

Dimensionamento do Projeto Estrutural de Fundação Rasa do Tipo Sapata Utilizando a Metodologia de Velloso e Lopes para um Residencial Unifamiliar em Manaus – AM

BRUNA SILVA DA GRAÇA

Graduating in Civil Engineering

International Universities Laureate / UNINORTE (Brazil)

EULER ANDRÉ BARBOSA DE ALENCAR

Civil Engineering, Federal University of Amazonas -UFAM

Teacher, Laureate International Universities

UNINORTE (Brazil)

Abstract

The choice of the Sapata foundation for this residential project, which was the cause of research in this work, was made based on the study of the soil adapting and matching the requirements exposed by Velloso and Lopes for the elaboration of the same, showing all the cost / benefit importance for execution. This research has a qualitative content, since it does not involve people, and only bibliographical research was used, in which theories and theorists that approached the subject were studied: Shoe Foundation. The method is explanatory, because its main objective is to verify by means of theories the importance of this type of foundation, as well as its correct dimensioning. We can conclude that the best type of foundation is the one that supports the loads of the structure with safety and is adapted to the topographic factors, soil mass, technical and economic aspects, without affecting the integrity of the surrounding constructions.

Key Words: Foundation. Sapata. Residential project

RESUMO

A escolha da fundação Sapata para este projeto residencial, que foi causa de pesquisa neste trabalho, foi feito com base no estudo do solo adequando e compatibilizando os quesitos exposto por Velloso e Lopes para a elaboração do mesmo, evidenciando toda a importância custo/benefício para sua execução. Esta pesquisa é de teor qualitativo, pois não envolve pessoas e, somente foram utilizadas pesquisas bibliográficas, nas quais se buscou teorias e teóricos que abordavam o assunto tema: Fundação de Sapata. O método é explicativo, porque tem como principal objetivo verificar por meio de teorias a importância desse tipo de fundação, bem como seu dimensionamento correto. Podemos concluir que o melhor tipo de fundação é aquele que suporta as cargas da estrutura com segurança e se adequa aos fatores topográficos, maciço de solos, aspectos técnicos e econômicos, sem afetar a integridade das construções vizinhas.

Palavras-chave: Fundação. Sapata. Projeto residencial

1. INTRODUÇÃO

(VELLOSO e LOPES) Estabelecem que os requisitos básicos de um projeto de fundação têm que atender dois critérios básicos que se refere à estabilidade externa, quando existe segurança adequada ao colapso do solo de fundação, e à estabilidade interna, quando existe firmeza ao colapso dos elementos estruturais e condições aceitáveis de deformações.

Mediante as ponderações de (VELLOSO e LOPES), podemos afirmar que o requisito básico em evidência sobre a escolha de uma determinada estrutura de fundação para uma obra está fortemente ligado ao estudo do solo e às características da estrutura do projeto, neste caso específico,

esse estudo foi desenvolvido pelo Engenheiro Civil Charlton Lousada de Andrade, que depois de executar dois furos no solo e analisar seu perfil, determinou com precisão e segurança as características desse solo, informações de extrema importância para o calculista determinar o tipo de fundação e as dimensões da estrutura.

A escolha da fundação Sapata para este projeto residencial, que foi causa de pesquisa neste trabalho, foi feito com base no estudo do solo adequando e compatibilizando os quesitos exposto por Velloso e Lopes para a elaboração do mesmo, evidenciando toda a importância custo/benefício para sua execução.

Não obstante toda a análise desses processos foi verificada também, pelo autor dos projetos complementares e estrutural, Engenheiro Calculista Marcus Mesquita, que o posicionamento dos pilares e vigas da estrutura deve ser estrategicamente inserido na alvenaria da residência, para não interferirem nem na arquitetura e nem na segurança da obra, mas fazer parte de um todo de forma harmoniosa.

Inseridos desse pensamento de custo/benefício, foi discutido com o cliente a segurança da fundação e os custos que estariam envolvidos nesse projeto estrutural, bem como a mão de obra especializada da AFX Construções Ltda, responsável pela execução e pelo uso do concreto usinado da USIMIX que seria usado na concretagem com f_{ck} de 25 Mpa.

2. OBJETIVO

Esta pesquisa é de teor qualitativo, pois não envolve pessoas e, somente foram utilizadas pesquisas bibliográficas nas quais se buscou teorias e teóricos que abordavam o assunto tema: Fundação de Sapata. O método é explicativo, porque tem como principal objetivo verificar por meio de teorias a importância desse tipo de fundação, bem como seu dimensionamento correto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História das Fundações

Podemos afirmar que a questão sobre fundação veio dos primórdios, sendo aperfeiçoada durante os séculos, trazendo a necessidade de um estudo detalhado do solo e escolha adequada da fundação. (NÁPOLES NETO, 1998).

O homem ao notar sua capacidade de cultivar a terra e domesticar animais, no período mesolítico, deixou seu caráter nômade e passou a fixar moradia em locais onde havia terras férteis. Com esse novo modo de viver, ele percebeu que necessitava de habitações mais seguras e que durassem por um tempo mais longo. As primeiras residências foram feitas de madeira e, para apoiá-las, eram feitos pequenos montes de solo, chatos e largos e, partir de então, as fundações começam a traçar seus princípios. (FUNDAÇÕES TEORIA E PRÁTICA, PINI 1998) (NÁPOLIS NETTO, 1998) na Idade dos Metais, o homem desenvolveu a capacidade de construir ferramentas. Estas eram utilizadas para moldar as pedras utilizadas nas edificações e também para perfurar o solo para receber as fundações. Como previsto, os terrenos que recebiam essas cargas significativas, em sua maioria, cediam. Essas construções então eram demolidas ou vinham ao solo antes mesmo de se pensar em uma solução. Os escombros eram reutilizados nas fundações em obras posteriores, misturados com outros solos e tudo compactado novamente. “Assim, as edificações eram sucessivamente colocadas umas sobre as outras...”. (NÁPOLIS NETTO, 1998)

Para cessar com esses desmoronamentos, o alívio do peso das edificações passou a ser buscado. Uma das alternativas foi secar os tijolos ao sol e posteriormente vieram a ser cozidos em fornos.

No período Clássico, os gregos pouco evoluíram quanto à técnica e materiais utilizados nas fundações, mas em Roma, a

construção em geral e das fundações avançaram significativamente: “... Isto se deu com a introdução do arco - herança etrusca - e da abóbada, a preparação do cimento romano a partir da mistura de pozolana com calcário, e daí o concreto, pela adição de pedaços de pedra...” (NÁPOLES NETO, 1998). Foi no período Renascentista, especificamente no século XVIII, o início dos primeiros estudos teóricos de mecânica dos solos. Perdurando até a Idade Moderna com grandes evoluções tais como a teoria sobre pressões de terras em muros de arrimos de (COULOMB, 1776). No século 18, mais precisamente por volta do ano de 1789, com Karl Terzaghi, denominado pai da Mecânica dos Solos, que essa ciência tomou forma e modernizou-se com eventos e publicações importantes. (NÁPOLES NETO, 1998).

No contexto do desenvolvimento das fundações, nota-se que embora sem grandes eficiências, as técnicas dos antigos não foram em vão, provocaram a busca constante de novos materiais, de novas técnicas e dos estudos dos solos, até então semiempíricos, instigando profissionais a terem bom senso e espírito crítico quando do processo de projeto de fundações.

2.2 Fundações e suas características

Segundo (AZEREDO – 1988), as fundações são elementos estruturais cuja função é transmitir as cargas da estrutura ao terreno onde ela se apoia. Então, convém afirmar que os principais itens a se considerar para que se tenha uma fundação segura e que exerça seu papel como projetada, são:

- Deformações aceitáveis sob as condições de trabalho;
- Segurança adequada ao colapso do solo de fundações;
- Segurança adequada ao colapso dos elementos estruturais.

2.2.1 Fundações Superficiais

Uma fundação direta ou rasa, afirma (RODRIGUES - 2006), é determinada pelo fato de a distribuição de carga do pilar para o solo ocorrer pela base do elemento de fundação, sendo que, a carga aproximadamente pontual que ocorre no pilar, é transformada em carga distribuída, num valor tal, que o solo seja capaz de suportá-la.

Já a NBR 6122/2010 cita exemplos de fundações diretas e determina que as sapatas sejam elementos de fundação superficial de concreto armado, dimensionados de modo que as tensões de tração nele produzidas não sejam resistidas pelo concreto, mas sim pelo emprego da armadura. Pode possuir espessura constante ou variável, sendo sua base em planta normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal. A norma reconhece ainda outros dois tipos de sapatas:

- Sapata associada: quando a mesma é comum a vários pilares, mesmo estes não possuindo seus centros no mesmo alinhamento;
- Sapata corrida: quando o elemento está sujeito a uma carga distribuída de modo igual em toda sua extensão.

Figura 1 - Sapata corrida

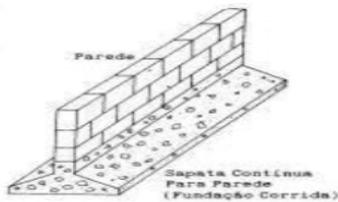
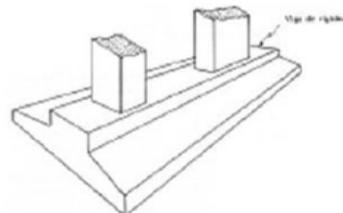


Figura 2 - Sapata associada



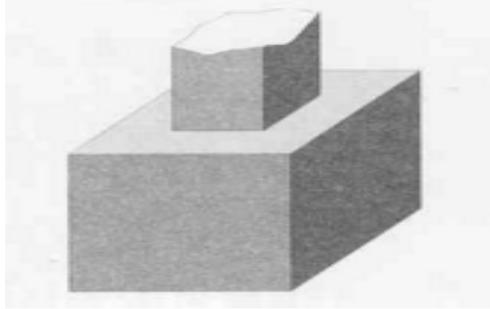
Fonte: Disponível: http://blog.construir.arq.br/fundacao_sapata/

2.2.2 Bloco

Executado com concreto simples, o qual deve resistir às tensões de trações nele aplicados. Dispensa o uso de armadura. “Pode ter suas faces verticais, inclinadas ou escalonadas e apresentar

normalmente em planta seção quadrada ou retangular.” (NBR 6122/2010).

Figura 3 - Bloco

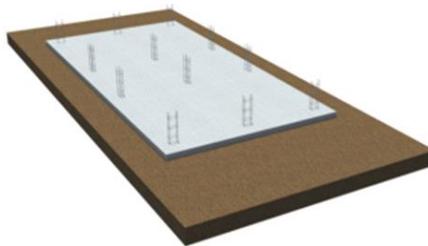


Fonte: Departamento de Apoio e Controle Técnico - DCT. Apostila do curso de Construção Civil

2.2.3 Radier

De acordo com (TEXEIRA E GODOY, 1998) quando todos os pilares de uma estrutura transmitem as cargas de um solo através de uma única sapata, tem-se o que se denomina uma fundação em radier.

Figura 4 - Radier



Fonte:Disponível:<http://blogpraconstruir.com.br/etapasdaconstrucao/radier/>

2.2.4 Viga de Fundação

“Elemento de fundação superficial comum a vários pilares, cujos centros, em planta, estejam situados no mesmo alinhamento.”

Usualmente reconhecido como vigas baldrame. (VELLOSO E LOPES, 1998).

Assim podemos concluir que para (JOPPERT JR.2007), se as fundações rasas forem exequíveis no quesito técnico elas são muito interessantes, pois dispensa o uso de equipamentos e de qualificação para a mão de obra, tornando-se assim, economicamente atraente. Destaca também vantagens deste método, relacionadas à facilidade de reconhecimento do solo que sustentará a fundação e a acessibilidade de controlar os materiais que serão utilizados.

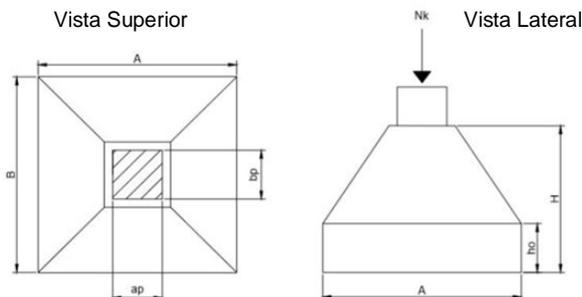
Para (ALONSO, 1983), “este tipo de fundação só é vantajoso quando a área ocupada pela fundação abranger, no máximo, de 50% a 70% da área disponível.” Enfatiza que não se deve executar tal tipo de fundação em casos de solos que sofreram aterros e não recebeu a devida compactação, solos como argilas moles, areias fofas e onde haja existência de água.

3. FUNDAÇÃO SOBRE SAPATA

(BASTO 2017) afirma que “Sapatas são as mais comuns dentre as escolhas de elementos de fundação superficial, existindo grande variabilidade na configuração e forma dos elementos estruturais que nela se apoiam”. Assim existindo vários tipos de sapatas que podem ser isoladas, corrida, associada, sapatas de divisa, com vigas de equilíbrio e outras.

Evidenciando a escolha no projeto residencial por fundação em sapata isolada, podemos dizer segundo (Basto 2017) que as sapatas isoladas são as mais comuns nas edificações, pois as mesmas transmitem ao solo as ações de único pilar.

Figura 5 – Sapata isolada



Fonte: Disponível: http://blog.construir.arq.br/fundacao_sapata/

As reações comuns em sapata isolada são a força normal (N), os momentos fletores, que podem ser em uma ou em duas direções (M_x), (M_y) e a força horizontal (H).

Seguro de conceitos e normas de estrutura de Fundações (NBR6122/2010), segundo o Engenheiro calculista Marcus Mesquita responsável pela escolha da estrutura de fundação do projeto residencial em questão, a definição do tipo de fundação depende da carga que vem da estrutura de pilar e do tipo de solo, trazendo a extrema importância do laudo de sondagem que por menor que seja o porte da construção em determinada área deve se considerar o número de furos dependendo do tamanho do terreno e da edificação de acordo com a (NBR 6122/2010).

E para assegurar uma escolha de fundação viável ao projeto e segura para a estrutura do residencial foi elaborado a Sondagem de SPT (standard penetration test) pela empresa especializada AFX CONSTRUÇÕES, Engenheiro responsável Charlton Lousada. (DANZIGER, 1986) A sondagem a percussão é um procedimento geotécnico de campo, capaz de amostrar o subsolo. Quando associada ao ensaio de penetração dinâmica (SPT), mede a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada, com o laudo de sondagem pode se conhecer o tipo de

solo, a resistência (N) oferecida pelo solo, à posição do nível ou dos níveis d'água.

4. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo baseou-se na coleta de dados. Esse tipo de trabalho é caracterizado por exigir o envolvimento ativo do pesquisador por meios de ações de pesquisa, baseada em escritores que promoveram livros específicos em fundação e na resolução de seus problemas, apresentando soluções de forma técnica, mas com base empírica. (AZEREDO, 2006).

Essas ações mostram que a escolha de uma Fundação em Sapata, tanto em obras de grande porte ou em uma residência, como é o caso deste estudo, passa pelo total conhecimento teórico e empírico do seu executor, obedecendo à risca todas as etapas de sua execução descritos na NBR 6122/2010 bem como apresentar o delineamento da pesquisa, descrevendo as etapas desenvolvidas e as ferramentas utilizadas para a coleta dados aqui apresentados.

4.1 Objeto de Estudo

Figura 6 – Localização do Residencial Renaissance, Lote 245, Chapada. Manaus – AM.



Fonte: Google Maps (2019).

O objeto de estudo em questão encontra-se localizado no Residencial Renaissance, Lote 245, Av. Dr. Theomario Pinto da Costa, 136 - Chapada, Manaus - AM, 69050-055 Manaus/AM.

A área de estudo tem 11 m de largura por 33 m de comprimento, uma área total de 363 m².

4.2 Análise do Perfil de Solo

Segundo a empresa especializada (AFX CONSTRUÇÕES) a Sondagem de reconhecimento à percussão fixa diretrizes gerais a serem observadas na investigação de subsolo, levando se em conta as peculiaridades da obra em projeto. Fornecendo a descrição das camadas atravessadas, os valores dos índices de resistência à penetração (SPT) e as posições dos níveis de água do solo em estudo, apresentando subsídios que permitem especificar e dimensionar elementos para fundação.

E de acordo com a (NBR 6484/01) a metodologia da execução a Sondagem de reconhecimento à percussão foram as seguintes:

4.2.1 Foram realizados 02 (dois) furos de sondagem à percussão num total de 20,90 (vinte, noventa) metros.

4.2.2 As sondagens foram iniciadas com trado cavadeira 100 mm de \varnothing , até a profundidade de 1 metro, onde foi executado o primeiro ensaio de penetração SPT (Standard Penetration Test).

4.2.3 As extrações das amostras foram feitas com cravação de amostrador padrão de 34,9 mm interno e 50,8 mm de \varnothing externo.

4.2.4 O número de golpes obtidos em queda livre de 75 cm de altura de um peso 65 Kg para cravar cada penetração de 15 cm do amostrador, sendo anotados os números de golpes até perfazer o total de 45 cm (3 x 15 cm).

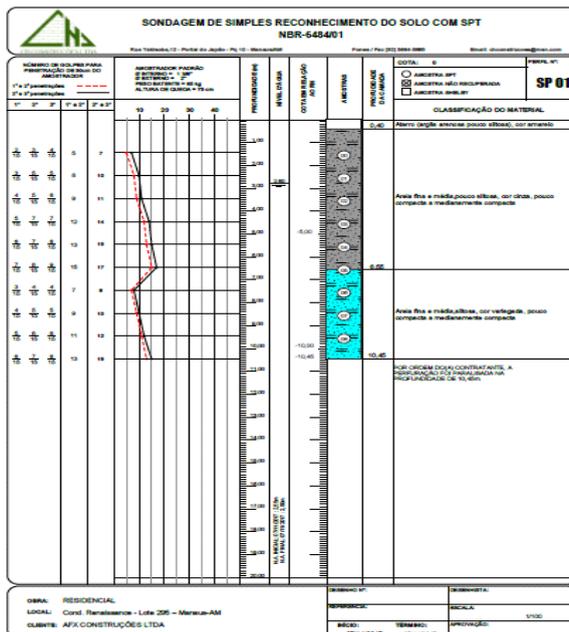
4.2.5 A resistência à penetração consistiu no número de golpes necessário a cravação dos 30 cm finais de barrilete amostrador (SPT).

Seguindo a metodologia aplicada pela (NBR 6484/01) a empresa especializada (AFX CONSTRUÇÕES), chegou à conclusão em relatório para as estimadas tensões admissíveis do solo para a estrutura de fundação do residencial.

Tabela 1 - Tensão admissível do solo

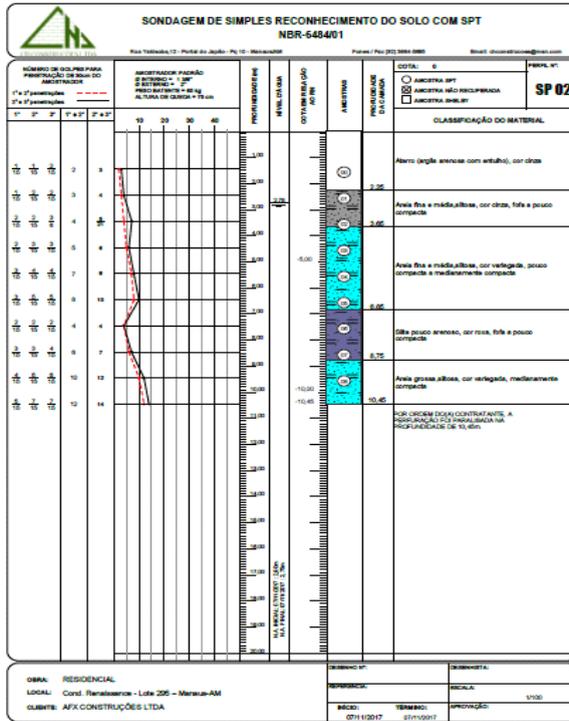
SPT			Tensão Admissível (kg/cm²)	
(m)	SP 01	SP 02	SP 01	SP 02
1	7	3	1,6	0,7
2	10	4	2,2	1
3	11	5	2,3	1,2
4	14	6	2,7	1,4
5	15	8	2,9	1,8
6	17	10	3,1	2,2
7	8	4	1,8	2
8	10	7	2,2	2,6
9	12	12	2,5	2,5
10	15	14	2,9	2,7

Figura 7 – Relatório 1 de Sondagem SPT



Fonte: AFX construções, 2019.

Figura 8 – Relatório 2 de Sondagem SPT



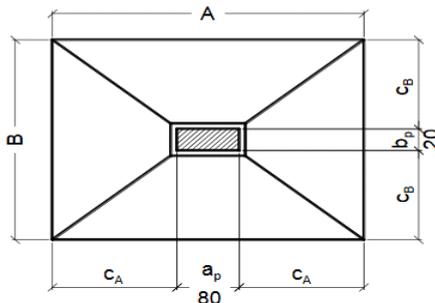
(σ_{pil}), tensão admissível do solo (σ_{adm}) de 0,26Mpa (2,6kgf/cm²) e: momentos fletores solicitantes externos inexistentes ($M_x = M_y = 0$); coeficientes de ponderação da segurança: $\gamma_c = \gamma_f = 1,4$; $\gamma_s = 1,15$; materiais: concreto C25, aço CA-50($f_{yd} = 43,48$ kN/cm²); cobrimento de concreto: $c = 4$ cm.

Resolução:

a) Dimensões da sapata

Estimativa das dimensões da sapata em planta, considerando o fator majorado de carga (K_{maj}) de 1,1 a fim de levar em conta o peso próprio da sapata e do solo sobre a sapata.

$$S_{sap} = \frac{K_{maj} \cdot N_k}{\sigma_{adm}} = \frac{1,1 \cdot 1250}{0,026} = 52.885 \text{ cm}^2$$



Fazendo sapata com balanços iguais ($C_A = C_B = c$), a dimensão do menor lado da sapata em planta é

$$B = \frac{1}{2}(b_p - a_p) + \sqrt{\frac{1}{4}(b_p - a_p)^2 + S_{sap}} = \frac{1}{2}(20 - 80) + \sqrt{\frac{1}{4}(20 - 80)^2 + 52885} = 201,9 \text{ cm}$$

Como as dimensões devem ser preferencialmente valores múltiplos de 5 cm, adota-se 205 cm para B. Com $c_A = c_B$, o lado maior da sapata é

$$A - B = a_p - b_p \quad \rightarrow \quad A - 205 = 80 - 20 \quad \rightarrow \quad A = 265 \text{ cm}$$

A área corrigida da base da sapata é:

$$S_{sap} = 265 \cdot 205 = 54.325 \text{ cm}^2 > 52.885 \text{ cm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{ok!}$$

Os balanços, iguais nas duas direções, resultam

$$c_A = c_B = \frac{A - a_p}{2} = \frac{265 - 80}{2} = 92,5 \text{ cm}$$

A altura da sapata, supondo-a como rígida conforme a NBR 6118, deve atender

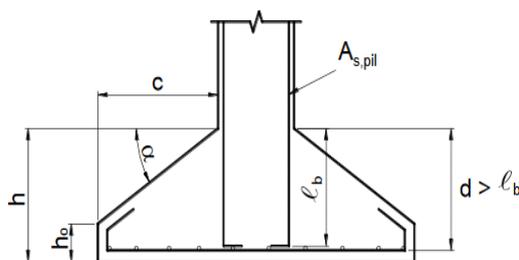
$$h \geq \frac{A - a_p}{3} \geq \frac{265 - 80}{3} \geq 61,7 \text{ cm}$$

Para possibilitar a ancoragem da armadura longitudinal do pilar dentro do volume da sapata, a altura útil d deve ser superior ao comprimento de ancoragem (L_b) da armadura do pilar: $d > L_b$. O comprimento de ancoragem, considerando região de boa aderência, concreto C25, $L_{b,pil} = 16mm$ e ancoragem com gancho 11, é $L_b = 42 \text{ cm}$, conforme a Tabela A-7 anexa. Portanto, $d > 42 \text{ cm}$. Adotando $h = 70 \text{ cm}$, a sapata é classificada como rígida ($> 61,7 \text{ cm}$), e para a altura útil d pode-se considerar:

$$d = h - (c + 1) = h - (4,0 + 1,0) = h - 5 \text{ cm} = 70 - 5 = 65 \text{ cm} \rightarrow d = 65 \text{ cm} > l_b = 42 \text{ cm} \rightarrow \text{ok!}$$

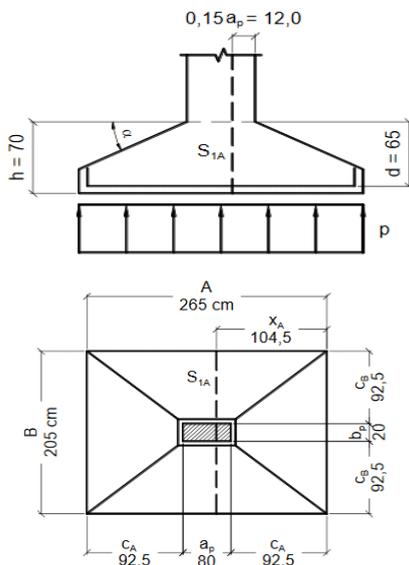
Para a altura das faces verticais nas extremidades da sapata tem-se

$$h_o \geq \begin{cases} h/3 = 70/3 = 23,3 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow h_o = 25 \text{ cm} \text{ (geralmente adota-se um valor múltiplo de 5 cm)}$$



O ângulo da superfície inclinada da sapata é:

$$\text{tg } \alpha = \frac{h - h_o}{c} = \frac{70 - 25}{92,5} \rightarrow \alpha = 25,9^\circ$$



b) Determinação dos momentos fletores internos solicitantes

Os esforços solicitantes atuantes na sapata podem ser computados em função da pressão no solo calculada considerando as ações externas que atuam na sapata (forças e momentos fletores) já majoradas pelos coeficientes de ponderação das ações. A pressão no solo assim calculada é fictícia e não deve ser comparada à tensão admissível do solo. Isso permite que diferentes coeficientes de ponderação das ações (permanentes, variáveis, etc.) sejam considerados diretamente. A pressão no solo será um valor de cálculo, de modo que os esforços solicitantes decorrentes serão também valores de cálculo. As cargas relativas ao peso próprio da sapata e do solo sobre a sapata não necessitam ser consideradas no cálculo do momento fletor. Com γ_f 1,4, a pressão no solo é:

$$p_d = \frac{N_d}{A \cdot B} = \frac{1,4 \cdot 1250}{265 \cdot 205} = 0,03221 \text{ kN/cm}^2$$

Nota-se que os limites impostos na equação para aplicar o processo do CEB-70 são atendidos

$$\frac{h}{2} \leq c \leq 2h \rightarrow \frac{70}{2} \leq c \leq 2 \cdot 70 \rightarrow 35 < c = 92,5 \text{ cm} < 140 \text{ cm} \rightarrow \text{ok!}$$

As distâncias das seções de referência S1 às extremidades da sapata são:

$$x_A = c_A + 0,15a_p = 92,5 + 0,15 \cdot 80 = 104,5 \text{ cm}$$

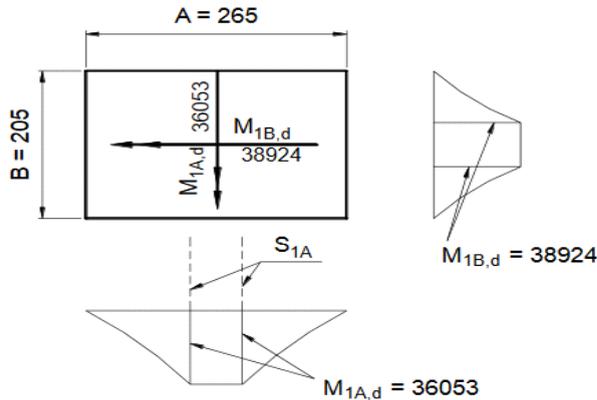
$$x_B = c_B + 0,15b_p = 92,5 + 0,15 \cdot 20 = 95,5 \text{ cm}$$

Cálculo dos momentos fletores nas seções de referência S1A e S1B

$$M_{1A,d} = p_d \frac{x_A^2}{2} B = 0,03221 \frac{104,5^2}{2} 205 = 36.053 \text{ kN.cm}$$

$$M_{1B,d} = p_d \frac{x_B^2}{2} A = 0,03221 \frac{95,5^2}{2} 265 = 38.924 \text{ kN.cm}$$

A Figura abaixo ilustra os momentos fletores solicitantes na sapata.



As armaduras de flexão segundo os lados A e B da sapata, considerando $\gamma_s = 1,15$, e $f_{yd} = 50/1,15 = 43,48 \text{ kN/cm}^2$ para o aço CA-50, são:

$$A_{s,A} = \frac{M_{1A,d}}{0,85d \cdot f_{yd}} = \frac{36053}{0,85 \cdot 65 \cdot 43,48} = 15,01 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,B} = \frac{M_{1B,d}}{0,85d \cdot f_{yd}} = \frac{38924}{0,85 \cdot 65 \cdot 43,48} = 16,20 \text{ cm}^2$$

A escolha das armaduras pode ser feita com auxílio da Tabela A-11(ver anexo A) de armadura em cm^2/m . É necessário transformar a armadura de cm^2 para cm^2/m :

Na dimensão A¹⁴: $\frac{15,01}{2,05} = 7,32 \text{ cm}^2/\text{m}$ → na Tabela A-11: $\phi 10 \text{ mm c}/10 \text{ cm}$ (8,00 cm^2/m)

Na dimensão B: $\frac{16,20}{2,65} = 6,11 \text{ cm}^2/\text{m}$ → na Tabela A-11: $\phi 10 \text{ mm c}/13 \text{ cm}$ (6,15 cm^2/m)

Para a armadura de flexão, na prática recomenda-se que o espaçamento entre as barras esteja compreendido entre os valores: $10 \text{ cm} \leq e \leq 20 \text{ cm}$.

“Para barras com $\phi \geq 25 \text{ mm}$, deve ser verificado o fendilhamento em plano horizontal, uma vez que pode ocorrer o destacamento de toda a malha de armadura.” (NBR 6118, 22.6.4.1.1). Como o diâmetro das barras de flexão neste exemplo é 10 mm, essa verificação é necessária. O detalhamento das armaduras está mostrado na Figura abaixo. A NBR 6118 não especifica uma armadura mínima de flexão para as sapatas. Alguns autores aplicam a armadura mínima especificada pela norma para as vigas, o que geralmente resulta armadura mínima maior que a calculada no caso das sapatas rígidas, devido à sua grande altura.

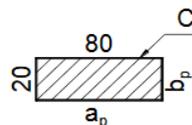
c) Verificação da diagonal comprimida

Como a sapata é rígida, não ocorre a ruptura por punção, por isso basta verificar a tensão na diagonal de compressão, na superfície crítica C.

$$u_0 = 2(20 + 80) = 200 \text{ cm} \text{ (perímetro da superfície crítica C = perímetro do pilar)}$$

Fazendo o cálculo da força F_{sd} sem considerar a possível redução devida à reação de baixo para cima na base da sapata, proveniente do solo:

$$F_{sd} = N_{sd} = \gamma_f N = 1,4 \cdot 1250 = 1.750 \text{ kN}$$



Tensão de cisalhamento atuante

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u_o \cdot d} = \frac{1750}{200 \cdot 65} = 0,135 \text{ kN/cm}^2 = 1,35 \text{ MPa}$$

Tensão de cisalhamento resistente

$$\tau_{Rd,2} = 0,27 \alpha_v \cdot f_{cd} = 0,27 \left(1 - \frac{25}{250}\right) \frac{2,5}{1,4} = 0,43 \text{ kN/cm}^2 = 4,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Sd} = 1,35 \text{ MPa} < \tau_{Rd,2} = 4,3 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{ ok!}$$

Portanto, não irá ocorrer o esmagamento do concreto na diagonal comprimida. Verifica-se que a sapata tem uma grande folga neste quesito.

As sapatas devem ter o equilíbrio verificado, quanto à possibilidade de tombamento e escorregamento.

Essas verificações não estão apresentadas neste exemplo.

d) Detalhamento das armaduras

A NBR 6118 (item 22.6.4.1.1) especifica que a armadura de flexão deve ser uniformemente distribuída ao longo da largura da sapata (ver item 1.6.5.1 desta apostila), sem maiores detalhes. O ACI 318 e o CEB-70 apresentam prescrições detalhadas quanto à distribuição da armadura, dependendo das dimensões dos lados A e B da sapata. Nota-se que: $ap + 2h = 80 + 2 \cdot 70 = 220\text{cm}$, é maior que a largura B (205 cm), e pelo CEB-70 a armadura deve ter uma parte concentrada sob o pilar. No entanto, neste exemplo, a sapata não é muito retangular, sendo a diferença dos lados de apenas 29% ($265/205 = 1,29$), o que justifica distribuir as barras uniformemente na sapata, como preconizado pela NBR 6118. Na dúvida, pode-se seguir o recomendado pelo ACI 318 ou pelo CEB-70.

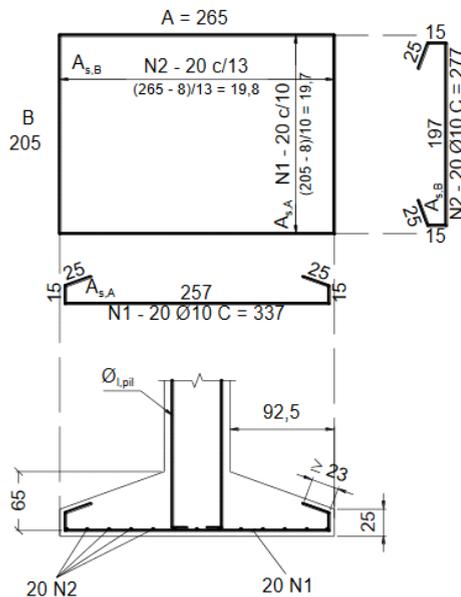
Considerando $\varnothing 10$ mm, C25, região de boa aderência e ancoragem sem gancho, o comprimento de ancoragem (L_b) na Tabela A-7 é de 38 cm.

A NBR 6118 especifica que as barras das armaduras de flexão sejam estendidas até as faces nas extremidades da

sapata, e terminadas em gancho. A consideração aqui será de que as barras devem se estender com o comprimento de ancoragem básico (L_b), a partir da extremidade da sapata. Como o cobrimento de concreto da armadura é de 4 cm e h_0 é 25 cm, pode-se considerar que o gancho vertical nas extremidades das barras seja: $h_0 - 10$ cm = 25 - 10 = 15 cm. O comprimento do gancho inclinado então é a diferença entre o comprimento de ancoragem básico e o comprimento do gancho vertical:

$$l_{\text{gancho, incl}} = 38 - 15 = 23 \text{ cm}$$

Portanto, pode-se arredondar $l_{\text{gancho, incl}}$ gancho, 25 cm (preferencialmente um valor múltiplo de 5 cm).



A partir do dimensionamento da sapata isolada elaborado por um engenheiro especializados, tomando como exemplo didático para podemos entender importância dessa fundação para o projeto. Levanto em consideração o custo benefício da mesma.

Tabela 2 – Tabela A-7 – comprimento de ancoragem (cm) para aço CA-50 nervurado.

COMPRIMENTO DE ANCORAGEM (cm) PARA $A_{s,ef} = A_{s,calc}$ CA-50 nervurado

ϕ (mm)	Concreto															
	C15		C20		C25		C30		C35		C40		C45		C50	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
6,3	48	33	39	28	34	24	30	21	27	19	25	17	23	16	21	15
	33	23	28	19	24	17	21	15	19	13	17	12	16	11	15	10
8	61	42	50	35	43	30	38	27	34	24	31	22	29	20	27	19
	42	30	35	24	30	21	27	19	24	17	22	15	20	14	19	13
10	76	53	62	44	54	38	48	33	43	30	39	28	36	25	34	24
	53	37	44	31	38	26	33	23	30	21	28	19	25	18	24	17
12,5	95	66	78	55	67	47	60	42	54	38	49	34	45	32	42	30
	66	46	55	38	47	33	42	29	38	26	34	24	32	22	30	21
16	121	85	100	70	86	60	76	53	69	48	63	44	58	41	54	38
	85	59	70	49	60	42	53	37	48	34	44	31	41	29	38	27
20	151	106	125	87	108	75	95	67	86	60	79	55	73	51	68	47
	106	74	87	61	75	53	67	47	60	42	55	39	51	36	47	33
22,5	170	119	141	98	121	85	107	75	97	68	89	62	82	57	76	53
	119	83	98	69	85	59	75	53	68	47	62	43	57	40	53	37
25	189	132	156	109	135	94	119	83	108	75	98	69	91	64	85	59
	132	93	109	76	94	66	83	58	75	53	69	48	64	45	59	42
32	242	169	200	140	172	121	152	107	138	96	126	88	116	81	108	76
	169	119	140	98	121	84	107	75	96	67	88	62	81	57	76	53
40	329	230	271	190	234	164	207	145	187	131	171	120	158	111	147	103
	230	161	190	133	164	115	145	102	131	92	120	84	111	77	103	72

Valores de acordo com a NBR 6118.

Nº Superior: Má Aderência ; Nº Inferior: Boa Aderência

Sem e Com indicam sem ou com gancho na extremidade da barra

$A_{s,ef}$ = área de armadura efetiva ; $A_{s,calc}$ = área de armadura calculada

O comprimento de ancoragem deve ser maior do que o comprimento mínimo: $\ell_{s,min} \geq \begin{cases} 0,3 \ell_b \\ 10 \phi \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$

$\gamma_s = 1,4$; $\gamma_s = 1,15$

Fonte: NBR 6118/14.

Tabela 3 – Tabela A-11 – área de armadura por metro de largura (cm²/m).

ÁREA DE ARMADURA POR METRO DE LARGURA (cm ² /m)						
Espaçamento (cm)	Diâmetro Nominal (mm)					
	4,2	5	6,3	8	10	12,5
5	2,77	4,00	6,30	10,00	16,00	25,00
5,5	2,52	3,64	5,73	9,09	14,55	22,73
6	2,31	3,33	5,25	8,33	13,33	20,83
6,5	2,13	3,08	4,85	7,69	12,31	19,23
7	1,98	2,86	4,50	7,14	11,43	17,86
7,5	1,85	2,67	4,20	6,67	10,67	16,67
8	1,73	2,50	3,94	6,25	10,00	15,63
8,5	1,63	2,35	3,71	5,88	9,41	14,71
9	1,54	2,22	3,50	5,56	8,89	13,89
9,5	1,46	2,11	3,32	5,26	8,42	13,16
10	1,39	2,00	3,15	5,00	8,00	12,50
11	1,26	1,82	2,86	4,55	7,27	11,36
12	1,15	1,67	2,62	4,17	6,67	10,42
12,5	1,11	1,60	2,52	4,00	6,40	10,00
13	1,07	1,54	2,42	3,85	6,15	9,62
14	0,99	1,43	2,25	3,57	5,71	8,93
15	0,92	1,33	2,10	3,33	5,33	8,33
16	0,87	1,25	1,97	3,13	5,00	7,81
17	0,81	1,18	1,85	2,94	4,71	7,35
17,5	0,79	1,14	1,80	2,86	4,57	7,14
18	0,77	1,11	1,75	2,78	4,44	6,94
19	0,73	1,05	1,66	2,63	4,21	6,58
20	0,69	1,00	1,58	2,50	4,00	6,25
22	0,63	0,91	1,43	2,27	3,64	5,68
24	0,58	0,83	1,31	2,08	3,33	5,21
25	0,55	0,80	1,26	2,00	3,20	5,00
26	0,53	0,77	1,21	1,92	3,08	4,81
28	0,49	0,71	1,12	1,79	2,86	4,46
30	0,46	0,67	1,05	1,67	2,67	4,17
33	0,42	0,61	0,95	1,52	2,42	3,79

Elaborada por PINHEIRO (1994)
Diâmetros especificados pela NBR 7480.

Fonte: Pinheiro, 1994.

CONCLUSÃO

O projetista pode definir a melhor maneira de otimizar e manter a segurança do seu projeto, levando em consideração o dimensionamento das estruturas, o tipo de solo e custo/benefício, assegurando a segurança do projeto, fazendo a escolha da fundação tipo sapata. Como analisada no decorrer desse estudo podemos notar que a facilidade de manejo e

adequação da mesma no canteiro de obras e sua viabilidade econômica facilitando sua escolha.

O melhor tipo de fundação é aquele que suporta as cargas da estrutura com segurança e se adéqua aos fatores topográficos, maciço de solos, aspectos técnicos e econômicos, sem afetar a integridade das construções vizinhas.

É importante destacar que para o uso das fundações rasas na construção de obras residenciais unifamiliar, além do projeto, deve haver o acompanhamento de um profissional habilitado um Engenheiro Civil, para evitar possíveis danos com relação ao processo de execução do projeto. A importância do desenvolvimento da fundação sapata está relacionada tanto com o acompanhamento de profissionais, mas também dos estudos de solo para evitar falhas.

Jamais se deve iniciar uma obra e se iludir com possíveis economia com relação a materiais utilizados e qualidade de materiais, pois, ao tentar efetuar uma economia seja ela qual for com relação as especificações recomendadas tanto pelo responsável da obra “o engenheiro civil” como pelas normas que regulamentam a execução do projeto. Segundo BRITO (1987) apud MELHADO et al (2002) “Fundações bem projetadas correspondem de 3% a 10% do custo total da edificação. Porém se forem mal concebidas e mal projetadas, podem atingir de 5 a 10 vezes o custo da solução mais apropriada para o caso”. Seguindo o ponto de partida de que um projeto deve ser elaborado e executado desde as fundações com muita seriedade evitando o máximo de erros e falhas de execução para evitar futuro aborrecimento no final do projeto, as fundações são o ponto chave do projeto um erro pode levar ao colapso estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 1.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de fundações. NBR 6122, ABNT, 2010, 91p.
2. 2.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. NBR 6118, ABNT, 2014, 238p.
3. 3.HACHICH, W.; FALCONI, F.F.; SAES, J.L.; FROTA, R.G.Q.; CARVALHO, C.S.; NIYAMA, S. Fundações – Teoria e prática. São Paulo, Ed. Pini, ABMS/ABEF, 2ª. ed., 2000, 751p
4. 4.<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas>.
5. CAMPOS, J.C. Elementos de fundações em concreto. São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2015, 542p.
6. BASTOS, P.S.S. Dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante. Disciplina 2123 –Estruturas de Concreto II. Bauru/SP, Departamento Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia -Universidade Estadual Paulista (UNESP),abr/2015,74p.Acessoem: http://www.feb.unesp.br/pbastos/pag_concreto2.htm