



AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE À TRAÇÃO DE ESTACA RAIZ EM SOLO TROPICAL

Palavras-Chave: Estacas raiz, Provas de carga, Tração, Capacidade de carga.

Autores(as):

Lívia Vidal Fagundes Úrsulo, FECFAU – Unicamp

Prof. Dr. Paulo José Rocha de Albuquerque, FECFAU - Unicamp

INTRODUÇÃO:

Este projeto apresenta um estudo voltado a previsão da capacidade à tração de estacas raiz, por meio de três frentes de pesquisa distintas: análise de métodos empíricos, semiempíricos e teóricos presentes na literatura, os quais foram desenvolvidos exclusivamente para esforços axiais de tração, modelagem em software de elementos finitos da estaca teste a ser averiguada e, análise da prova de carga estática realizada, a fim de descrever o esforço mediante as condições aferidas em campo. As estacas do tipo raiz são elementos de fundação profunda - as quais atendem a condição de altura maior que oito vezes o diâmetro e com, no mínimo, três metros ($H > 8\phi$ e $L_{min} = 3m$) NBR 6122 (ABNT 2022) – caracterizados pela elevada tensão de trabalho a qual o fuste é capaz de suportar, aliada a versatilidade atrelada a este modelo de estaca, visto que possui acesso a locais de elevada complexidade, terrenos íngremes ou com restrição de espaço, além de fazer uso de equipamentos de pequeno porte e com baixa geração de ruído. Os solos tropicais são materiais de elevada complexidade, devido ao processo de formação geológica responsável por originá-los, em virtude disso, resultam em uma mistura de minerais, materiais orgânicos e capacidade de retenção água considerável. Dessa forma, essa tipologia de solo foi adotada para este estudo, uma vez que representa uma provável configuração mineralógica que torne o projeto e execução da fundação mais complexos, indicando o uso de estacas raiz, as quais se adaptam a condições mais adversas. Além disso, os esforços de tração também representam um adicional de complexidade, devido ao número reduzido de métodos para dimensionamento de tais esforços.

METODOLOGIA:

Este projeto consiste em um estudo de caso, no qual analisa-se a temática de modo mais aprofundado, partindo do caso concreto. Assim, poder-se-á comparar os resultados obtidos em provas de carga estáticas e cálculos por meio de métodos abordados na literatura de Mecânica dos Solos. Mediante um cronograma de seis etapas elaborado previamente, foi possível desenvolver etapas propostas, a fim de atingir os objetivos pré estabelecidos.

Prova de carga estática: a prova de carga estática em fundações profundas consiste em aplicar sucessivos estágios de carga, determinada em projeto, sob o elemento de fundação e medir o deslocamento gerado pelo carregamento. A carga aplicada pode ser de tração, compressão ou flexo compressão, podendo ser nos sentidos vertical, horizontal ou inclinado NBR 16903 (ABNT, 2020). O sistema utiliza vigas metálicas que transferem a carga para o elemento de fundação, além disso, há também um sistema de reação, composto por monobarras, cargueira ou fogueira, cada um para um respectivo tipo de carregamento (Geoprova, 2024). A montagem também conta com deflectômetros, os quais obtêm o recalque no topo da estaca, uma bomba com manômetro aferido ligada a um macaco hidráulico e fogueiras (estrutura com peças de madeira sob a qual as vigas são apoiadas) (ALBUQUERQUE E GARCIA, 2020). Após a aplicação da carga e fim dos estágios, o resultado é uma curva carga vs deslocamentos.

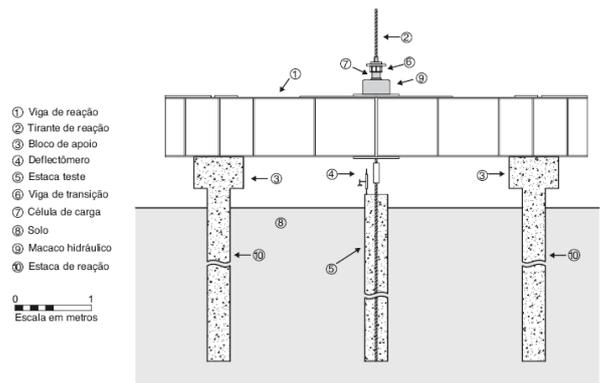


Figura 1 – Prova de carga estática a tração com tirantes.

<https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978852163697>
Z

Sondagem à percussão do terreno de estudo: o campo experimental sob o qual a estaca teste foi executada foi alvo de 21 sondagens a percussão (SPT). O perfil do solo pode ser observado na figura 2.

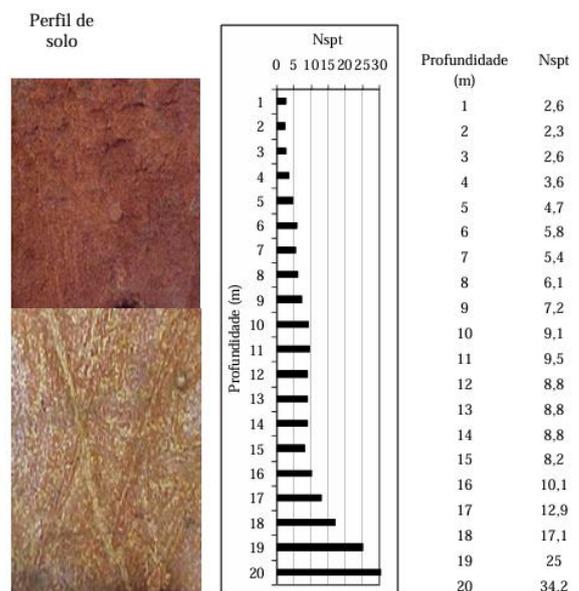


Figura 2 – Perfil de solo do campo experimental de estudo.

Fonte: Acervo do Autor

Métodos presentes na literatura da Mecânica de Solos: a análise em questão também fez uso de

métodos de cálculo utilizados para obter a resistência última à tração por meio de formulações desenvolvidas exclusivamente para esse tipo de esforço axial. Os métodos teóricos são aqueles que obtêm os esforços por meio de formulações e cálculos embasados em modelos matemáticos, já os empíricos e semiempíricos baseiam-se em evidências concretas e observações diretas, criadas para testar a validade de teorias e hipóteses advindas da experiência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir de perfil de solo mostrado acima, foram obtidas 21 sondagens. A fim de obter a capacidade de carga à tração, a partir dos dados de um perfil mais detalhado, aplicou-se as informações coletadas aos seguintes métodos: Método do cilindro de atrito (teórico), Método de Meyerhoff (teórico), Método de Aoki e Velloso (semiempírico) e Método de Decourt e Quaresma (semiempírico). A estaca teste é raiz, com 41 cm de diâmetro, seção transversal circular e 14 m de comprimento. Apesar dos últimos dois métodos citados serem indicados para estacas a compressão, eles foram incluídos neste estudo a fim de verificar a hipótese de que a resistência de uma estaca submetida a esforços de tração equivale a 70% da resistência da mesma estaca submetida a compressão. Dessa forma, de acordo com a tabela abaixo, tem-se os resultados obtidos:

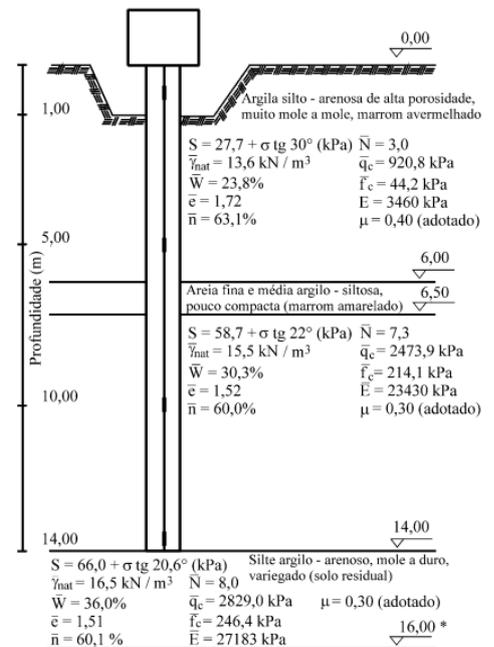


Figura 3 – Perfil de solo com dados das camadas de solo.

<https://www.fec.unicamp.br/~pira/wp-content/uploads/2020/01/03-Disserta%C3%A7%C3%A3o-de-doutorado-2001.pdf>

Tabela 1: Resultados obtidos através dos métodos calculados.

Método exclusivos para estacas tracionadas	Resistência à tração (kN)
Cilindro de Atrito	528,547
Meyerhoff	1743,644
Métodos que abordam estacas comprimidas	Resistência à tração = 0,7* resistência a compressão (kN)
Decourt e Quaresma	162,6*0,7 = 113,82
Aoki e Velloso	105,8*0,7 = 74,06

É possível observar grande variabilidade nos dados obtidos em metodologias empíricas e teóricas. A hipótese amplamente adotada a qual diz que a resistência à tração corresponde a 70% da resistência à compressão apresentou valores de resistência cerca de 10 vezes menores quando comparados a formulações teóricas desenvolvidas para esforços axiais de tração. Foi realizada uma prova de carga estática à tração em campo experimental mostrada no gráfico abaixo, através dela é possível obter uma carga média de aproximadamente 422,78 kN.



Figura 4 – Prova de carga estática à tração.

Fonte: Acervo do autor.

CONCLUSÕES:

Outrossim, após as análises mostradas acima, é possível notar que houve diferença considerável entre os valores de resistência à tração calculados por meio das duas metodologias desenvolvidas para esforços de tração – o valor de P_u obtido pelo método do Cilindro de Atrito é aproximadamente 3,29 vezes menor em comparação ao método de Meyerhoff. Isso ocorre devido a variabilidade de parâmetros e considerações feitas pelo autor de cada método, o que permite a obtenção de resultados distintos. Além disso, ao comparar os dados obtidos com os valores calculados por meio da hipótese que considera a resistência à tração como 70% do valor de compressão, nota-se que a discrepância entre os valores é ainda mais abrupta. Vale lembrar que o método a ser adotado depende do que o projetista considera mais adequado ao perfil de solo sob o qual a fundação será executada, uma vez que cada metodologia possui sua respectiva abordagem. Posteriormente, ao serem comparados aos dados de prova de carga e foi possível notar que o método do Cilindro de Atrito foi o que mais se aproximou dos dados de campo, sendo a mais adequado para este tipo de estaca e para o respectivo perfil de solo. Dessa forma, pôde-se obter uma comparação entre as frentes de análise e verificar qual se assemelha mais a realidade de campo.

BIBLIOGRAFIA

- ALBUQUERQUE, P.J.R.; GARCIA, J.R. (2020) . **Engenharia de Fundações**. . Rio de Janeiro, RJ: Grupo GEN, 2020. E-BOOK. (ISBN 9788521636977. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788521636977>. Acesso em: 06 mar. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2020). ABNT NBR 16903: **Solo - Prova de carga em fundação estática – Procedimento**. Rio de Janeiro, 11 p. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2022). **ABNT NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 108 p. 2022.

BESSA, A. O. (2005) **Avaliação da resistência lateral em estacas escavadas com trado submetidas à tração**. Engenharia Civil, p. 26-60

CARVALHO, D. – **Análise de cargas últimas à tração de estacas escavadas, instrumentadas, em campo experimental de São Carlos – SP**. Tese de Doutorado. São Carlos: EESC – USP, 1991, 204 p.

ELL, S. M. (2003) **Análise do comportamento à tração de estacas apiloadas executadas em solos arenosos do interior do Estado de São Paulo**. Engenharia Agrícola, p. 26-88

GEOPROVA. **Prova de carga estática**. Disponível em: <https://geoprova.com.br/prova-carga-estatica.html#:~:text=A%20norma%20NBR%2016.903%20%2D%20Prova,forma%20de%20apresenta%C3%A7%C3%A3o%20dos%20resultados>. Acesso em: 10 jul. 2024.

PASCHOALIN FILHO, J. A. (2008) **Estudo do comportamento à tração axial de diferentes tipos de estacas em solo de diabásio da região de Campinas/SP**. Engenharia Agrícola, p. 198-256