

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Fundações de *Trackers*: Métodos de Previsão × Ensaios de Arrancamento

Gabryel Gomercindo Soares

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil,
gabryel_sooares@hotmail.com

Naloan Coutinho Sampa

Professor, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, naloan.sampa@ufsc.br

Gracieli Dienstmann

Professora, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, g.dienstmann@ufsc.br

RESUMO: O artigo analisa o dimensionamento de fundações em estacas metálicas curtas para *trackers* por meio de comparação dos resultados dos ensaios de arrancamento (Pull Out Test - POT) com os valores estimados pelos métodos de capacidade de carga consagrados na literatura. Os métodos de Biarez e Barraud (1968), Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) foram utilizados para estimar capacidade de carga axial à tração, enquanto que o método de Broms (1964) foi utilizado para estimar a capacidade de carga horizontal. 3 perfis típicos de solo e 4 perfis de estacas metálicas foram considerados nas análises. Os resultados de previsão foram confrontados com os medidos nos ensaios e devidas conclusões foram apresentadas. Nota-se que os menores valores de capacidade de carga estimados pelo método de Biarez e Barraud (1968) em relação aos de Aoki-Velloso (1975) e de Décourt-Quaresma (1978) – 32% a 81% - são reflexos da diferença de mecanismos considerados na formulação dos métodos. Não há uma tendência clara a respeito da razão entre as cargas de tração medidas no ensaio de arrancamento e as cargas admissíveis estimadas pelo método de Biarez e Barraud (1968). O valor da razão depende do perfil da estaca e do tipo de solo,. Deslocamentos horizontais estimados pelo método de Broms (1964) foram superiores à média dos deslocamentos medidos experimentalmente.

PALAVRAS-CHAVE: Pull Out Test, Capacidade de Carga, Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma, Grenoble, Broms, Trackers.

ABSTRACT: The paper analyzes the design of foundations in short metallic piles for trackers by comparing the results of pull out tests with the values estimated by load capacity methods established in the literature. The Biarez e Barraud (1968), Aoki-Velloso (1975) and Décourt-Quaresma (1978) methods were used to estimate axial tensile load capacity, while the Broms method was used to estimate horizontal load capacity. 3 typical soil profiles and 4 metal pile profiles were considered in the analyses. The prediction results were compared with those measured in the tests and appropriate conclusions were presented. It can be seen that the lower load capacity values estimated by the Biarez e Barraud (1968) method in relation to the Aoki-Velloso (1975) and Décourt-Quaresma (1978) methods - 32% to 81% - are a reflection of the different mechanisms considered in the formulation of the methods. There is no clear trend regarding the ratio between the tensile loads measured in the pull out tests and the allowable loads estimated by the Biarez e Barraud (1968) method. The value of the ratio depends on the pile profile and soil type. Horizontal displacements estimated by the Broms (1964) method were higher than the average displacements measured experimentally.

KEYWORDS: Pull Out Test, Load Capacity, Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma, Grenoble, Broms, Trackers.

1 Introdução

A necessidade urgente de gerar mais energias renováveis por questão de sustentabilidade motivou a implantação de usinas em áreas *onshore* e *offshore* com grande incidência de luz solar, de vento ou de ondas



do mar. Nos últimos anos, a implantação de usinas solares fotovoltaicas no Brasil experimentou um enorme crescimento. Segundo EPE (2020), a maior expansão proporcional na capacidade instalada de geração de eletricidade no Brasil ocorreu na energia solar fotovoltaica, tendo um aumento de 37,6% em 2019, após um crescimento de quase 100% em 2018 em comparação ao ano anterior. Como reflexo, cerca de 1,4% do total da energia renovável gerada atualmente no Brasil consistem em energia solar fotovoltaica.

O pleno funcionamento dessas usinas depende de um conjunto de equipamentos e acessórios (Figura 1), incluindo as estacas metálicas cravadas no solo para absorver e resistir os esforços de vento atuantes nos módulos fotovoltaicos. O desempenho geotécnico dessas estacas é analisado geralmente por meio dos ensaios de arrancamento que compreendem carregamentos horizontais e axiais de compressão e tração. Tais ensaios têm sido realizados com base nas normas ASTM D3966.07 e ASTM D3689.07 e nas especificações dos fornecedores dos *trackers*, definidas a partir da análise estrutural dos produtos.

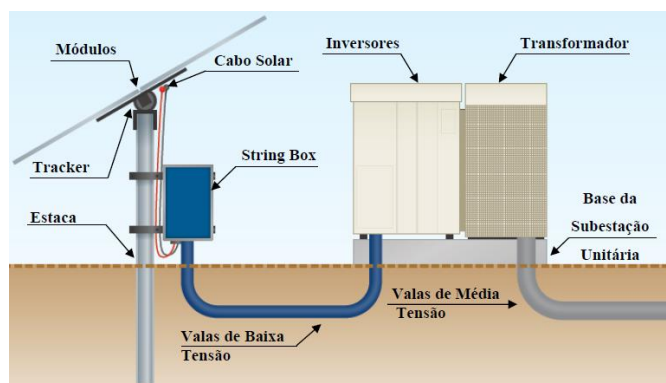


Figura 1. Principais componentes para geração de energia em usinas solares (Seta-Araxá, 2020).

A maioria dos perfis das estacas metálicas é do tipo I, C e Ômega pré-definidos pelas empresas que elaboram projetos e fornecem a estrutura de apoio dos módulos, tendo em conta a ligação da cabeça da estaca com o restante da estrutura. Em função disso, as seções transversais desses perfis são reduzidas e mobilizam desprezível magnitude da resistência de ponta em comparação a resistência mobilizada ao longo do fuste. Além disso, a carga de tração devida à ação do vento supera a carga de compressão gerada pelo peso próprio do conjunto, motivando assim a análise das capacidades de carga axial à tração e horizontal das estacas.

Em virtude da variabilidade do solo, do custo e do tempo despendidos para a realização dos ensaios e do número limitado de ensaios de arrancamento disponíveis em extensas áreas de usinas, há sempre necessidade de confrontar os resultados dos ensaios com os previstos pelos métodos de dimensionamento consagrados na literatura. Isso permite uma análise mais adequada da estabilidade geotécnica dos elementos de fundação instalados nas usinas solares.

Face ao exposto acima, o presente artigo visa analisar o dimensionamento das fundações em estacas metálicas curtas para *trackers* por meio de comparação dos resultados obtidos nos ensaios de arrancamento com os estimados pelos métodos de capacidade de carga de tração axial e horizontal consagrados na literatura.

2 Conceito Teórico

O dimensionamento geotécnico de qualquer tipo de fundação requer pelo menos a verificação de duas condições: capacidade de carga para absorver às solicitações impostas e níveis de deslocamentos compatíveis com o tipo de estrutura. Dependendo do tipo da obra, o não cumprimento de uma destas condições pode condicionar má operação da estrutura (MILITINSKI ET AL., 2015). Vários métodos empíricos, semi-empíricos e racionais foram desenvolvidos e propostos por diferentes autores ao longo do século XX para estimar capacidade de carga de elementos de fundação. Dentre esses, alguns são comumente utilizados na prática pelos projetistas de fundações de *trackers* de usinas solares no Brasil.

De modo geral, a capacidade de carga geotécnica à compressão de estacas (Q_u) corresponde a soma de duas parcelas de resistência mobilizadas na estaca: ponta (Q_p) e lateral (Q_l), como mostra a Eq. 1. A parcela de resistência de ponta é desconsiderada na análise da capacidade de carga à tração de estacas.



$$Q_u = Q_p + Q_l \quad (1)$$

A partir da Eq. 1, os métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) estimam a capacidade de carga à compressão com base em medidas indiretas de resistência do solo, obtidas em ensaios como o *Standard Penetration Test* (SPT) e *Cone Penetration Test* (CPT). As expressões propostas por esses autores são apresentadas nas Eqs. 2 e 3, respectivamente.

$$Q_u = R = Q_p + Q_l = \frac{K \cdot N_p}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum_1^n (\alpha \cdot K \cdot N_L \cdot \Delta_L) \quad (2)$$

$$Q_u = R = Q_p + Q_l = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot 10 \cdot \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \cdot U \cdot \Delta_L \quad (3)$$

onde N_p é a média dos valores de N_{SPT} ao redor da ponta da estaca, N_L é a média de N_{SPT} das camadas analisadas. Cintra e Aoki (2010) recomenda adotar valor de N_L do método de Décourt-Quaresma (1978) na faixa de 3 e 50. Na mesma linha, recomenda-se considerar valores de N_{SPT} menores ou iguais a 50.

Os coeficientes e fatores dessas expressões são tabelados e dependem do tipo de solo e do método executivo da estaca. Laprovitera (1988) propôs algumas correções nos valores dos coeficientes K e α do método de Aoki-Velloso (1975), enquanto que Laprovitera (1988) e Benegas (1993) propuseram correções nos fatores F_1 e F_2 do mesmo método.

Os métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) foram formulados para prever capacidade de carga à compressão, cujo mecanismo diverge dos observados em fundações dos *trackers* sujeitas majoritariamente aos esforços de tração devido ao baixo peso das estruturas face às ações do vento. Contudo, a parcela da resistência lateral estimada por esses métodos pode ser utilizada para fins de comparação com os valores estimados pelos métodos tradicionais de capacidade de carga à tração.

O método de Biarez e Barraud (1968), também conhecido como método de Grenoble, permite estimar diretamente a capacidade de carga à tração (P_u) como sendo a soma da resistência ao cisalhamento mobilizada ao longo da superfície de ruptura, do peso da fundação, do peso de solo solidário à estaca e da sobrecarga na superfície quando existir (Eq. 4).

$$P_u = A_l \cdot [C \cdot M_C + \gamma \cdot L(M_\phi + M_\gamma) + q \cdot M_q] + W \quad (4)$$

onde P_u é carga de tração última não majorada, A_l é a área lateral, C é a coesão, γ é o peso específico, L é o comprimento de cravação, q é a sobrecarga, W é o peso, M_C , $(M_\phi + M_\gamma)$ e M_q são coeficientes de capacidade de carga.

Com relação aos métodos de previsão da capacidade de carga lateral de estacas, o método de Broms (1964) permite analisar estacas curtas e longas submetidas à carregamento horizontal em areias, com topo livre ou totalmente restringido. Assim, a capacidade de carga lateral última (H_u) de estacas curtas de topo livre em solos não coesivos é calculada através da Eq. 5 proposta por Broms (1964).

$$H_u = \frac{0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot L^3 \cdot K_p}{e + L} \quad (5)$$

Equações 6 e 7 também propostas por Broms (1964) permitem determinar o deslocamento horizontal na superfície do solo (y_0) para estacas curtas de topos livre e restringido, respectivamente. A condição de estacas curtas é válida quando a razão L/B é menor que 4.

$$y_0 = \frac{18 \cdot H \left(1 + 1,33 \frac{e}{L} \right)}{L^2 n_h} \quad (6)$$



$$y_0 = \frac{2 \cdot H}{L^2 \cdot n_h} \quad (7)$$

onde B é a dimensão transversal da estaca, L é o comprimento cravado, e é a excentricidade, K_p é o coeficiente de empuxo passivo, H é a carga horizontal, n_h é o constante de reação horizontal do solo.

3 Materiais e Métodos

A usina solar fotovoltaica (UFV) em análise é uma usina de geração centralizada com capacidade instalada prevista entre 450 e 500 MWp de potência e ocupa uma área de aproximadamente 754 hectares na microrregião de Boquira, no estado da Bahia (SETA-ARAXÁ, 2020). Para a implantação da usina, foi prevista a cravação de 170.240 estacas, 60% destas serão do tipo cravação direta e restantes do tipo micropilote.

As investigações geotécnicas realizadas para caracterização e classificação do subsolo e determinação dos parâmetros geotécnicos de interesse consistiram em ensaios de caracterização no laboratório, 30 poços de inspeção, 85 sondagens SPT e 40 ensaios DPSH. A profundidade máxima nas SPT não ultrapassou 4 m, sendo que 18% das sondagens não chegaram a 3 m de profundidade e 40 % pararam entre 3 e 4 m de profundidade. O nível d'água inicial foi encontrado nas profundidades entre 3 e 4 m.

O solo foi classificado como areia fina e algumas variações de areias-siltosas e silto-argilosas de cor amarela a marrom, fofas a muito compactas, plásticas e não plásticas. O solo enquadra nos grupos A-2-4 e A-4 do Sistema de Classificação HRB, que indicam comportamentos similares aos pedregulhos e areias siltosa ou argilosa. Índice de plasticidade varia entre 4 e 15%, a densidade dos grãos fica entre 1,71 e 2,11 g/cm³. A expansão varia entre 0,1% e 0,7%, enquanto que o Índice de Suporte Califórnia (ISC) varia entre 5% e 19%.

Devido à extensa área da usina, os furos de sondagem SPT foram locados com espaçamentos superiores a 100 m. Em função disso, recorreu-se a tratamentos estatísticos para interpretar os resultados das sondagens de modo a mapear zonas com comportamentos similares em termos de resistência. Após a identificação e definição de três (3) zonas com valores de N_{SPT} crescentes com a profundidade, traçam-se os perfis característicos e os seus respectivos limites.

A zona 01 contempla áreas com valores de N_{SPT} menores ou iguais a 35 golpes até 3,5 m de profundidade. Os valores de N_{SPT} da zona 02 são menores ou iguais a 35 golpes até 2,5 m de profundidade, sendo que o valor máximo aceitável de 50 golpes ocorreu entre 3 e 4 m de profundidade. Por fim, a zona 03 contempla áreas onde valores de N_{SPT} são menores ou igual a 35 golpes até 1,5 m de profundidade. Esses perfis são considerados na estimativa de capacidade de carga em situações onde não existe furos de sondagens próximos ao local do ensaio POT.

Um total de cem ensaios de arrancamento (POT) foram realizados em estacas com perfis do tipo IPE – 160 (30 POT), HEA – 140 (11 POT), HEA – 160 (10 POT), e CPI 140 × 50 × 20 × 3 (29 POT). Os comprimentos de cravação das estacas inicialmente previstos eram 3,30 m, 3,15 m e 2,50 m, respectivamente. A profundidade de cravação prevista nem sempre foi alcançada no campo. Nesses casos, a estaca é cravada até atingir o impenetrável. Apenas um tipo de carregamento foi realizado em cada estaca, resultando em 84 carregamentos horizontais e 16 carregamentos axiais de tração.

Após estimativa dos parâmetros geotécnicos, foram calculados os valores das capacidades de carga à tração e lateral a partir dos métodos supracitados. O cálculo considerou os quatro perfis metálicos e os perfis característicos das 3 zonas na condição de um solo arenoso seco. Os comprimentos de cravação foram 3,3 m, 2,5m e 1,5 m para zonas 01, 02 e 03, respectivamente.

4 Resultados

A Tabela 1 apresenta os valores das variáveis e da resistência por atrito lateral estimada pelos métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), para o perfil IPE-160 de 3,30 m de comprimento cravado na zona 01. O dimensionamento considerou K igual a 600 kPa, α igual a 1,4%, F_2 igual a 3,5 no método de Aoki-Velloso (1975), e C igual a 400 kPa, α e β iguais a 1 no método de Décourt-Quaresma (1978). Os cálculos para outras configurações seguiram o mesmo procedimento. Para uniformizar a linguagem, a resistência por atrito lateral passa a ser citada a partir de agora como capacidade de carga à tração.



Tabela 1. Capacidade de carga à tração dos métodos semi-empíricos (SOARES, 2021).

Prof (m)	N _{SPT,k1}	ΔL (m)	f _s (kPa)	r _L (kN) Aoki-Velloso (1975)	r _L (kN) Décourt-Quaresma (1978)
1	8	1,0	67,2	12,42	23,72
2	14	1,0	117,6	21,74	36,66
3	22	0,8	184,8	27,33	43,13
Capacidade de Carga à Tração:				61,50	103,52

A Tabela 2 mostra os valores das variáveis e a capacidade de carga à tração estimada a partir do método de Biarez e Barraud (1968), considerando o perfil IPE-160 de 3,30 m de comprimento cravado na zona 01. Os cálculos das demais configurações seguiram o mesmo procedimento.

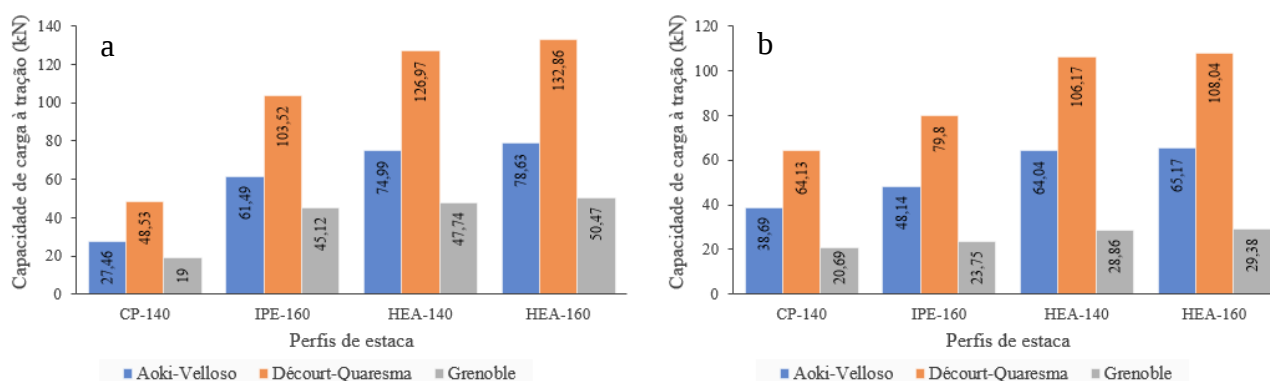
Tabela 21. Capacidade de carga à tração pelo método de Biarez e Barraud (1968) (SOARES, 2021).

Prof (m)	N _{SPT,k1}	γ (kN/m ³)	ΔL (m)	φ (°)	λ (°)	R _(est.+solo) (m)	Q _{f(φ+γ)} (kN)	Q _{fq} (kN)	W (kN)	Q _{ti} (kN)
0	0	16	0,5	21,50	-2,69	0,30	1,45	0,00	2,09	3,47
1	8	16	1,0	29,42	-3,68	0,24	6,33	4,40	2,44	12,81
2	14	17	1,0	32,67	-4,08	0,17	5,44	10,41	1,04	16,47
3	22	18	0,8	36,39	-4,55	0,10	3,88	9,89	0,10	12,37
4	36	18	0,0	42,12	-5,26	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Capacidade de carga à tração:										45,12

Para os demais perfis de estaca, as Figura 2a, 2b e 2c comparam os valores das capacidades de carga à tração estimadas com base nos métodos de Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Biarez e Barraud (1968) para as zonas 01, 02 e 03, respectivamente.

Na zona 02, os menores valores de capacidade de carga foram estimados pelo método de Biarez e Barraud (1968), sendo estes 32% menores que os estimados pelo método de Aoki-Velloso (1975) e 60% menores que os estimados pelo método de Décourt-Quaresma (1978). Entre os métodos semi-empíricos, os valores do método de Décourt-Quaresma (1978) são em média 40% maior que os do método de Aoki-Velloso (1975). Como esperado, a mesma tendência foi verificada também nas zonas 02 e 03, uma vez que os mesmos perfis foram considerados em todos os métodos.

Partindo do pressuposto que cada método empírico ou semi-empírico possui suas particularidades intrínsecas às considerações e simplificações feitas durante a sua formulação, era esperada uma certa diferença entre os valores estimados por esses 2 métodos semi-empíricos. O superdimensionamento de um método na parcela da resistência por atrito lateral pode ser compensado na parcela da resistência de ponta, reduzindo assim a diferença entre a resistência total dos dois métodos.



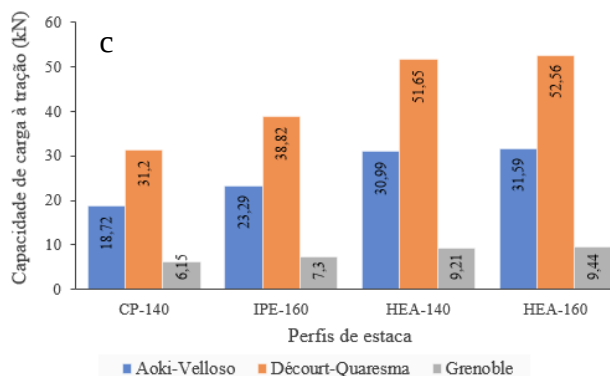


Figura 2. Capacidade de carga à tração - a) zona 01, b) zona 02 e c) zona 03 (SOARES, 2021).

Para fins de projeto, os valores admissíveis de capacidade de carga dos métodos de Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Biarez e Barraud (1968) foram calculados com base nos fatores de segurança iguais a 2, 1,3 e 2, respectivamente. A NBR 6122/2019 permite adotar, em muitos casos, fator de segurança global entre 1,6 - 2.

Por considerarem o mesmo fator de segurança, a diferença entre os valores do método de Biarez e Barraud (1968) e o do método de Aoki-Velloso (1975) seguiu a mesma tendência observada na Figura 2. Por outro lado, a diferença percentual entre os valores do método de Décourt-Quaresma (1978) e os de Biarez e Barraud (1968) aumentou para 74%. Entre os métodos semi-empíricos, a diferença foi em média de 61% entre os valores do método de Décourt-Quaresma (1978) e os do método de Aoki-Velloso (1975).

O reflexo da variação do comprimento das estacas e da resistência do solo pode ser observado após a comparação entre os resultados do mesmo método para as zonas 01, 02 e 03. Diferenças percentuais de aproximadamente 40% e 80% ocorrem no método de Biarez e Barraud (1968) quando se compara os valores da zona 02 e zona 01 e os da zona 03 e zona 01, respectivamente. A mesma tendência é observada ao se comparar os resultados dos demais métodos para diferentes zonas.

A comparação entre os valores de capacidade de carga estimada pelo método de Biarez e Barraud (1968) e a carga axial de tração medida no ensaio de arrancamento deve ser feita para a mesma condição em termos de mobilização do solo. Entretanto, a capacidade de carga estimada no método de Biarez e Barraud (1968) refere ao estado limite último, enquanto que a maioria das cargas de tração medidas no ensaio de arrancamento, consideradas as cargas de projeto, está relacionada aos deslocamentos menores que 1 mm. Nesta condição, entende-se que o nível de deformação imposta nos ensaios de arrancamento para a determinação da carga de projeto não alcançou o estado limite último - esperado em grandes deslocamentos. Por esse motivo, as cargas de projeto foram comparadas com as cargas admissíveis estimadas pelo método de Biarez e Barraud (1968), adotando o fator de segurança igual a 2 (Tabela 3).

Tabela 3. Comparação entre as cargas de tração do POT com as cargas admissíveis do Biarez e Barraud (1968) (SOARES, 2021).

Zona	Perfil	Qtd. de POT	L (m)	POT (kN) - a	- Grenoble (kN) - b	% da Carga Medida $c = b/a$
1	IPE-160	2	3,30	12,31	22,56	183
	HEA-140	1	3,15	13,05	23,87	183
	CP-140	7	1,93	10,55	9,50	90
2	IPE-160	2	2,10	16,43	11,88	72
	HEA-140	4	2,10	23,20	14,43	62
	CP-140	7	1,93	10,55	10,35	98

Os resultados apresentados na Tabela 3 indicam maiores valores nas cargas de tração do ensaio de arrancamento em comparação às cargas admissíveis estimadas pelo método de Biarez e Barraud (1968), nos perfis IPE-160 e HEA-140. Comportamento oposto pode ser observado no perfil CP-140 da zona 01 e em



todos os perfis da zona 02. A variabilidade do solo e o baixo nível de deformação do solo na carga de projeto podem ser as causas das diferenças observadas na Figura 3.

No que tange ao carregamento lateral, a Tabela 4 apresenta a carga lateral última e o deslocamento horizontal na superfície do terreno estimados com base no método de Broms (1964).

Tabela 4. Carga lateral última e deslocamento horizontal (SOARES, 2021).

Perfil	Zona	K_p	$E_p I$ (kNm ²)	ηL	e/L	P (kN)	y (mm)
IPE-160	Zona 1	3,39	1333,5	3,73	0,36	23,45	23,30
HEA-140		3,39	2580,9	3,12	0,38	31,91	35,30
CP-140		3,14	536,34	3,39	0,48	5,75	11,00
HEA-160		3,39	3651,9	2,96	0,38	33,30	35,50
IPE-160	Zona 2	3,45	1333,5	2,83	0,48	12,57	24,00
HEA-140		3,45	2580,9	2,48	0,48	19,01	36,30
CP-140		3,45	536,34	3,39	0,48	6,32	12,10
HEA-160		3,45	3651,9	2,96	0,48	18,63	35,90
IPE-160	Zona 3	3,42	1333,5	1,70	0,80	3,64	24,30
HEA-140		3,42	2580,9	1,48	0,80	5,53	36,90
CP-140		3,42	536,34	2,04	0,80	1,79	12,00
HEA-160		3,42	3651,9	1,39	0,80	5,56	37,20

Os valores das cargas e deslocamentos mostrados na Tabela 4 se referem às estacas curtas com topos livres, tendo em conta que o parâmetro η_L é menor que 4. Tanto os valores das cargas últimas como os de deslocamentos horizontais decrescem com o comprimento da estaca, seguindo a tendência esperada nos resultados do método de Broms (1964).

Por fim, a Tabela 5 compara os deslocamentos horizontais medidos e estimados. Vale lembrar que os tanto as cargas como os deslocamentos horizontais estimados pelo método de Broms (1964b) correspondem ao estado limite último, na condição passiva - k_p . Por isso, a comparação considerou-se os valores de deslocamentos para o mesmo valor de carregamento (por exemplo, carga de projeto).

Em termos gerais, os deslocamentos estimados são superiores à média dos deslocamentos medidos. Uma das razões para essa diferença é que o método de Broms (1964) estima deslocamento horizontal na superfície do terreno (y_0), enquanto que os deslocamentos foram medidos num ponto localizado a 10 cm do nível do terreno. Outra justificativa é que o método de Broms (1964) é válido para o estado limite último, condição totalmente diferente da condição correspondente à carga de projeto.

Tabela 52. Comparação dos deslocamentos horizontais medidos e estimados (SOARES, 2021).

Perfil	Zona	P (kN) real	y (mm) real	y (mm) previsão	% de diferença entre y real e previsto
IPE-160	Zona 01	7,64	11,2	11,78	5
HEA-140		11,37	8,5	15,16	44
CP-140		-	-	-	-
HEA-160		8,4	3,9	12,47	69
IPE-160	Zona 02	7,64	8,2	14,60	44
HEA-140		11,37	6,9	21,77	68
CP-140		2,02	5,2	3,81	37
HEA-160		11,37	5,9	21,77	73
IPE-160	Zona 03	7,64	10,0	51,02	80
HEA-140		11,37	8,0	75,92	89
CP-140		2,02	4,4	13,52	67
HEA-160		7,64	2,5	51,02	95



5 Conclusões

O artigo analisa o dimensionamento de fundações em estacas metálicas curtas para *trackers* por meio de comparação dos resultados dos ensaios de arrancamento (*Pull Out Test*) com os valores estimados pelos métodos de capacidade de carga consagrados na literatura. As divergências observadas entre os valores medidos nos ensaios de arrancamento e os estimados pelos métodos de previsão é um indicativo da necessidade de maiores investigações para entender as abordagens dos métodos de modo a estabelecer comparações com os mecanismos observados no ensaio de arrancamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials. (2011) ASTM D3966.07 Standard Test Methods for deep Foundation Under Lateral Load. Pennsylvania, 2011.
- American Society for Testing and Materials. (2010) ASTM D3689.07 Standard Test Methods for deep Foundation Under Static Axial Tensile Load. Pennsylvania, 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019) NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.
- Aoki, N., Velloso, D. A. (1975) "An Approximate method to estimate the bearing capacity of piles". In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, *Proceedings...* Buenos Aires.
- Biarez, J., Barraud, J. (1968) "The Use of Soil Mechanics Methods for Adapting Tower Foundations to Soil Conditions," Technical Report 22-06 CIGRE, Paris, 1968.
- Broms, B. B. (1964) "Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils", *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Civil Engineers*, v.89, No. SM3, pp 123-157. May 1964
- Consórcio Seta-Araxá. (2020) *Empresas especializadas em construção e projetos de obras de geração de energia*. Entrevista e arquivos concedidos em 01 de junho de 2020.
- Décourt, L., Quaresma Filho, A. R. (1978) "Pile load capacity from SPT values". In *6th Brazilian Congress of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Proceedings...* Rio de Janeiro, Vol. 1, pp. 45-53, 1978.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2021) *Plano decenal de expansão de energia 2030*. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030> >. Acesso em: 15 de março de 2021.
- Guarnieri, Mauricio Vivan. (2017) *Usinas solares fotovoltaicas com seguimento em um eixo no Brasil: aspectos da construção, custos e expectativa de desempenho*. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 180 p. 2017.
- Laprovitera, Hugo. (1988) *Reavaliação de método semi-empírico de previsão de capacidade de carga de estacas a partir de banco de dados*, 1988.
- Milititsky, Jarbas; Consoli, Nilo Cesar; Schnaid, Fernando. (2015) *Patologia das fundações*. Oficina de textos.
- Soares, Gabryel Gomercindo. (2021) *Análise e Dimensionamento Geotécnico de Fundações em Estacas Metálicas Curtas para Trackers em Usinas Fotovoltaicas no Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 160 p. 2021.
- Villalva, Marcelo G. (2012) *Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações*. 1ª ed. São Paulo, 2012.