Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni - Junho de 2018

A IMPORTÂNCIA DA SONDAGEM SPT NO DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES

[*] Ezio Carlos do Nascimento Miranda, [**] Hamilton Costa Junior, Acly Ney Santiago***, Pedro Emílio Amador Salomão****

Resumo

Propõe-se neste trabalho, analisar o quanto é importante que se conheça o subsolo antes de se edificar uma obra, apresentando o método de sondagem SPT (Standard Penetration Test). Antes que se escolha a fundação de uma obra, deve-se constatar se a mesma irá satisfazer técnica e economicamente. Define-se o tipo de fundação a se adotar de acordo com as características geotécnicas do local, tipo de obra e cargas que a mesma irá demandar. A elaboração de projetos geotécnicos em geral assim como os de fundações, exige, particularmente, o conhecimento adequado dos solos. Identificando e classificando as diversas camadas que compõe o substrato a ser analisado, assim como as suas propriedades. A sondagem a percussão, também chamada de sondagem “SPT” é um processo muito comum para se obter o conhecimento do subsolo, através do qual, são obtidas informações indispensáveis. Foram calculadas sapatas de um edifício residencial de dois pavimentos, fictício, em três terrenos, de subsolo com características distintas. O estudo comparativo constatou a diferença quantitativa entre a execução das fundações, demostrando assim a importância da investigação do subsolo.

Palavras - chave: Sondagem. Fundação. Subsolo. SPT.

Abstract

We evaluated how important the Standard Penetration Test (SPT) is to analyze an underground soil prior to building up a structure. Before choosing a construction foundation, one must be sure it will be technically and economically adequate. The type of foundation one adopts is defined according to the geotechnical features of the site, the type of construction and the loads requirements. Elaboration of general geotechnical projects and foundation projects particularly demands the appropriate knowledge of the soil, including the identification and classification of all different substrate layers and their properties. SPT is a very common process to obtain indispensable information on soil properties. We calculated the low shoes of a fictional two-floor residential building in three different grounds with distinct

[*]Engenheiro Civil. E-mail: ezio.carlos@hotmail.com
[**] Engenheiro Civil, MBA em Gerenciamento de Projetos, Professor do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: hamilton.engenharia@gmail.com
[***] Engenheiro Civil, Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: aclyney@gmail.com
[****] ,Químico, Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: pedroemilioamador@yahoo.com.br

properties. The comparative study showed the quantitative difference among the construction sites, therefore demonstrating the relevance of the underground soil investigation.

Keywords: Survey. Foundation. Underground soil. SPT

1 Introdução

As fundações são elementos estruturais responsáveis por transmitir o carregamento da superestrutura para o solo, de forma a garantir a eficiência quanto aos recalques ocorrentes e a estabilidade da estrutura quanto à ruptura do terreno. O projeto de fundações é de suma importância para qualquer tipo de construção civil, afinal, é sobre a fundação que se descarrega todo o peso da obra (HACHICH et al, 1998).

A sondagem a percussão, também chamada de sondagem “SPT” (Standard Penetration Test) é um processo muito comum para se obter o conhecimento do subsolo, através do qual, são obtidas informações indispensáveis para escolher o tipo de fundação, como os perfis dos solos, o nível do lençol freático quando existente, a resistência à penetração, entre outros.

O ensaio SPT é utilizado em prol da segurança e também em busca de melhores opções econômicas, visto que, se conhecendo o solo, pode-se calcular a fundação de modo a evitar superdimensionamentos e consequentemente, gastos excessivos. Uma obra executada sem o conhecimento prévio do solo pode ocasionar a escolha de uma fundação, que em muitas vezes acaba não sendo a mais apropriada para o terreno em questão, o que gera onerações e problemas técnicos tanto durante a execução da obra, quanto no decorrer de sua vida útil.

No Brasil, o custo médio de execução de uma sondagem varia entre 0,2% a 0,5% do custo total da obra, sendo que as informações obtidas através do mesmo são de fundamental importância para que o projeto possa ao mesmo tempo unir eficiência e economia. O seu baixo custo faz com que o SPT seja o método de investigação do subsolo mais usado em todo o mundo, sendo a base inicial da investigação geotécnica.

O objetivo do trabalho consiste em analisar os resultados obtidos através de ensaios SPT de dois solos distintos e compara-los a um terceiro terreno, ao qual não

se conhece o subsolo, através do dimensionamento de um mesmo elemento de fundação de um projeto fictício nas três situações apresentadas, comparando seus resultados, e, por fim, expor as vantagens da opção pela análise dos solos antes de se construir através dos benefícios econômicos que o mesmo tende a proporcionar.

A análise dos fundamentos que orientam a Sondagem SPT foi feita por meio de pesquisas bibliográficas e documentais, combinado com análise de exemplos práticos presentes no município de Teófilo Otoni, buscando expor a necessidade de se conhecer a base a qual será edificada determinada obra, indiferente de sua finalidade.

2 Investigações Geotécnicas

Para a obtenção de características dos perfis de solo de uma determinada região, assim como o seu subsolo, é de grande importância que se realizem investigações geotécnicas, de modo a buscar sempre uma relação satisfatória de custo x benefício.

A elaboração de projetos geotécnicos em geral assim como os de fundações, exige, particularmente, o conhecimento adequado dos solos. Identificando e classificando as diversas camadas que compõe o substrato a ser analisado, assim como as suas propriedades.

A NBR 6122 (ABNT, 2010), determina a realização de ensaios de campo como exigência, buscando identificar as condições reais do subsolo, de forma a nortear o desenvolvimento do projeto de fundações de modo adequado. A norma caracteriza o programa de investigação preliminar para qualquer edificação como sendo baseado, no mínimo, no ensaio de sondagem a percussão (SPT), visando determinar a estratigrafia e classificação dos solos ocorrentes, a posição do nível d'água e a resistência à classificação NSPT. A obtenção de amostras para a identificação e classificação exige a execução de ensaios "in situ".

2.1 Sondagem de simples reconhecimento a percussão – SPT

Para Hachich et al (1998), entre os ensaios de campo existentes em todo mundo, o SPT (Standard Penetration Test) é de longe o mais executado, inclusive

no brasil. A sondagem a percussão é um procedimento geotécnico aplicado no campo (FIG.4), utilizado para conhecer o subsolo. Mede a resistência do solo ao longo de sua profundidade, quando associada ao ensaio de penetração dinâmica. Através desta sondagem, são obtidas informações importantes, como:

- O perfil do solo atravessado através de uma amostra obtida a cada metro avançado.
- A resistência (N), que o solo oferece a cravação do amostrador padrão, por metro perfurado.
- A detecção e a posição dos níveis d'água, quando existentes.

FIGURA 4 – Execução da sondagem SPT



Fonte: www.apl.eng.br

2.2 Metodologia do ensaio SPT

O ensaio SPT tem por finalidade, retirar amostras do subsolo e expor suas características, como o tipo de solo constituinte e sua resistência a penetração.

Segundo Hachich et al (1998), o processo deve seguir determinados critérios, devendo ser tomadas precauções, como a determinação da cota de nivelamento, atenção ao nível d'água, caso obtenha-se lençol freático, retirada e destinação adequada das amostras dos solos. Marcados os pontos em planta, devem os mesmos ser locados e nivelados no terreno. O nivelamento deve ser feito

em relação a um RN (nível de referência) determinado, único para toda a obra preferencialmente e fora do local desta, como uma guia de passeio, a tampa de um poço de visita de serviços públicos (energia elétrica, água, esgoto, telefone, etc.), por exemplo. O ideal é obter-se a altitude do RN em relação ao nível do mar, porém isto nem sempre é possível.

De acordo com a NBR 8036 (1983), a quantidade de furos e a sua disposição e locação dependerá das características da edificação. O número de perfurações deve ser suficiente para fornecer informações, o melhor possível, da variação das camadas do subsolo do local a ser estudado. Em um terreno de até 1200m² de área, são necessários no mínimo, um furo para cada 200m² de projeção da edificação em planta no mesmo. Em terrenos que excedam 1200m², e tenham até 2400m², será necessária uma sondagem para cada 400m² de projeção. Em terrenos com área superior a 2400m², o número de furos executados terá definição de acordo com as necessidades e especificações de cada obra. De todo modo, a quantidade mínima de sondagens deverá ser:

- 02 furos para edificações com projeção em planta de até 200m²;
- 03 furos para edificações com projeção em planta de área entre 200m² e 400m².

Quando o número de sondagens for superior a três, elas não devem ser distribuídas ao longo de um mesmo alinhamento.

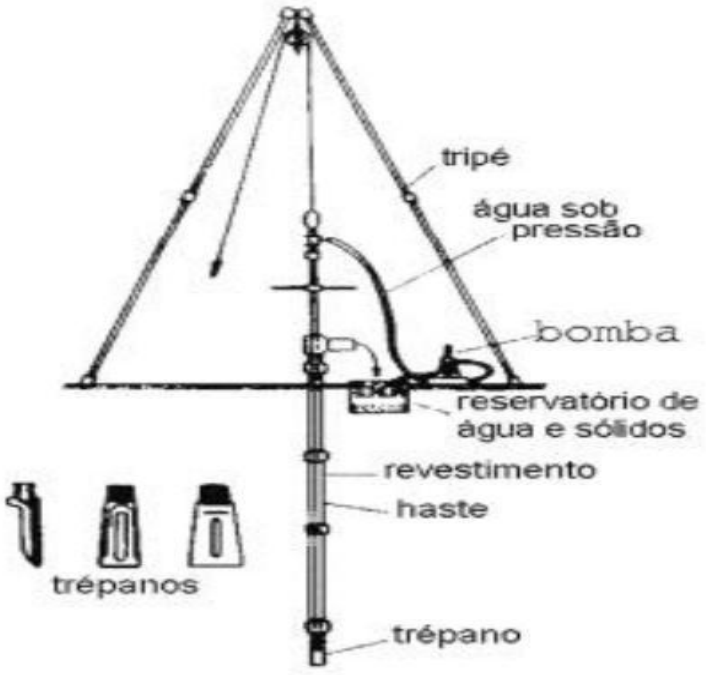
2.2.1 Tradagem e lavagem do solo

Para que se inicie a sondagem, emprega-se uma cavadeira manual ou um trado-concha, até que se perfure 1 metro no solo. Posteriormente, utiliza-se um trado helicoidal até que se atinja o nível de lençol freático, intercalando com as retiradas das amostras. A partir do momento em que o avanço com o trado passa a ser inferior a 5 cm em 10 min, ou em casos de solos muito aderentes, é necessário a substituição pelo método de lavagem, também conhecido como perfuração por circulação de água (YAZIGI,1997).

O sistema de lavagem é feito com o emprego de um trépano, ferramenta utilizada na escavação por movimentos rotatórios, já a remoção do material é feita com a circulação de água, injetada ao furo através de uma bomba acoplada a um

motor. A estrutura do solo é rompida devido aos movimentos tanto de rotação, quanto de percussão, juntamente com a pressão que a água exerce junto ao trépano. A água, juntamente com o solo removido retorna então a superfície, sendo direcionado à caixa d'água, onde as partículas de solo irão para a parte inferior, através do processo de decantação, posteriormente a água será injetada novamente ao furo. Forma-se um circuito fechado de circulação de água com este processo, processo ilustrado na FIG. 5 (HACHICH et al, 1998).

FIGURA 5 – Sistema de lavagem do solo



Fonte: Figueiredo (2013)

É obrigatório o uso de tubos de revestimento em situações ao qual o solo esteja instável, fazendo com que as paredes do furo não se mantenham naturalmente. Todas as mudanças de camadas de solo identificadas através de exame tátil-visual deverão ser registradas.

2.2.2 Obtenção do NSPT – Ensaio a percussão

A Sondagem SPT consiste na cravação do amostrador no solo através golpes de um martelo, cujo o peso é de 65kg, solto em queda livre a uma altura de

75 cm. Conta-se a quantidade de golpes precisos para que se crave cada 15 cm na determinada camada e registra-se as características do solo presente no amostrador.

Segundo Yazigi (1997), para que se execute o ensaio à percussão, o amostrador juntamente com o conjunto de hastes, deverá descer de forma livre e suave até que se apoie no fundo da perfuração, conferindo então, a sua profundidade. O seguinte passo consiste em apoiar o martelo sobre a cabeça de bater suavemente, observando se haverá alguma eventual penetração no solo, e anotando caso ocorra. Marca-se com giz no corpo da haste, três seguimentos de 15cm, totalizando 45cm. O martelo deverá ser erguido, tomando precauções para que os eixos tanto do martelo, quanto das hastes estejam alinhados rigorosamente, evitando que ocorra perda de energia durante a cravação (FIG.6).

A norma NBR 6484 (ABNT, 2001) rege que o ensaio se compreende na penetração do amostrador no solo, através de sucessivas quedas do martelo, até que se penetre os 45 cm, anotando separadamente a quantidade de golpes necessários em cada trecho de 15 cm.

A sondagem será interrompida antes que se atinja 45 cm de cravação sempre que aconteça uma das condições:

- A quantidade de golpes ultrapasse 50, em algum dos seguimentos de 15 cm;
- 50 golpes sejam aplicados durante toda a cravação; e
- Não ocorra penetração após a sequência de 5 golpes.

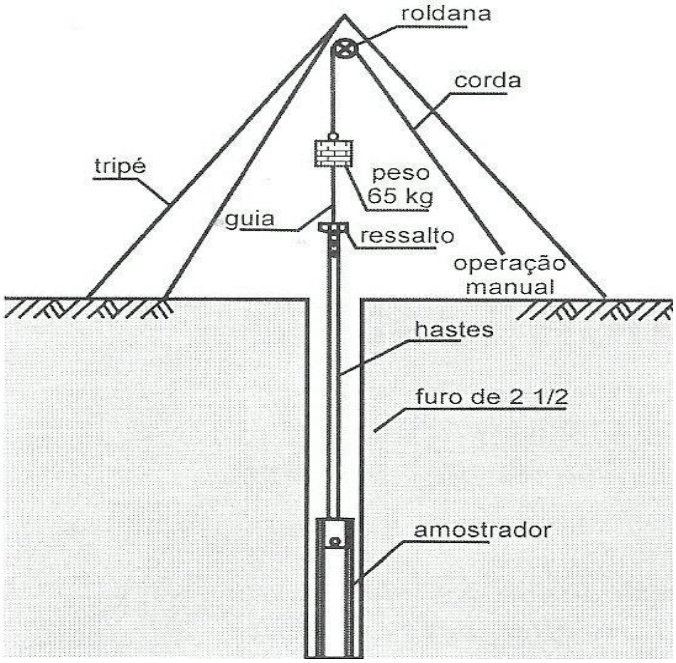
Caso não aconteça penetração dentro da precisão da medida na quantidade de 5 impactos do martelo, o ensaio será interrompido, não havendo mais a necessidade de seguir o critério estabelecido. Porém, se está situação ocorrer em até 8m, a sondagem deverá ser deslocada, no máximo quatro vezes, em posições opostas com 2m de distância do furo inicial. A perfuração por lavagem, juntamente com o processo de penetração à percussão, seguirá até onde se obtenha uma das seguintes condições de paralização:

- Quando, em 3 m consecutivos, tenham sido necessários mais que 30 golpes para 15 cm de penetração (30/15) do amostrador;

- Quando, em 4 m consecutivos, tenham sido necessários mais que 50 golpes para 30 cm de penetração (50/30) do amostrador;
- Quando, em 5 m consecutivos, tenham sido necessários mais que 50 golpes para 45 cm de penetração (50/45) do amostrador.

De acordo com as características da obra a ser executada, as cargas que a mesma irá gerar e tipo de solo, pode ser admitido a interrupção da sondagem em solos menos resistentes que o descrito anteriormente, a partir do momento que se tenha uma justificativa geotécnica ou o cliente solicite previamente. Sempre que a sondagem sofrer paralizações, é obrigatório que se faça a medida do nível d'água antes que se reiniciem os trabalhos. Após o fim da sondagem, o furo deverá ser esgotado, sendo medido o nível de água presente decorridas 24 horas. Toda detecção e alteração dos níveis de água deverão ser devidamente anotadas e constarem no relatório (NBR 6484, 2001).

FIGURA 6 – Cravação do amostrador



Fonte: docplayer.com.br

2.2.3 Destinação das amostras

As amostras do solo deverão ser coletadas durante o processo de sondagem. No primeiro metro, deve se coletar parte do material retirado pelo trado, sendo que a primeira amostra a ser recolhida terá a identificação de amostra zero. Os próximos metros posteriores ao primeiro serão retiradas amostras com o amostrador, ilustrado na FIG.7. Todas as coletas deverão ser acondicionadas em recipientes de vidro ou plástico com tampas, ou sacos plásticos, imediatamente após serem retiradas. Os recipientes que irão conter as amostras deverão ser etiquetados, contendo informações como: número de ordem do trabalho, endereço da obra, ordem da amostra, profundidade da amostra, quantidade de golpes para penetração, entre outras. As amostras devem ser mantidas no laboratório, a disposição do contratante durante 30 dias, contados a partir da entrega do relatório, estando sempre protegidas do sol, chuva ou qualquer reagente (YAZIGI, 1997).

FIGURA 7 – Retirada de amostras do solo



Fonte: www.gid-engenharia.com /sondagem (2001)

De acordo com Hachich et al (1998), para que seja feita uma classificação mais apurada, as coletas de solo, feitas a cada metro, deverão ser encaminhadas ao laboratório, onde se classificarão de modos além do tátil-visual. Sendo especificadas as camadas sedimentares do solo, seus perfis, horizontes de decomposição e espessuras. Em situações em que os materiais possuam limites granulométricos mais próximos (silte argiloso ou argila siltosa), ensaios como o de granulometria,

limites de Atterberg, entre outros podem auxiliar na discriminação dos respectivos solos. São procedimentos recomendáveis, apesar de pouco usual.

Após a classificação dos perfis de solo obtidos, feito a sua classificação tátil-visual, determinada a cota de elevação em que se encontra o terreno, identificado o nível d'água caso existente, será feito o desenho, com as devidas convenções, as seções dos subsolos presentes em cada sondagem. Devendo apresentar todos os horizontes de solo e o número de golpes (NSPT) aplicados para a cravação dos últimos 30 cm do amostrador ao solo, além das demais informações pertinentes que vierem a ser observadas. A empresa que realiza os ensaios fornece um relatório (ANEXO I e II) juntamente com um desenho esquemático dos furos (YAZIGI, 1997).

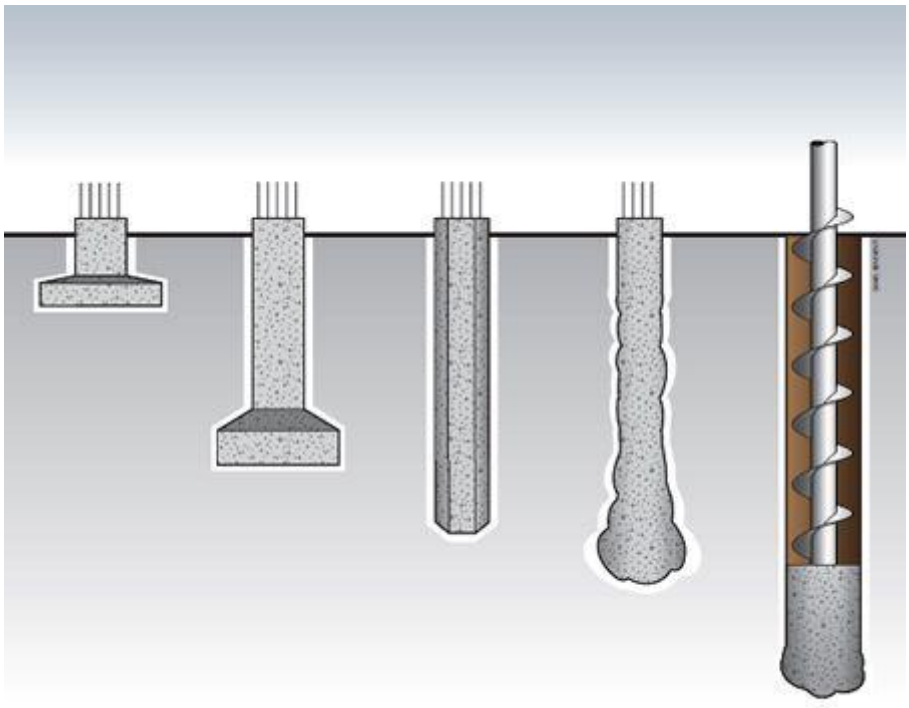
Através deste, o projetista irá interpretar os resultados para a escolha da fundação ideal, analisando os perfis do subsolo em questão. Os perfis individuais ou seções do subsolo devem representar para o profissional que vai utilizá-lo, o que representa uma radiografia para um ortopedista. (HACHICH et al, 1998).

3 A importância das fundações

Para Alonso (2007), antes que se escolha a fundação de uma obra, deve-se constatar se a mesma irá satisfazer técnica e economicamente. Devendo levar em consideração as seguintes situações:

- Estado e conservação de edifícios vizinhos, assim como as suas fundações;
- Características e natureza do subsolo no terreno onde será edificado;
- Conhecimento do que o mercado local oferece quanto aos tipos de fundação.

FIGURA 8 – Tipos de fundações



Fonte: Corsini (2013).

Segundo Alonso (2003), durante o projeto, define-se o tipo de fundação a se adotar (FIG.8), de acordo com as características geotécnicas local, tipo de obra e cargas que a mesma irá demandar. É neste momento que são definidos os métodos construtivos, estima-se prazos e demais previsões que auxiliarão durante a execução da obra. O modo ao qual a fundação será executada deve ser prevista de forma criteriosa durante o projeto, considerando a disponibilidade dos materiais e ferramentas, assim como a segurança de toda a vizinhança. Durante a execução, sempre deve haver um intenso envolvimento entres a equipes de projetos com a de execução, onde as mesmas devem seguir os processos executivos preestabelecidos durante o projeto.

Assim como qualquer outro elemento estrutural, as fundações deverão ser projetadas e executadas de forma a garantir as mínimas condições de:

- Segurança - atender aos coeficientes contra a ruptura, estabelecidos pelas normas tanto de às resistências estruturais quanto às do solo que recebem as cargas;

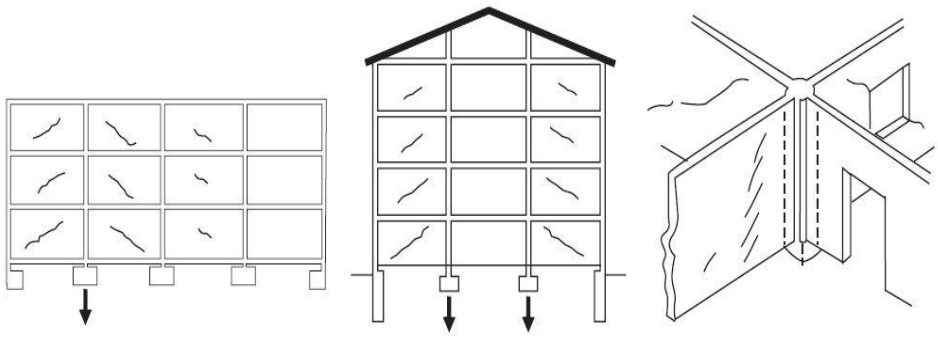
- Funcionalidade – garantir deslocamentos compatíveis de acordo com a finalidade da estrutura, de forma a proporcionar a melhor interação solo-estrutura; e
- Durabilidade – apresentar vida útil assim como os demais elementos estruturais, sendo necessário um estudo aprofundado quanto aos perfis do subsolo, suas resistências e variações.

3.1 Patologias decorrentes

A falta de conhecimento do subsolo é grande causadora dos problemas nas fundações, consequentemente, em toda a edificação (FIG.9). A falta da investigação do subsolo é responsável por cerca de 80% dos maus desempenhos das fundações em obras de pequeno e médio porte, sua ausência ocasiona na escolha de uma solução equivocada, causando problemas típicos recorrentes, como:

- Rupturas ou recalques inadmissíveis do solo devido a elevadas tensões de contato, desconcordantes com as características reais do solo;
- Deformações por recalques decorrentes da execução da fundação em locais de aterro heterogêneos;
- Recalques por execução de fundações em solos compressíveis sem prévio estudo;
- Ruptura ou grande deslocamento devido ao apoio da fundação sobre solos moles, dispensando as análises de recalques (MILITITSKY, 2005).

FIGURA 9 - Fissuras causadas pelo recalque da fundação



Fonte: MILITITSKY (2005) 24p.

Conforme Milititsky (2005), o recalque de uma edificação acontece quando o contato existente entre o solo e a fundação se rompe, fazendo com que a estrutura afunde mais que o previsto em projeto. Toda fundação sofre recalque, mas seu limite deve ser calculado e analisado antes que se construa, visto que poderá comprometer o desempenho e a segurança de toda a estrutura (FIG.10). As patologias decorrentes dos recalques são divididas em três grupos:

- Danos estéticos e visuais – não representam riscos à obra;
- Danos funcionais – afetando a funcionalidade da edificação; e
- Danos estruturais – colocam a estrutura em risco, assim como a segurança de seus usuários.

FIGURA 10 – Torre de Pisa, na Itália



Fonte: pinterest.com

3.2 Fundações superficiais

As fundações superficiais, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) são responsáveis por transmitir as cargas ao solo, principalmente pelas tensões sob a base da fundação, devendo estar a uma profundidade de, no máximo duas vezes a dimensão do seu menor lado.

Na maioria dos casos, são mais baratas que as demais fundações, além de possuir maior simplicidade de execução. Devem ser empregados a uma

profundidade de até 2,0 metros, e desde que o SPT apresente no mínimo 7 golpes nas camadas iniciais.

3.2.1 Sapatas

Segundo Porto (2015), sapatas são elementos estruturais, que trabalham à flexão, constituídos de concreto armado, de baixa altura, se comparado às dimensões de sua base, que podem possuir formato quadrado, retangular ou trapezoidal, podendo ser:

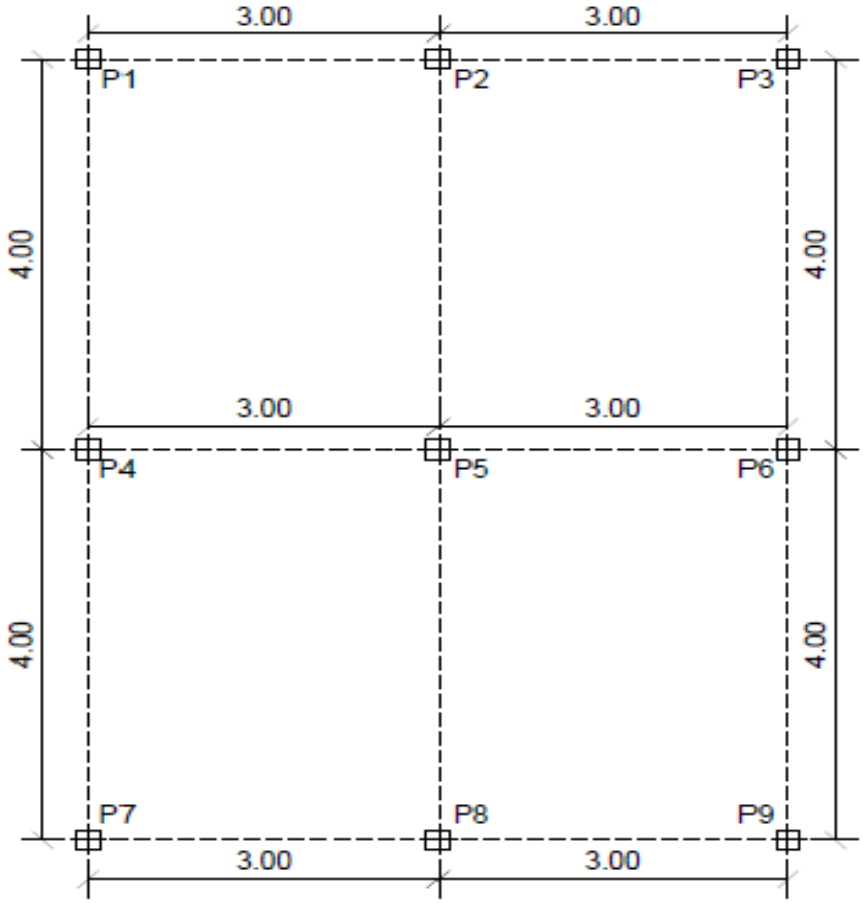
- Isoladas – as tensões de tração são resistidas pelo aço e não pelo concreto, as cargas transmitidas ao solo são concentradas, ou pontuais;
- Associadas – uma única sapata é comum a mais de um pilar com centros gravitacionais desalinhados;
- Corridas - quando as cargas absorvidas estão em uma mesma extensão linear.

4 Estudo comparativo

Será dimensionada uma sapata isolada, responsável por transmitir as cargas provenientes do “pilar 5” ao solo, do seguinte projeto (FIG. 9), que representa de uma edificação residencial fictícia, de 2 pavimentos tipo.

Será proposto um estudo comparativo de cálculo de um mesmo pilar, disposto em 3 situações, sendo: dois terrenos com subsolo conhecido graças ao ensaio SPT (ANEXO I e II) e um terceiro terreno de subsolo desconhecido, tendo a tensão admissível do solo estimada, considerando um subsolo fraco, visando a segurança da estrutura, para o dimensionamento.

FIGURA 9 – Projeto residencial tipo - 2 pavimentos



Fonte: Autoria Própria (2016)

O “pilar 5” possui dimensões de 20 x 20 cm, com uma carga normal de trabalho estimada de 15.000 Kgf e possui barras longitudinais com diâmetro de 12,5 mm.

4.1 Critérios de cálculo

O método de cálculo utilizado será o de cálculo de sapata rígida, com utilização do parâmetro k, sendo o seguinte roteiro de dimensionamento:

- Cálculo da tensão admissível do solo:

$$\sigma_{SOLO} = \frac{N_{SPT}}{5}$$

Em que:

N_{SPT} = quantidade de golpes em determinada cota de profundidade, apresentado em relatório de sondagem.

- Cálculo da área da base da sapata

$$A = \frac{P}{\sigma_{solo}}$$

Em que:

P = carga normal, proveniente do pilar.

σ_{Solo} = tensão admissível do solo;

- Cálculo da dimensão do lado da base da sapata quadrada

$$a = \sqrt{A}$$

Em que:

A = área da base da sapata.

- Cálculo da altura da sapata

$$h = \frac{a - a_0}{3} \geq lb + c$$

Em que:

a = lado da base da sapata,

a_0 = lado da base do pilar;

lb = comprimento de ancoragem em função do diâmetro da bitola do aço do pilar;

c = cobrimento nominal do aço.

- Cálculo da carga distribuída por metro quadrado na sapata

$$q = \frac{P}{A}$$

Em que:

P = carga normal do pilar atuante na fundação;

A = *área* da base da sapata.

- Cálculo do momento máximo

$$Mmax = \frac{ql \cdot l^2}{2}$$

Em que:

ql = carga distribuída linear na sapata;

l = metade do lado da base da sapata.

- Cálculo do parâmetro “k”

$$k = \frac{Md}{fc \cdot bw \cdot d^2}$$

Em que:

Md = Mmáx x 1,4 (coeficiente de segurança);

fc = resistência final do cálculo dos concretos;

bw = lado da base da sapata;

d = h – d'.

- Cálculo da área de aço da sapata, quando k ≤ kl → *k'* = *k*

$$As = \frac{fc \cdot bw \cdot d}{fyd} \ [1 - \sqrt{(1 - 2k')}]$$

Em que:

fc = resistência final do cálculo do concreto;

bw = lado da base da sapata;

d = h – d';

fyd = resistência de cálculo do aço CA-50;

- Cálculo da área mínima de aço

$$As\ min = \rho \min \cdot bw \cdot d^2$$

Em que:

ρmin = taxa mínima de armadura de flexão

bw = lado da base da sapata;

d = h – d'

- Cálculo do comprimento das barras

$$C = a - 2 \cdot Cnon + 2 \cdot dobra$$

Onde:

a = lado da base da sapata;

Cnom = cobrimento nominal;

Dobra para ϕ 10 mm = 25 cm (PORTO, 2016)

- Cálculo do volume de concreto

$$V_s = \frac{(H - h0)}{3} * (A * B + a * b + \sqrt{A * B * a * b}) + (A * B * h0)$$

Em que:

H = altura da sapata

h0 = altura da base da sapata

A = comprimento da sapata

B = largura da sapata

a = comprimento do pilar

b = largura do pilar

4.2 Primeiro caso

Dimensionamento da sapata do "pilar 5", conforme os dados apresentados no relatório de sondagem I (anexo I).

- SP2 - 1m de profundidade: NSPT = 19 golpes.

A Tensão admissível do solo obtida a partir dos dados foi de 3,8 kgf/cm².

O pré-dimensionamento geométrico da área da base da sapata foi de 3947,36 cm², sendo a sapata quadrada de lado 62,82 cm.

Considerando o bulbo de tensão abaixo da sapata, considerando o NSPT médio referente a uma profundidade de 2,5 vezes o lado da sapata abaixo da cota de assentamento, teremos um NSPT médio.

Como o valor do médio do bulbo é maior que o valor de NSPT na cota 1,0 m, obteve-se a tensão admissível do solo de 5,3 kgf/cm², resultando em uma sapata de área de 2.830,18cm², com lado de 53,2cm.

Segundo a NBR 6122 (2010), a dimensão mínima de uma sapata não sede ser inferior a 60 cm. Adota-se então lado de 60 cm.

A altura calculada para atender os critérios de sapata rígida e ancoragem da armadura do pilar será de 45,0 cm.

A área de aço obtida foi de 0,9 cm², estando abaixo da área de aço mínima encontrada, de 4,05 cm².

Portanto, a área de aço da sapata será de 4,05cm², que adotando-se barras com bitola de 10 mm, a quantidade de barras será de 6 barras em cada direção, com um comprimento calculado de 101 cm cada.

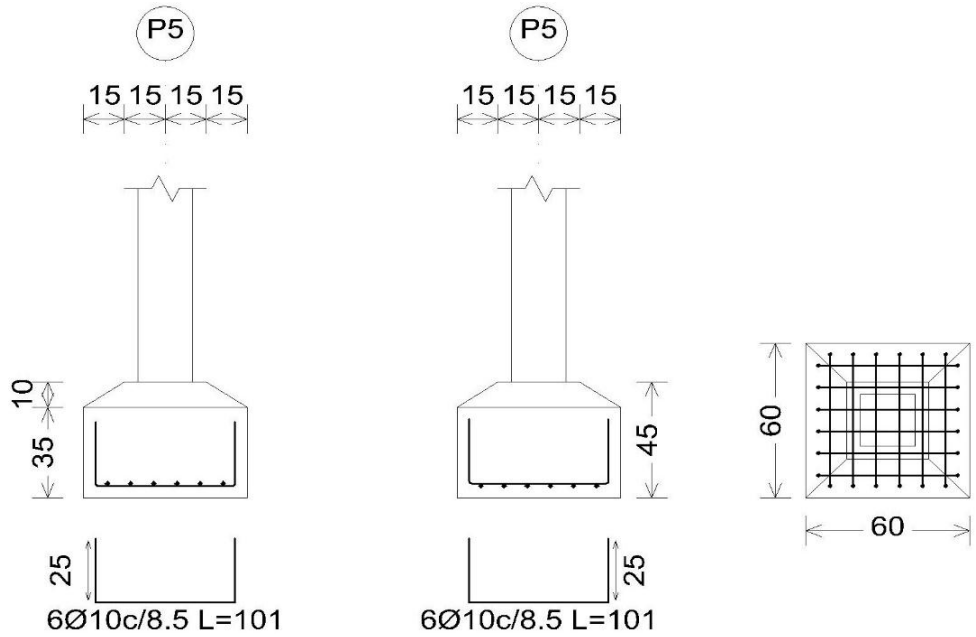
A sapata terá então, dimensões de 60 x 60 cm; altura de 45 cm; armada com 6 barras de θ10mm em cada direção, com espaçamento entre elas de 8,5 cm e com 101 cm de comprimento, conforme ilustração na TAB. 1 e FIG.10.

Tabela 1 – Consumo de aço e concreto – Primeiro caso

Material	Quantidade	Unidade
Aço CA-50 θ10mm	7,5	kg
Concreto C20	0,143	m³

Fonte: Autoria Própria (2016)

FIGURA 10 – Dimensionamento da sapata – Primeiro caso



Fonte: Autoria Própria (2016)

4.2 Segundo caso

Dimensionamento da sapata do “pilar 5”, conforme os dados apresentados no relatório de sondagem II (anexo II).

- SP2 - 1m de profundidade: NSPT = 10 golpes.

A Tensão admissível do solo obtida a partir dos dados foi de 2,0 kgf/cm².

O pré-dimensionamento geométrico da área da base da sapata foi de 7500 cm², sendo a sapata quadrada de lado 86,60 cm.

Considerando o bulbo de tensão abaixo da sapata, considerando o NSPT médio referente a uma profundidade de 2,5 vezes o lado da sapata abaixo da cota de assentamento, teremos um NSPT médio de 10 mos.

Como o valor do médio do bulbo é igual ao valor de NSPT na cota 1,0 m, manteve-se a tensão admissível do solo de 2,0 kgf/cm², resultando em uma sapata com lado de 86,60 cm. Adota-se então lado de 90 cm.

A altura calculada para atender os critérios de sapata rígida e ancoragem da armadura do pilar será de 45,0 cm.

A área de aço obtida foi de 1,31 cm², estando abaixo da área de aço mínima encontrada, de 6,07 cm².

Portanto, a área de aço da sapata será de 6,07 cm², que adotando-se barras com bitola de 10 mm, a quantidade de barras será de 8 barras em cada direção, com um comprimento calculado de 131 cm cada.

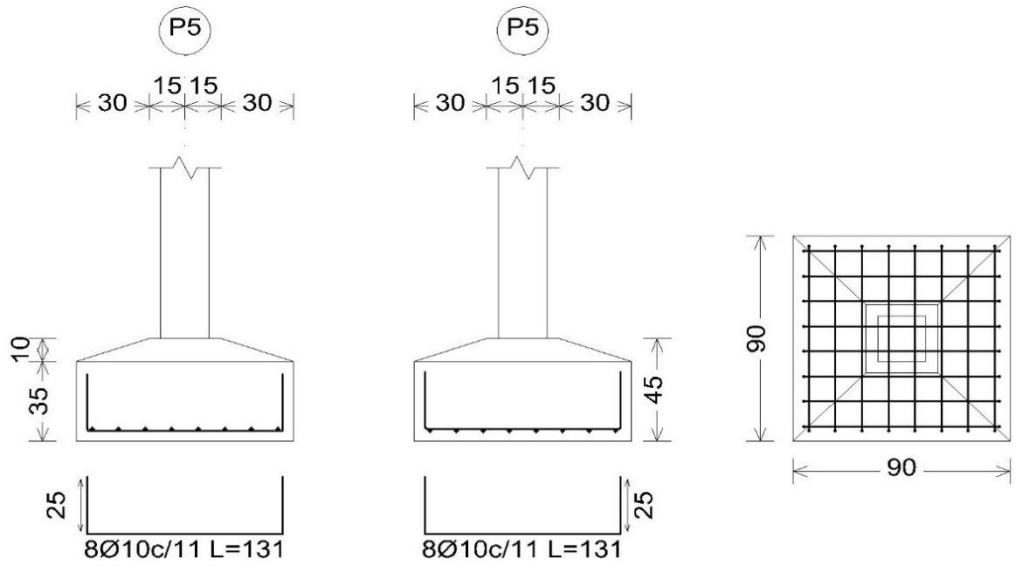
A sapata terá então, dimensões de 90 x 90 cm; altura de 45 cm; armada com 8 barras de θ10 mm em cada direção, com espaçamento entre elas de 11 cm e com 131 cm de comprimento, conforme ilustração na TAB. 2 e FIG.11.

Tabela 2 – Consumo de aço e concreto – Segundo caso

Material	Quantidade	Unidade
Aço CA-50 θ10mm	12,95	kg
Concreto C20	0,318	m³

Fonte: Autoria Própria (2016)

FIGURA 11 – Detalhamento da sapata – Segundo caso



Fonte: Autoria Própria (2016)

4.3 Terceiro caso

Dimensionamento da sapata do “pilar 5”, em um terreno ao qual não se conhece as características do subsolo, considerando a tensão admissível do solo = 1,0 kn/cm².

O pré-dimensionamento geométrico da área da base da sapata foi de 15000 cm², sendo a sapata quadrada de lado 122,47 cm. Adota-se então lado de 125 cm.

A altura calculada para atender os critérios de sapata rígida e ancoragem da armadura do pilar será de 45,0 cm.

A área de aço obtida foi de 1,82 cm², estando abaixo da área de aço mínima encontrada, de 8,43 cm².

Portanto, a área de aço da sapata será de 8,43 cm², que adotando-se barras com bitola de 10 mm, a quantidade de barras será de 11 barras em cada direção, com um comprimento calculado de 166 cm cada.

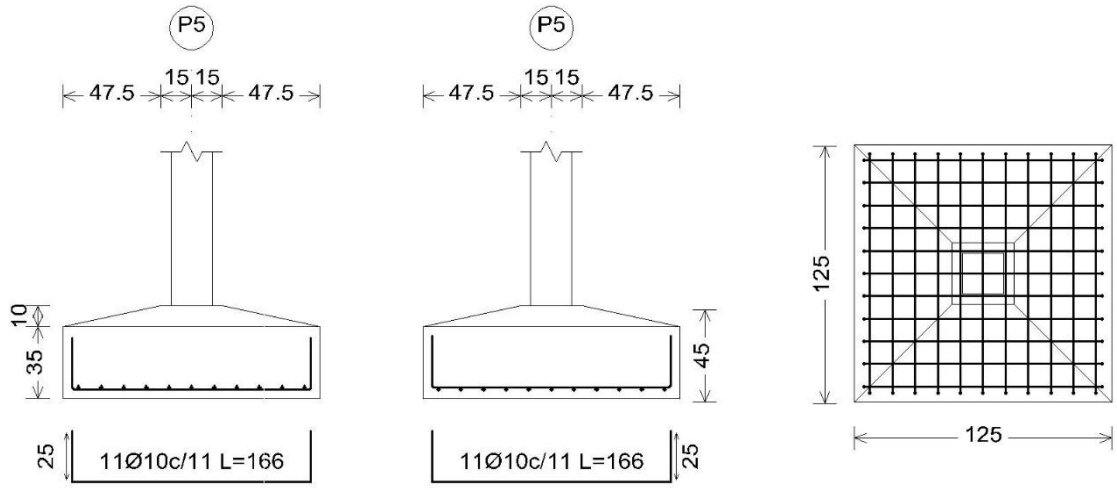
A sapata terá então, dimensões de 125 x 125 cm; altura de 45 cm; armada com 11 barras de θ10 mm em cada direção, com espaçamento entre elas de 11 cm e com 166 cm de comprimento, conforme ilustração na TAB. 3 e FIG.12.

Tabela 3 – Consumo de aço e concreto – Terceiro caso

Material	Quantidade	Unidade
Aço CA-50 θ10mm	22,5	kg
Concreto C20	0,609	m³

Fonte: Autoria Própria (2016)

FIGURA 12 – Detalhamento da sapata – Terceiro caso



Fonte: Autoria Própria (2016)

5. Considerações Finais

Neste trabalho observou-se a importância da realização de sondagem do solo antes que se dê início a uma edificação, evitando assim, patologias decorrentes do recalque além do previsto, que possam afetar a funcionalidade e a segurança de uma obra devido a um subdimensionamento, ou, gastos excessivos provenientes de um superdimensionamento das fundações, conforme apresentado no estudo comparativo.

Comparando as três situações propostas, temos uma diferença notória de consumo de material entre as sapatas, sendo, a mesma carga solicitada, tendo como variante, apenas o terreno ao qual foram calculadas. A sapata do terceiro caso, se comparada a sapata do segundo caso, teve um acréscimo em cerca de 42,4% de aço e de aproximadamente 48% de volume de concreto. Se comparada

com a sapata do primeiro caso, a diferença para o terceiro caso é ainda maior. Constatou-se um acréscimo de cerca de 66,7% de aço e 77% ao volume de concreto.

A partir deste trabalho é possível concluir que o investimento em uma análise do subsolo é indispensável como serviço preliminar aos projetos de fundações. Sendo o seu custo em média 0,5% do valor total da obra, tornando-se responsável por prevenir onerações e garantir a segurança de toda estrutura de uma edificação.

Referências

ALONSO, Urbano Rodriguez. *Previsão e controle das fundações*: Uma introdução ao controle da qualidade em fundações. 3 ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2003. 1-5 p.

_____. *Exercícios de fundações*. 14 ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2007. 115 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAMAS TÉCNICAS – ABNT - *NBR 6122* - Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 1996. 8-13p.

_____ – ABNT – *NBR 8036*- Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro, 1996. 1-3 p.

HACHICH, W. et al. *Fundações:* Teoria e pratica. 2 ed. São Paulo: Pini, 1998. 119-121 p.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. *Patologias das Fundações*. 1ª. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2005. 185-228p.

PORTO, Thiago Bomjardim; Danielle Stefane Gualberto Fernandes. *Curso básico de concreto armado*: Conforme NBR 6118/2014. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 105-108 p. NBR 8464 (2001);

YAZIGI, Walid. *A técnica de edificar*. 10 ed. São Paulo: Pini, 1997. 40-44 p.

CONSTRUÇÃO MERCADO. *Como contratar execução de fundações*. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/142/artigo298938-1.aspx>. Acesso em: 22 out. 2016.

GID ENGENHARIA. *Geotecnia - sondagem à rotação*. Disponível em: <http://www.gid-engenharia.com/sondagemr.html>. Acesso em: 24 out. 2016.

DOCPLAYER. *Uefs departamento de tecnologia colegiado de engenharia civil*. Disponível em: <http://docplayer.com.br/16570586-universidade-estadual-de-feira-de-santana-departamento-de-tecnologia-colegiado-de-engenharia-civil.html>. Acesso em: 28 out. 2016.

AP&L GEOTECNIA E FUNDAÇÕES. *Execução de sondagem a percussão*. Disponível em: <http://www.apl.eng.br/percussao>. Acesso em: 24 out. 2016.

EBAH. *Solos e fundações*. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/abaaagg2saf/aula-4-solos-fundacoes>. Acesso em: 28 out. 2016.