, 15 cm, 10 cm y 5 cm. Análisis de gráficos de tensión versus longitud de anclaje, se verificó que la capacidad de carga no presenta un crecimiento lineal constante. Para anclajes con longitudes cortas, la tensión movilizada aumenta considerablemente a medida que disminuye el área de contacto, desarrollando probablemente una falla por punción en el suelo. A partir de la longitud igual a 10 cm, el comportamiento pasa a seguir el supuesto de Terzaghi (1943), con crecimiento lineal de la capacidad de carga. Este trabajo, finalmente, llegó a los valores teóricos de los factores de forma N_c , N_q e N_γ , influenciada por la carga aplicada y el grado de compactación del suelo.

Palabras clave: Pruebas experimentales de extracción; Cimentaciones superficiales; Anclajes de placa; Capacidad de carga; Longitud de anclaje.

1. Introdução

As ancoragens são fundações usadas para absorver esforços de tração proveniente de estruturas suportadas por cabos tais como as torres de linha de transmissão e as estruturas offshore. Em muitos desses casos, essas fundações correspondem a placas ou vigas instaladas no solo para resistir aos os esforços tração na direção dos cabos (Giampa et al., 2018).

A resistência de ancoragens por blocos com altura igual a sua largura submetidas a esforços tem sido largamente estudada e seu mecanismo de ruptura em areias tem sido associado a empuxo passivo mobilizado na sua profundidade de assentamento dependendo da relação entre a profundidade de assentamento e a altura do bloco (Jadid et al., 2018). Cabe ressaltar que a superfície de ruptura de blocos de ancoragens se prolonga até duas vezes a sua largura, demonstrando forte influência da forma do bloco, do ponto de aplicação da carga e da direção da força.

Dessa forma, o mecanismo de resistência em ancoragens submetidas a esforços inclinados ainda necessita de esclarecimentos, principalmente, em relação ao efeito da dimensão da placa, sua inclinação em relação a vertical combinada a inclinação da carga.

Nos últimos anos foram desenvolvidas várias pesquisas para estimar a capacidade de ancoragens no solo (Zhang & Evans, 2019; Hu *et al.*, 2021; Liang et al., 2021) mas, apesar disso, muitos modelos utilizados ainda possuem uma grande parcela de empirismo, principalmente nos casos do efeito combinado de esforços verticais e horizontais.

Em muitos casos tem-se usado os modelos desenvolvidos para o cálculo de placas inclinadas (Bhattacharya and Kumar, 2014; Hanna et al., 2014; Singh et al., 2017), cuja aplicação em fundações verticais ou horizontais submetidas a esforços inclinados necessita de ajustes em função da dimensão da peça, sua profundidade de instalação, a sobrecarga atuante na superfície e a própria inclinação da carga.

Outra variável importante que afeta significativamente a capacidade de carga das ancoragens, consiste no tipo de solo, cujas propriedades mecânicas definem o tipo e a forma da superfície de ruptura e, conseqüentemente, sua capacidade de carga (Rowe e Davis, 1982a; Rowe e Davis 1982b).

Para solos coesivos, pode-se definir a pressão máxima horizontal em uma profundidade (z) a partir da teoria de Rankine como sendo:

$$p_u = \gamma z K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad \text{Equação 01}$$

onde: c é a coesão e K_p é o coeficiente de empuxo passivo.

Para solos puramente argilosos com ruptura não drenada com $\phi=0$:

$$p_u = \gamma z + 2c_u \quad \text{Equação 02}$$

ou ainda:

$$p_u = c_u \left(\frac{\gamma z}{c_u} + 2 \right) \quad \text{Equação 03}$$

de modo que:

$$p_u = c_u N_c \quad \text{Equação 04}$$

onde:

$$N_c = \left(\frac{\gamma z}{c_u} + 2 \right) \quad \text{Equação 05}$$

ou ainda em função de um valor de sobrecarga aplicada na superfície

$$N_c = \left(\frac{\gamma z + q}{c_u} + 2 \right) \quad \text{Equação 06}$$

que generalizando:

$$N_c = \left(\frac{\gamma z + q}{c_u} + N_0 \right) \quad \text{Equação 07}$$

Nota-se que, nessas expressões, não se considera o efeito da largura da placa combinada com uma inclinação de carga (Das, 1990).

Visando aperfeiçoar a expressão para cálculo da capacidade de carga considerando a dimensão do bloco, Marifield et al. (2001), propõe que:

$$N_{c0} = 2,46 c_u \left(\frac{2H}{B} \right) + 0,89 \quad \text{Equação 08}$$

onde H é a profundidade de assentamento da placa e B é a altura da placa. Apesar disso, todas essas análises consideram o problema plano, negligenciando assim o comprimento da placa e, com isso, o efeito tridimensional no comportamento da superfície de ruptura.

Dessa forma, esse trabalho mostra o resultado de um estudo experimental em escala reduzida do efeito do grau de compactação do solo, do comprimento da ancoragem e da aplicação de sobrecarga na capacidade de carga de ancoragens em L a partir das curvas carga x deslocamentos obtidas nos ensaios de arrancamento estáticos.

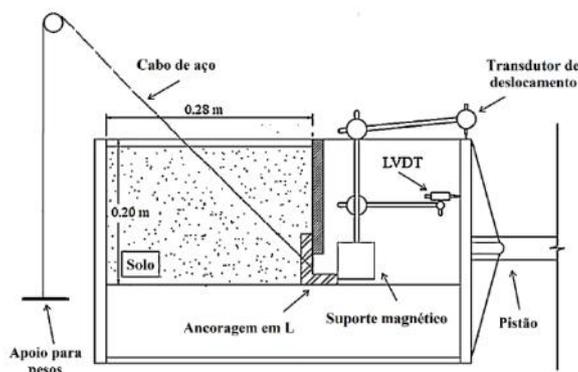
2. Metodologia

Os ensaios experimentais foram realizados utilizando modelos reduzidos, em um módulo experimental com dimensões de 0,4 m de profundidade, 0,3 m de altura e 0,6 m de comprimento (Ilamparuthi & Muthukrisnaiah, 1999; Ilamparuthi, Dickin & Muthukrisnaiah, 2002; Liu, Liu e Zhu, 2012; Choudhary & Dash, 2018). As paredes posterior e anterior do módulo eram constituídas de vidro, com espessura de 20 mm, facilitando a montagem do ensaio.

O sistema de carregamento foi formado por um cabo de aço inox tipo 304 com 1,59 mm de diâmetro, uma roldana metálica e um suporte de cargas e a ancoragem foi assentada de modo que o cabo operasse com inclinação de 45° durante o arrancamento, resultando numa altura de solo ensaiado de 0,2 m e comprimento de 0,28 m. Os detalhes do ensaio considerando um esquema com a dimensões da caixa e uma imagem com a preparação do corpo de prova podem ser observados na Figura 1.

Durante o ensaio, o carregamento foi feito de forma incremental e sequencial em 10 estágios até atingir 800 N com a colocação de anilhas de massa conhecida no suporte de cargas, após um assentamento com 80 N durante os 5 minutos iniciais. Os deslocamentos horizontais e verticais foram medidos com dois transdutores de deslocamento do tipo LVDT acoplados a um suporte magnético, localizado na extrema direita da ancoragem.

Figura 1. Arranjo experimental para ensaio de arrancamento da ancoragem em L (a) desenho esquemático (b) foto do módulo preparado para o ensaio de arrancamento.



(a)

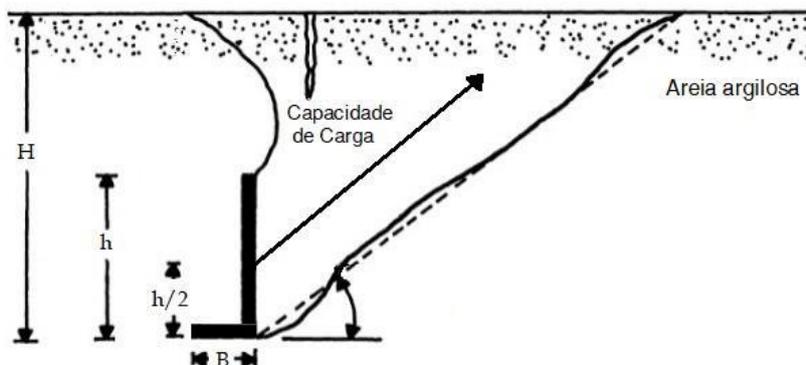


(b)

Fonte: Autores.

A superfície prevista de ruptura mobilizada no ensaio pode ser esquematicamente observada na Figura 2 e a Figura 3 mostra as ancoragens em L com comprimentos variando de 50 mm a 200 mm usados para verificação da influência do comprimento da altura em contato com o solo. A seção transversal da ancoragem em L possui 70 mm de altura e base com 50 mm de largura.

Figura 2. Superfície de ruptura em frente a ancoragem em L.



Fonte: Adaptado de Das (1990).

Figura 3. Modelos reduzidos de ancoragem em L utilizados.



Fonte: Autores.

Os corpos de prova foram preparados usando um solo evoluído do arenito Caiuá proveniente da cidade de Mandaguçu/PR classificado como areia argilosa (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades do solo

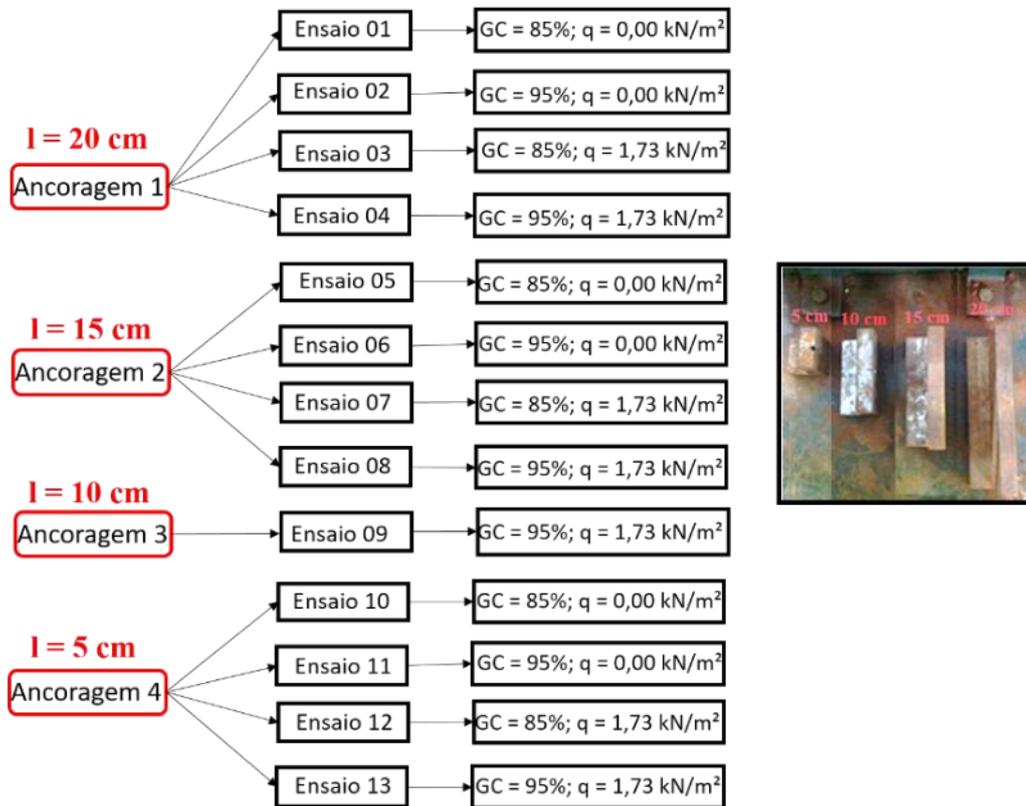
Propriedade	Valor
Massa específica dos grãos, ρ_s (g/cm ³)	2,73
Areia (%)	66,03
Silte (%)	5,46
Argila (%)	28,51
Teor de umidade ótimo, wot (%)	12,9
Massa específica máxima seca, $\rho_{d,máx}$ (g/cm ³)	1,89

Fonte: Autores.

Foram utilizadas duas condições de compactação de modo a se obter a influência do peso específico na resistência ao arrancamento: γ_d igual a 16,10 kN/m³ e 18,0 kN/m³ correspondentes aos graus de compactação de 85% e 95% em relação as condições ótimas de compactação da Energia Normal, respectivamente. Na Figura 4 é apresentado um fluxograma dos ensaios realizados considerando os dois graus de compactação do solo, a presença ou não de sobrecarga na superfície do solo e o tamanho

da ancoragem.

Figura 4. Fluxograma dos ensaios realizados.



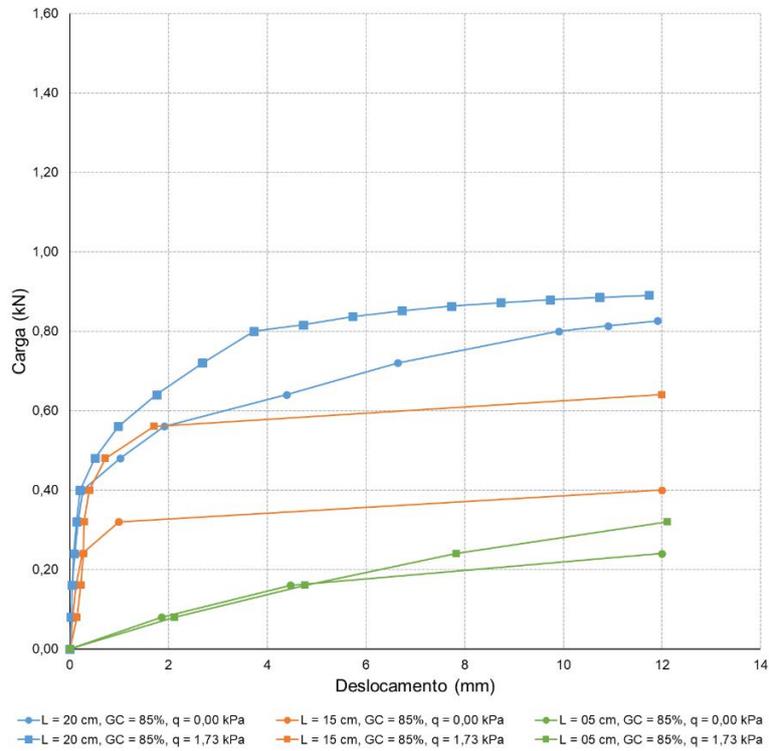
Fonte: Autores.

3. Resultados e Discussão

Foram realizados, ao todo, 13 ensaios de arrancamento. Desses, seis foram realizados sem aplicação de sobrecarga e sete foram realizados com aplicação de sobrecarga. As curvas carga x deslocamento são apresentadas nas Figuras 6 e 7, para grau de compactação igual a 85% e 95%, respectivamente. É possível observar que a carga de ruptura da ancoragem diminui à medida que sua área de contato com o solo também diminui e, assim, para os dois valores de grau de compactação, a ancoragem 04 ($L = 05$ cm) foi a que apresentou os menores valores. Também é possível observar um ganho na capacidade de carga com o aumento da sobrecarga, em todos os ensaios. Ainda, ensaios com grau de compactação igual a 95% apresentaram maiores valores de capacidade de carga do que os ensaios com 85%. Nos ensaios onde não foi possível observar a ruptura física do modelo, a carga de ruptura foi calculada a partir do Método de Chin (Chin, 1970). Os valores de capacidade de carga são apresentados no Quadro 1.

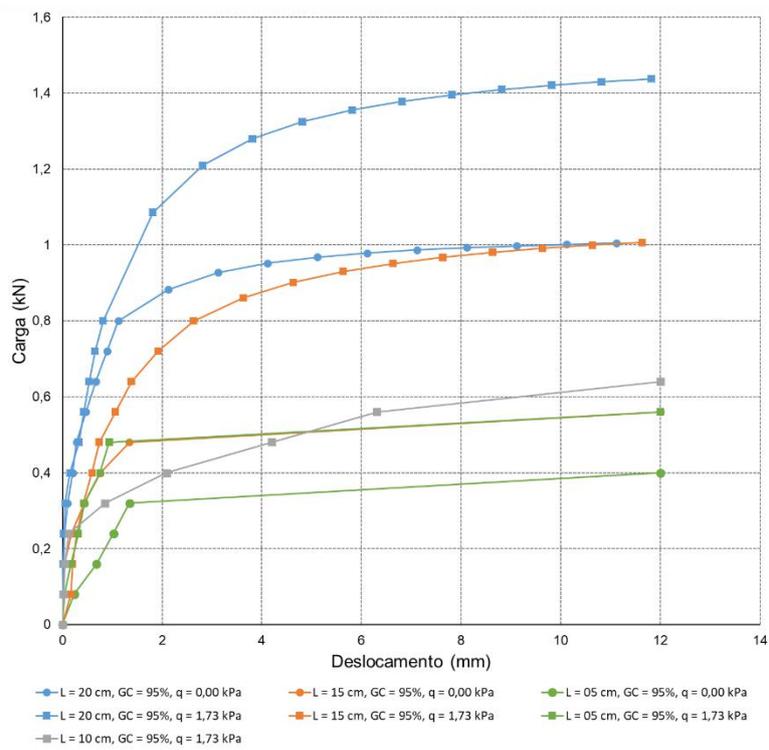
Os deslocamentos iniciais para ancoragens mais quadradas ($l = 05$ cm) são maiores do que as outras ancoragens, mais retangulares. Isso pode ser explicado pelo fato de que ancoragens quadradas geram condições no solo próximas das que são mobilizadas em ensaios triaxiais, enquanto as ancoragens retangulares se aproximam de comportamento em estado plano de deformação.

Figura 6. Curvas carga x deslocamento dos ensaios experimentais com C.G. = 85%



Fonte: Autores.

Figura 7. Curvas carga x deslocamento dos ensaios experimentais com C.G. = 95%



Fonte: Autores.

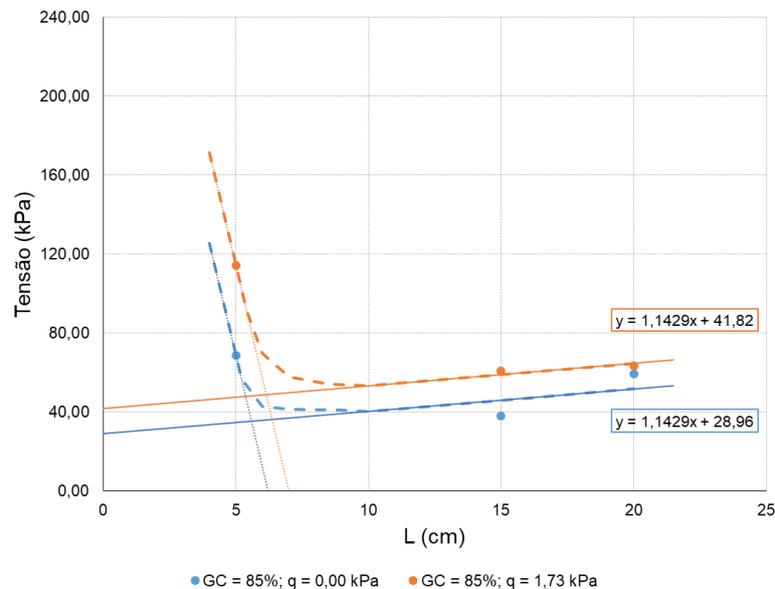
Quadro 1. Ensaios experimentais realizados.

Ancoragem	Tipos de ensaios	Grau de compactação	Peso específico seco, γ_d (kN/m ³)	Sobrecarga q (kN/m ²)	Capacidade de carga (kN)	Tensão na ruptura (kPa)
l = 20 cm	01	85	16.4	0	0,83	59,29
	02	95	17.9	0	1,01	72,14
	03	85	16.4	1.73	0,89	63,57
	04	95	17.9	1.73	1,44	102,86
l = 15 cm	05	85	16.4	0	0,40	38,10
	06	95	17.9	0	0,56	53,33
	07	85	16.4	1.73	0,64	60,95
	08	95	17.9	1.73	1,01	96,19
l = 10 cm	09	95	17.9	1.73	0,64	91,43
l = 05 cm	10	85	16.4	0	0,24	68,57
	11	95	17.9	0	0,40	114,29
	12	85	16.4	1.73	0,40	114,29
	13	95	17.9	1.73	0,56	160,00

Fonte: Autores.

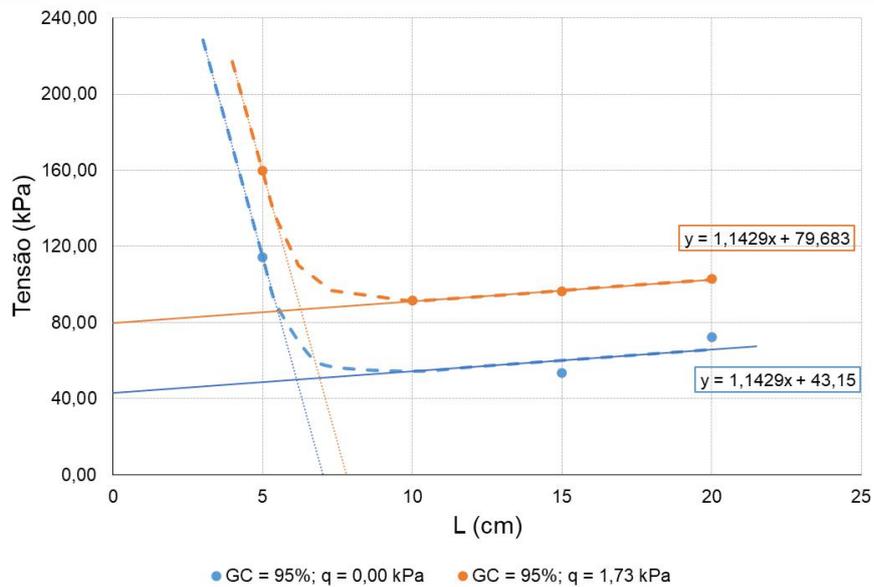
O Quadro 01 também apresenta os valores de tensão no solo, obtidos pela razão do valor da carga de ruptura e da área lateral de cada tipo de ancoragem. Foi plotado, então, um gráfico de tensão no solo versus tamanho da ancoragem e os resultados estão mostrados na Figura 8 e Figura 9 para grau de compactação de 85% e 95%, respectivamente.

Figura 8. Relação entre tensão e comprimento l da ancoragem para grau de compactação igual a 85%.



Fonte: Autores.

Figura 9. Relação entre tensão e comprimento l da ancoragem para grau de compactação igual a 95%.



Fonte: Autores.

Observando as Figuras 8 e 9, nota-se que para valores pequenos de comprimento, a tensão desenvolvida no solo pela atuação da força de tração é alta e decai de forma expressiva até valores de l entre 05 e 10 cm. A partir de então a tensão começa a aumentar de forma linear com o aumento do comprimento da ancoragem e, conseqüentemente, da área de contato. Esse comportamento é similar ao previsto por Aoki et al. (2007). Contrariando o pressuposto estabelecido por Terzaghi (1943), a tensão de ruptura tende a aumentar significativamente o seu valor com a diminuição da área de contato da ancoragem com o solo (representada pela variação do comprimento l) para valores próximos de zero.

Após o comprimento da ancoragem no valor de 10 cm, as tensões passam a aumentar linearmente com o aumento da área de contato com o solo, reaproximando do comportamento previsto por Terzaghi (1943). Dessa forma, foi possível calcular os fatores de forma que adequam o problema em questão. Sabendo que:

$$p_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma \left(\frac{L}{h}\right) HN_\gamma \quad \text{Equação 09}$$

os valores de N_c , N_q e N_γ são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Valores teóricos dos fatores de forma.

Fatores de forma		GC = 85%	GC = 95%
N_c		5,36	3,29
N_q		5,85	8,10
N_γ	l = 20 cm	0,25	0,22
	l = 15 cm	0,33	0,30
	l = 10 cm	0,50	0,44
	l = 05 cm	0,99	0,89

Fonte: Autores.

É possível perceber um aumento do fator N_γ com a diminuição da área lateral da ancoragem e esse comportamento é similar a análise feita por De Beer (1965a). O autor compilou os resultados de diversos estudos que mostram tal comportamento para solos com peso específico variando de 14,40 kN/m³ até 17,90 kN/m³.

Com os valores dos fatores de forma apresentados no Quadro 02, foi possível calcular a capacidade de carga para cada comprimento de ancoragem, para os dois graus de compactação, e o problema apresentando ou não sobrecarga. Os valores calculados são apresentados no Quadro 3.

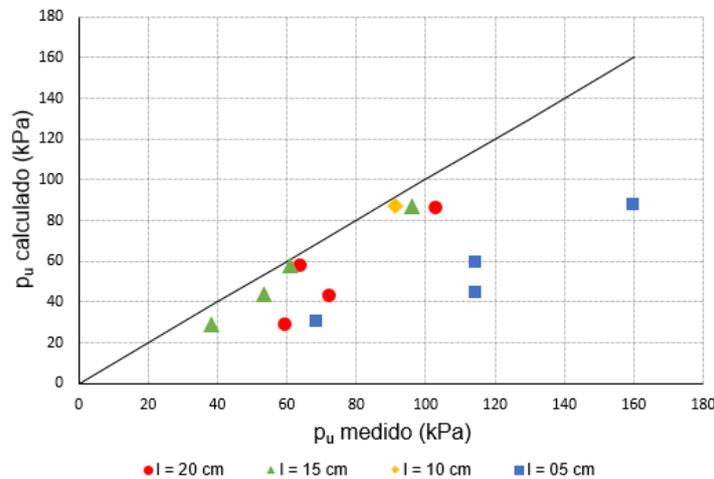
Quadro 3. Valores teóricos de capacidade de carga.

Comprimento da ancoragem - l (cm)	Capacidade de carga, p_u (kN/m ²)			
	GC = 85%		GC = 95%	
	q = 0,00 kPa	q = 1,73 kPa	q = 0,00 kPa	q = 1,73 kPa
20	29,36	58,32	43,55	86,70
15	29,49	58,45	43,68	86,83
10	29,76	58,72	43,95	87,10
05	30,56	59,52	44,75	87,90

Fonte: Autores.

Na Figura 10 estão apresentados os valores de capacidade de carga medidos nos ensaios experimentais e os valores calculados a partir dos fatores de forma encontrados. Observa-se o maior desvio dos resultados para a ancoragem de 05 cm, como era esperado, já que a equação 09 descreve um aumento linear de capacidade de carga, não conseguindo, dessa forma, simular o comportamento de ancoragens com áreas pequenas.

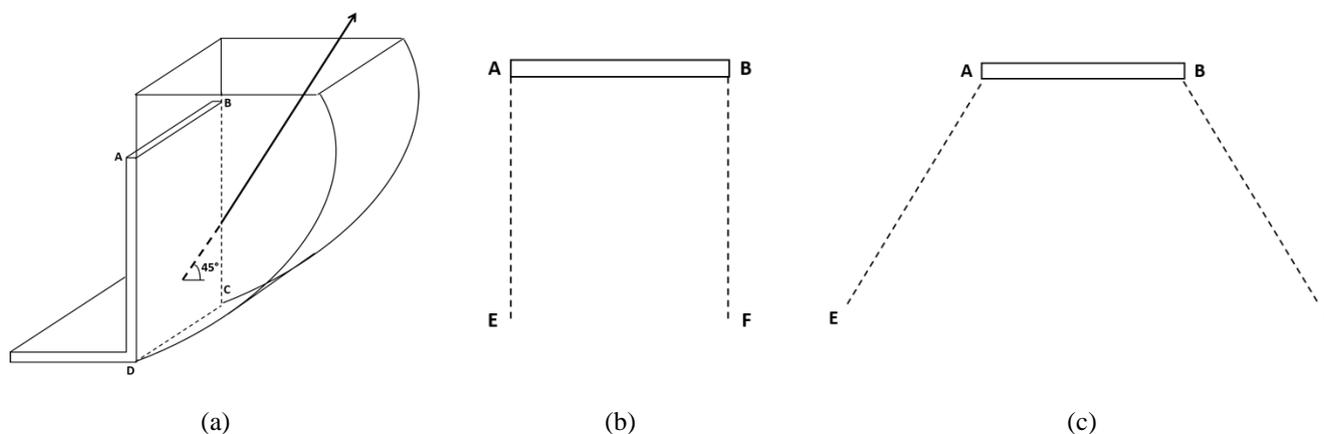
Figura 10. Comparação entre os valores de capacidade de carga medidos experimentalmente e teóricos.



Fonte: Autores.

Com a ancoragem menor e mais quadrada ($l/h = 0,7$), é provável que ocorra uma ruptura por puncionamento e, com isso, uma maior mobilização de cisalhamento ao longo da superfície de ruptura, aumentando consideravelmente o valor da capacidade de carga e da tensão. À medida que a ancoragem vai se alongando, o mecanismo de ruptura tende a modificar-se, experimentando uma ruptura generalizada (Figura 11).

Figura 11. Modelo esquemático da superfície de ruptura teoria (a) mobilizada por punção (vista em perspectiva); (b) mobilizada por punção (vista superior) e (c) generalizada (vista superior).



Fonte: Autores.

A mobilização de cisalhamento passa a ser um pouco menor para ancoragens retangulares ($l/h = 1,4$) com melhor distribuição de tensões no solo e começa a crescer à medida que a ancoragem tende o seu comportamento à strip (corrida), aumentando a quantidade de solo mobilizada na sua ruptura. Esse comportamento condiz com o trabalho de Niroumand, Kassim e Nazir (2013).

4. Considerações Finais

Esse trabalho realizou uma série de ensaios experimentais em modelo reduzido para avaliação da capacidade de carga de ancoragens em L, submetidas a um esforço inclinado de tração, analisando os parâmetros de grau de compactação do solo, tamanho da ancoragem e sobrecarga acima da superfície do solo. A capacidade de carga foi analisada a partir das curvas tensão x comprimento l da ancoragem.

Os valores da carga de ruptura usados para o desenvolvimento das análises foram em parte obtidos pela ruptura física do modelo experimental reduzido e, nos ensaios onde não houve ruptura física, foi adotado o Método de Chin para previsão da carga de ruptura.

Em relação às curvas carga x deslocamento, observou-se um aumento da carga última de ruptura com o aumento da dimensão l da ancoragem. Ainda, para ancoragens mais próximas de um formato quadrado, foram observados maiores deslocamentos iniciais do que para ancoragens mais próximas de um formato retangular ou aproximadas à ancoragens strip (corridas). Esse fato foi atribuído ao comportamento aproximado de um ensaio triaxial para as ancoragens quadradas e um desenvolvimento de um estado plano de tensão no solo para as ancoragens retangulares e strip.

Os gráficos de tensão x comprimento l da ancoragem demonstraram que a tensão no solo apresentava valores altos nas ancoragens quadradas e diminuía à medida que se aumentava o comprimento da ancoragem. Mas essa diminuição alcançava um valor de mínimo para l entre 05 cm e 10 cm e passava a aumentar para comprimentos maiores que 10 cm. Diferentemente da resposta obtida pela fórmula de Terzaghi, esse comportamento foi associado à diferente mobilização de superfície de ruptura que ocorre em ancoragens menores que se dá por punção, mobilizando um menor volume de solo e, conseqüentemente, aumentando a tensão no solo.

A partir do comprimento de ancoragem igual a 10 cm, foi possível prever um crescimento linear da capacidade de carga e, assim, calcular os fatores de forma N_c, N_q, N_γ . Assim como observado no estado da arte, há um aumento do fator N_γ com a diminuição da área de contato da ancoragem, indicando um aumento do nível de atrito mobilizado na ruptura por punção.

É importante que estudos futuros sejam realizados em ancoragens reduzidas, mas maiores dos que as utilizadas nesse trabalho e também em protótipos, para avaliação do efeito escala

Referências

- Aoki, N., Cintra, J. C. A., & Vianna, A. P. F. (2007). Influence of Footing Size and Matric Suction on the Behavior of Shallow Foundations in Collapsible Soil. *Soils and Rocks: International Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 30(3), pp. 127-137.
- Bhattacharya, P., & Kumar, J. (2014). Pullout capacity of inclined plate anchors embedded in sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 51, 1635-1370. <http://dx.doi.org/10.1139/cgj-2014-0114>
- Chin, F. K. (1970). Estimation of the Ultimate Load of Piles from Tests Not Carried to Failure. *Proceedings of Second Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Singapore*, 11-15 June 1970, pp. 81-92.
- Choudhary, A. K., & Dash, S. K. (2016). Load-carrying mechanism of vertical plate anchors in sand. *International Journal of Geomechanics*, 17(5): 04016116. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000813](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000813)
- Das, B. M. (1990). Earth anchors. *Developments in Geotechnical Engineering*. Elsevier, Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo.
- De Beer, E. E. (1965a). Bearing capacity and settlement of foundations. *Syposium on Bearing Capacity and Settlement of Foundations*. Held at Duck University, Duham, pp. 15-34.
- Evans, T. M., & Zhang, N. (2019). Three-dimensional simulations of plate anchor pullout in granular materials. *International Journal of Geomechanics*, 19(4): 04019004. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0001367](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001367).
- Giampa, J. R., Bradshaw, A. S., Gerkus, H., Gilbert, R. B., Gavi, K. G., & Sivakumar, V. (2018). The effect of shape on the pull-out capacity of shallow plate anchors in sand. *Géotechnique*, 17, pp. 1-9. <http://doi.org/10.1680/jgeot.17.P.269>
- Hanna, A., Foriero, A., & Ayadat, T. (2014). Pullout capacity of inclined shallow single anchor plate in sand. *Indian Geotechnical Journal*, 45(1): 110-120. <http://dx.doi.org/10.1007/s40098-014-0113-7>
- Hu, S., Zhao, L., Tan, Y., Yang, F., Wang, Z., & Zhao, Z. (2021). Variation analysis of uplift bearing characteristics of strip anchor plate in nonhomogeneous materials. *International Journal of Geomechanics*, 21(4): 04021037. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0001974](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001974)
- Ilamparuthi, K., Dickin, E. A., & Muthukrisnaiah, K. (2002). Experimental investigation of the uplift behaviour of circular plate anchors embedded in sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 39, pp. 648-664. <http://dx.doi.org/10.1139/T02-005>
- Ilamparuthi, K., & Muthukrisnaiah, K. (1999). Anchor in sand bed: delineation of rupture surface. *Ocean Engineering*, 26, pp. 1249-1273.
- Jadid, R.; Abedin, Z., Shahriar, A. R., & Arif, Z. U. (2018). Analytical model for pullout capacity of a vertical concrete anchor block embedded at shallow depth in cohesionless soil. *International Journal of Geomechanics*, 18 (7): 06018017. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0001212](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001212)
- Liang, W., Zhao, J., Wu, H., & Soga, K. (2021). Multiscale modeling of anchor pullout in sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 147(9): 04021091. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002599](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002599)
- Liu, J. P. E., Liu, M., & Zhu, Z. (2002). Sand deformation around an uplift plate anchor. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(6), pp. 728-737. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)gt.1943-5606.0000633](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)gt.1943-5606.0000633)
- Marifield, R. S., Sloan, S. W., & Yu, H. S. (2001). Stability of plate anchors in undrained clay. *Géotechnique*, 51(2), pp. 141-153.
- Niroumand, H., Kassim, K. A., & Nazir, R. (2013). The influence of soil reinforcement on the uplift response of symmetrical anchor plate embedded in sand. *Measurement*, 46, pp. 2608-2629. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2013.04.072>
- Rowe R. K., & Davis, E. H. (1982a). The behaviour of anchor plates in clay. *Géotechnique*, 32(1), pp. 9-23.
- Rowe R. K., & Davis, E. H. (1982b). The behaviour of anchor plates in sand. *Géotechnique*, 32(1), pp. 25-41.
- Singh, V., Maitra, S., & Chatterjee, S. (2017). Generalized design approach for inclined strip anchors in clay. *International Journal of Geomechanics*, 17(6): 04016148. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000849](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000849)
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Editora John Wiley e Sons, 1ª edição, Nova York.