

PROJETO DE FUNDAÇÕES: DA INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO AO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

FOUNDATION DESIGN: FROM SUBSOIL RESEARCH TO STRUCTURAL SIZING

¹MENDES, M. P.

^{1e2}Graduação de Engenharia Civil–Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-UNIFIO/FEMM

RESUMO

O projeto de fundação é um dos principais projetos a serem realizados para a adequada e segura execução de uma edificação. Este projeto permitirá definir qual o melhor tipo de fundação a ser executada, assim como seu detalhamento. A escolha correta do tipo de fundação tem por objetivo evitar patologias e recalques do solo que não estavam previstos. Para um adequado projeto de fundações, a etapa de investigação do subsolo é primordial. Ela engloba a definição do perfil estratigráfico, posição do nível d'água, além da estimativa dos parâmetros geomecânicos mais apropriados para o projeto. No Brasil, o ensaio de campo mais utilizado na investigação do subsolo é o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*). Entretanto, com o avanço da tecnologia outras técnicas de investigação do subsolo veem sendo cada vez mais utilizadas nos projetos de fundações. Entre elas podemos citar o ensaio de Cone de Penetração (CPT) e o Dilatômetro Plano de Marchetti (DMT). Estes ensaios, de modo similar ao ensaio SPT, permitem a definição do perfil estratigráfico e estimativa de parâmetros geotécnicos. Neste projeto de pesquisa pretende-se realizar o projeto de fundações de um edifício hipotético, de apartamentos de quatro pavimentos e um subsolo. Para se realizar este projeto, ensaios SPT, CPT e DMT publicados serão utilizados considerando-os executados no local de implantação do edifício. A distribuição dos pilares e as cargas que chegam às fundações seguem as normas empregadas nos projetos de fundações executados no Brasil. Os principais objetivos dessa pesquisa são: possibilitar ao aluno se familiarizar com as técnicas de investigação do subsolo existentes; escolher a partir da investigação realizada qual a melhor solução de fundações para a edificação estudada; avaliar os recalques devidos as cargas aplicadas no terreno, considerando diferentes metodologias empregadas na prática de projetos de fundação.

Palavras-chave: Investigação do Subsolo. SPT. CPT. DMT. Projeto de Fundações.

ABSTRACT

The foundation project is one of the main projects to be carried out for the proper and safe execution of a building. This project will allow defining the best type of foundation to be executed, as well as its detailing. The correct choice of foundation type is intended to prevent unplanned soil pathologies and settlements. For proper foundation design, the underground investigation stage is paramount. It encompasses the definition of the stratigraphic profile, water level position, and the estimation of the most appropriate geomechanical parameters for the project. In Brazil, the most widely used field test in underground research is the Standard Penetration Test (SPT). However, with the advancement of technology, other underground investigation techniques are increasingly being used in foundation projects. Among them we can mention the Penetration Cone Assay (CPT) and the Marchetti Flat Dilatometer (DMT). These tests, similar to the SPT test, allow the definition of the stratigraphic profile and estimation of geotechnical parameters. This research project intends to carry out the project of foundations of a hypothetical building, of four-storey apartments and a basement. To carry out this project, published SPT, CPT and DMT tests will be used considering them performed at the building implementation site. The distribution of the pillars and the loads that reach the foundations follow the norms used in the foundations projects executed in Brazil. The main objectives of this research are: to enable the student to familiarize himself with the existing underground investigation techniques; choose from the research carried out which the best foundations solution for the studied building; evaluate the repression due to the loads applied on the ground, considering different methodologies used in the practice of foundation projects.

Keywords: Underground Investigation. SPT. CPT. DMT. Foundations Project.

INTRODUÇÃO

Engenharia de Fundações é a aplicação e a prática dos princípios básicos da Mecânica dos Solos e da Mecânica das Rochas no projeto de fundações de diversas estruturas. Essas fundações incluem os pilares e as paredes de edifícios, pilares de pontes, aterros e outros. Também envolvem a análise e o projeto de estruturas de contenção de terra, como muros de arrimo, cortinas de estaca-prancha e escavações escoradas.

O projeto de fundações de edifícios geralmente exige o conhecimento de fatores como (a) a carga que será transmitida pela superestrutura para o sistema de fundação, b) as exigências de normas de construção local, c) o comportamento tensão-deformação dos solos que irão suportar as cargas aplicadas, d) as condições geológicas-geotécnicas do solo sob consideração.

Para a realização de um projeto de fundações, as propriedades geotécnicas de um solo (distribuição granulométrica, índices de plasticidade, compressibilidade e resistência ao cisalhamento) devem ser avaliadas. O engenheiro deve ter boa compreensão dos princípios da Mecânica dos Solos, além de ter em mente que os depósitos naturais dos solos em que as fundações serão construídas não são homogêneos na maioria dos casos. No Brasil, os projetos e fundações se baseiam, em quase sua totalidade, em ensaios de campo. Entre os ensaios de campo mais empregados nos projetos de fundações podemos citar os ensaios SPT, CPT e DMT.

Dessa forma, o engenheiro deve ter um entendimento completo da geologia do local de implantação da obra, bem como das cargas que serão aplicadas nas fundações. Uma vez que, a escolha do tipo de fundação é função das características do terreno e das características da edificação a ser construída.

Neste contexto, este projeto de pesquisa tem como principal objetivo avaliar o emprego dos ensaios SPT, CPT e DMT na elaboração do projeto de fundações de um Prédio de Apartamentos de quatro pavimentos, com um subsolo. Avaliações de recalque devido as cargas aplicadas nas fundações e dimensionamento estrutural das fundações empregadas também serão realizadas. Por fim, esta pesquisa permitirá ao aluno de graduação ter um melhor entendimento do projeto de fundações, da investigação do subsolo ao dimensionamento estrutural e geotécnico das fundações.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foi efetuada uma ampla revisão da literatura, procurando atualizar os conceitos de investigação do subsolo, tendo como princípio as perspectivas da integração dos ensaios de campo no projeto de fundações. Nessa etapa da pesquisa foi atualizada a forma que vem sendo aplicada para execução e interpretação de resultados de ensaios SPT, CPT e DMT em projetos de fundações.

No local idealizado, resultados de ensaios SPT, CPT e DMT anteriormente publicados, disponíveis na literatura especializada, em especial em artigos que tratam do tema, foram utilizados com o intuito de se definir o solo a ser estudado, bem como permitir a tomada de decisões para a elaboração do projeto de fundações. Deste modo, não foi necessário a realização de nenhum ensaio adicional distintas.

Foram considerados e interpretados 10 ensaios SPT, 5 ensaios CPT e 5 ensaios DMT.

Foi adotada como exemplo a solução muito usada de prédio com um andar térreo mais três andares, ou seja, o edifício mais alto que se costuma fazer sem elevador. Possui quatro apartamentos por andar. O edifício é estruturado, ou seja, sua estrutura é composta por lajes, vigas e pilares, sendo que a alvenaria não tem responsabilidade estrutural.

Foram consideradas as cargas atuantes, sendo que, neste caso, o efeito do vento não considerado, dadas as pequenas dimensões. Estas cargas são constituídas pelas:

- a) Carga acidental;
- b) Peso próprio da estrutura (laje, forro, contra-piso e piso, paredes).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio CPTu

Foram interpretados dois ensaios CPTu realizados no campo experimental da Unesp de Bauru, que serão utilizados para o dimensionamento do edifício hipotético proposto. Este ensaio permite a definição do perfil stratigráfico, posição do nível d'água, bem como dos parâmetros mecânicos necessários ao projeto.

O ensaio CPTu consiste na cravação vertical de uma ponteira cônica, instrumentada com diversos tipos de sensores, onde as informações são adquiridas e visualizadas em tempo real, possibilitando a interpretação instantânea do ensaio realizado. A cravação depende de um sistema de reação, que pode ser um lastro ou uma ancoragem no solo. A capacidade de cravação da ponteira é função da resistência total do conjunto: sistema de reação + resistência do solo.

Segundo Lunne et al. (1997), o ensaio de piezocone são ensaios de penetração quasi-estática in situ, que possibilita a identificação do perfil estratigráfico e a avaliação dos parâmetros geotécnicos dos solos.

Os valores de q_c , em solos saturados, sofrem forte influência da poropressão (u) gerada durante o processo de cravação, deste modo, estes valores devem ser corrigidos por meio dos registros de u medida na base do cone, determinando assim a resistência real mobilizada (q_t) (CAMPANELLA; GILLESPIE; ROBERTSON, 1982; JAMIOLKOWSKI ET AL. 1985):

O coeficiente a é facilmente determinado por meio de calibração. Para solos

não saturados, considera-se q_c igual a q_t (Rocha et al. 2015).

q_t é o parâmetro básico de interpretação dos ensaios CPTu, pois fornece um parâmetro de resistência ao longo do perfil. Diversas pesquisas correlacionam os valores de q_c com a resistência ao cisalhamento e propriedades de deformabilidade do solo (WROTH, 1984; JAMIOLKOWSKI et al, 1988; LUNNE; ROBERTSON; POWELL, 1997; ROBERTSON, 2009 e 2016).

A definição do perfil estratigráfico (espessura das camadas e tipo de materiais presentes), posição do nível d'água e parâmetros foram definidos por meio dos resultados dos ensaios CPT realizados.

A proposta de classificação apresentada por Robertson et al (1990) considera a correção devida à tensão vertical total, aplicada aos resultados de q_c .

Através dos resultados dos ensaios CPT, parâmetros de projeto foram estimados por meio de correlações empíricas desenvolvidas para o ensaio CPT.

Ensaio DMT

O ensaio de Dilatômetro de Marchetti (DMT) foi desenvolvido pelo Professor Silvano Marchetti na década de 1970, com a finalidade inicial de determinação de

módulos de deformação para o dimensionamento de fundações por estacas submetidas a carregamentos horizontais (MARCHETTI, 2006). Entretanto, devido a sua fácil execução, vislumbrou-se a possibilidade de correlacionar as medidas de pressão determinadas no ensaio com os diversos parâmetros geotécnicos, incentivando a sua difusão tanto em pesquisa quanto no meio prático.

O dilatômetro consiste em uma lâmina plana de aço inoxidável de 14 mm de espessura, 95 mm de largura e 220 mm de comprimento, com uma membrana flexível de 60 mm de diâmetro posicionada na face dessa lâmina. Os demais componentes do sistema são: uma unidade de controle e cabos elétricos e pneumáticos.

A realização do ensaio DMT consiste na cravação estática ou dinâmica da lâmina do DMT em profundidade (normalmente em intervalos de 200 mm). O empuxo do terreno desloca a membrana para uma posição negativa em relação ao repouso. Após a cravação, se pressuriza o sistema, e se realiza as seguintes leituras:

Leitura A – necessária para um deslocamento horizontal de 0,05 mm ($\pm 0,02$ mm) do centro da membrana contra o solo a partir da posição e repouso, denominada *liftoff*;

Leitura B - necessária para um deslocamento horizontal de 1,10 mm ($\pm 0,03$ mm) do centro da membrana contra o solo.

Opcionalmente, uma terceira leitura (Leitura C) pode ser realizada aliviando lentamente a pressão aplicada na membrana até que a mesma retorne à posição referente à Leitura A.

A Leitura C permite avaliar a pressão neutra gerada durante o ensaio DMT. Deste modo, esta é realizada esporadicamente (a cada 1,0 ou 2,0 m) em solos arenosos (comportamento drenado) e com maior frequência em solos siltsosos e argilosos (comportamento parcialmente drenado e não drenado, respectivamente).

O princípio de funcionamento do ensaio DMT é ilustrado na Figura 2.15. A membrana trabalha como um “interruptor elétrico” (Ligado/Desligado). Durante a cravação da lâmina, o empuxo do solo empurra a membrana mantendo-a em contato com o disco sensível. Neste momento, a unidade de controle emite um sinal sonoro. Na profundidade de ensaio, inicia-se a aplicação de pressão, e o deslocamento da membrana até o momento que o sinal sonoro é desligado, configurando a Leitura A. Após a determinação da Leitura A, continua-se a

pressurizar o sistema, até a membrana expandir 1,10 mm. Neste momento, o sinal sonoro 8 desaparece e se determina a Leitura B. Em casos especiais, a Leitura C é medida, onde esta é determinada pela liberação lenta de gás do sistema até a membrana voltar à posição de repouso

A interpretação do ensaio DMT inicia-se com o cálculo dos três índices intermediários (ID, KD e ED). A partir deles, várias correlações empíricas para determinação de propriedades de comportamento do solo foram desenvolvidas.

Marchetti (1980) propôs um conjunto de correlações empíricas para a estimativa de propriedades geotécnicas. Estas relações são baseadas nos índices intermediários (ID, KD e ED) e nas principais propriedades de comportamento do solo.

CONCLUSÃO

O projeto proposto contemplou:

- Definição do perfil estratigráfico do terreno por meio dos ensaios CPT e DMT;

- Definição do comportamento arenoso do solo estudado. Essa definição permitiu a escolha das metodologias empregadas para o cálculo dos parâmetros necessários para a estimativa da capacidade de carga e dos recalques;

- Estimativa de parâmetros de projeto, como o ângulo de atrito e o módulo confinado.

REFERÊNCIAS

ALONSO, Urbano R. **Dimensionamento de fundações profundas**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122:2010 – **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8036:1983 – **Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**, ABNT, 1983.

BOTELHO, M. H. C; CARVALHO, L. F. M. **4 Edifícios X 5 Locais de Implantação = 20 Soluções de Fundações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

CINTRA, J. C. A.; ALBIERO, J. H.; AOKI, N. **Tensão admissível em fundações diretas**. São Paulo: Rima, 2003.

CONSOLI, Nilo Cesar; MILITITSKY, Jarbas. **Patologia das fundações**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FERNANDES, J. B. ; SAAB, A. L. ; ROCHA, Breno Padovezi ; RODRIGUES, R. A. ; GIACHETI, Heraldo Luiz . Resistência de um Perfil de Solo Tropical Não Saturado. In: COBRAMSEG, 2016, Belo Horizonte. **COBRAMSEG** 2016, 2016. v. 1. p. 1-6.

geomaterial. Keynote Lecture. In: Geotechnical e Geophysical Site Characterization. Proc. Mill Press, Rotterdam: Ed. A. Viana da Fonseca e P.W. Mayne. v. 1, pp. 49–74.

GEOTECHNICAL CONFERENCE DEC. 2014, Kakinada, India ASCE, Vol. 106, pp. 299-321.

GIACHETI, H. L.; Ferreira, C. V.; Carvalho, D. (1999). In-situ testing methods for characterization of Brazilian tropical soils, **Proc. XI PCSMGE**, Brazil, V. 1, p. 307-314.

GUERRIN, R. C. L. **Tratado de concreto armado**. V.2: as fundações. São Paulo: Hemus, 2002.

MARCHETTI S. (2014). The seismic dilatometer for in situ soil investigations. Proc. Indian

MARCHETTI, S. & CRAPPS, D.K. 1981. **Flat Dilatometer Manual. Internal Report** of G.P.E. Inc.

MARCHETTI, S. (1980). In Situ Tests by Flat Dilatometer. Journal Geotechnical Engineering,

MARCHETTI, S. 1980. In Situ Tests by Flat Dilatometer, **Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE**, V-106, nº GT3, pp. 299-321.

MARCHETTI, S.; CRAPPS, D.K. (1981). "Flat Dilatometer Manual". Internal Report of G.P.E. Inc

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. São Paulo: Zigurate, 2008.

ROCHA, B. P. (2013). **Emprego do Ensaio SPT Sísmico na Investigação de Solos Tropicais**. 116 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ROCHA, Breno Padovezi; SANTOS, R. A. ; BEZERRA, R. C. ; RODRIGUES, R. A. GIACHETI, Heraldo Luiz . Characterization of unsaturated tropical soil site by in situ tests. In: 5th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterisation, 2016, Gold Coast. **Anais...** do 5th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterisation, 2016. v. 2. p. 1129-1136.

ROCHA, Breno Padovezi; GIACHETI, Heraldo Luiz . Ensaio DMT na caracterização e estimativa do recalque de fundações superficiais em um perfil de solo tropical arenoso. In: COBRAMSEG, 2016, Belo Horizonte. **COBRAMSEG** 2016, 2016. v. 1. p. 1-8.

SCHNAID, F.; FAHEY, M.; LEHANE, B. (2004). **In situ test characterization of unusual**

SCHNAID, Fernando. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.