

COMPARAÇÃO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS E PROFUNDAS: ESTUDO DE CASO EM SÃO LUÍS - MA

Lauro Mandela Silva Cruz (UFMA) E-mail: lauro.mandela@discente.ufma.br

Rodrigo da Cruz Araujo (UFMA) E-mail: araujo.rodrigo@ufma.br

Resumo: Ao projetar uma edificação, é essencial que o engenheiro tenha em mente o seu porte, tipo de solo onde será construída e cargas atuantes. As fundações são, portanto, componentes primordiais do projeto, descarregando as cargas provenientes da superestrutura no solo. Dessa forma, é comum que seja realizado um dimensionamento preliminar através de métodos teóricos ou semi-empíricos, baseados principalmente em ensaios geotécnicos. O presente trabalho propõe-se a dimensionar e comparar aspectos como viabilidade técnica e financeira dos tipos de fundações mais utilizadas na construção civil, voltados para uma construção localizada no campus da Universidade Federal do Maranhão, Vila Bacanga – São Luís, Maranhão. Assim, realizou-se a revisão bibliográfica de trabalhos relacionados à temática, bem como a escolha de métodos de cálculo de capacidade de carga específicos para cada tipo de fundação e já consagrados na construção civil. Para caracterizar o solo do local foi feita a análise dos boletins de sondagem e de parâmetros geotécnicos conhecidos na literatura. Constata-se que para esse estudo de caso o dimensionamento de fundações superficiais mostrou-se mais vantajoso financeiramente e as fundações profundas mesmo apresentando custo mais elevado, possuem vantagem técnica.

Palavras-chave: Dimensionamento de fundações, Fundações Superficiais, Fundações Profundas, Métodos Semi-Empíricos, Comparativo Técnico-Financeiro.

COMPARISON OF TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SHALLOW AND DEEP FOUNDATIONS: STUDY CASE IN SÃO LUÍS - MA

Abstract: When designing a building, it is essential that the engineer has in mind its size, type of soil where it will be built and active loads. The foundations are, therefore, essential components of the project, unloading the loads coming from the superstructure in the soil. Thus, it is common to carry out a preliminary design using theoretical or semi-empirical methods, based mainly on geotechnical tests. This paper proposes to dimension and compare aspects such as technical and financial viability of the types of foundations most used in civil construction, focused on a construction located on the campus of the Federal University of Maranhão, Vila Bacanga - São Luís, Maranhão. Thus, a bibliographic review of works related to the theme was carried out, as well as the choice of methods of calculating specific load capacity for each type of foundation already established in civil construction. In order to characterize the soil of the site, the analysis of the drilling reports and geotechnical parameters known in the literature was carried out. It appears that for this case study the dimensioning of superficial foundations proved to be more financially advantageous and deep foundations, even presenting a higher cost, have technical advantage.

Keywords: Design of Foundations, Superficial Foundations, Deep Foundations, Semi-Empirical Methods, Technical-Financial Comparison.

1. Introdução

Projetar uma estrutura significa estudar a associação entre seus elementos e prepará-los para suportar os diferentes esforços a que serão submetidos. Na construção civil, um desses elementos estruturais são as fundações, que resultam da necessidade de transmissão de cargas ao solo pela construção de uma estrutura. Seu comportamento em longo prazo pode ser afetado por inúmeros fatores como conhecimento do solo, processos construtivos e até efeitos pós-implantação (MILITITISKY et al., 2015; MORAES, 1976).

Na etapa de fundação os aspectos geotécnicos são importantíssimos, tendo em vista que são os elementos responsáveis por sustentar e garantir estabilidade a toda a estrutura, sendo assim, é muito importante ter o máximo de informações possíveis sobre o subsolo e as cargas da superestrutura para evitar erros de projeto. Além disso, o mercado da construção civil oferece uma variedade cada vez maior de estruturas designadas para fundações, por isso é essencial saber como aplicá-las em um projeto e dimensioná-las de acordo com as normas, teorias e condições físicas do solo.

Para Hachich et al. (1998) os requisitos a que um projeto de fundação deve atender são: deformações aceitáveis sob condições de trabalho, segurança ao colapso do solo e segurança ao colapso dos elementos estruturais. Nesse contexto é interessante estudar mais de uma alternativa de fundação e além de levar em consideração os fatores citados, comparar também fatores como custos e prazos de execução.

O projeto de fundações de uma estrutura compreende de 3% a 7% do custo inicial de uma obra (JOPPERT JR., 2007). Além disso, é uma etapa primordial da construção, pois está ligada ao desempenho estrutural da edificação. Dependendo das características físicas do solo haverá um tipo de fundação que será mais vantajosa para transmitir as tensões, caberá ao engenheiro verificar qual tipo de estrutura apresenta viabilidade técnica mais adequada para o caso, bem como as restrições de cada tipo.

A busca por novos métodos e equipamentos para executar fundações de forma otimizada possibilitou a evolução da engenharia de fundações, portanto há um crescente estudo nessa área, no que diz respeito à sua utilização. É essencial buscar o procedimento mais eficaz para a escolha da fundação que será parte do conjunto estrutural, e para isso deve-se estar a par de todos os fatores que influenciam essa escolha, sejam eles estruturais ou econômicos.

A escolha equivocada do tipo de fundação pode gerar gastos extras com reforços e recuperação estrutural, além de ocasionar fatalidades, por isso, é indispensável analisar com cuidado todos os dados ligados ao subsolo, resistência do solo, entre outros fatores que serão responsáveis por determinar o tipo de fundação que será executada.

Este trabalho busca apresentar e comparar aspectos como viabilidade técnica e financeira dos tipos de fundações mais utilizadas na construção civil. A partir de dados obtidos por meio de boletins de sondagem de um terreno na Universidade Federal do Maranhão, o objetivo é avaliar qual tipo de fundação melhor se adequa às características geotécnicas do local.

2. Referencial Teórico

Para o adequado desenvolvimento do trabalho, primeiramente é necessário entender o que são estruturas de fundações e seus tipos, os métodos de dimensionamento de fundações e critérios de escolha de fundações para projeto. Esses temas serão interligados com o intuito de realizar um estudo comparativo acerca do tipo fundação mais viável a ser implementado.

2.1. Estruturas de Fundações

Conforme a NBR 6122 (ABNT, 2019), estruturas de fundações são elementos em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pela base ou pelas superfícies laterais. Constituem-se em um dos principais elementos de uma construção, responsáveis por suportar tensões geradas por esforços solicitantes da estrutura. Trabalham junto ao solo e não devem apresentar grandes deformações ou recalques.

Moraes (1976) considera que um dos primeiros cuidados de um projetista de fundações deve ser o emprego da terminologia correta. As fundações são convenientemente separadas em dois grandes grupos: Fundações superficiais (ou “diretas” ou rasas), em que a carga é transmitida ao terreno predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação; e Fundações profundas, que de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), fundações profundas são aquelas que recebem a carga proveniente da superestrutura e descarregam no solo pela sua base, pelas suas paredes laterais ou por uma combinação das duas.

As fundações, como qualquer outra parte de uma estrutura, devem ser projetadas e executadas para garantir, sob a ação das cargas em serviço, as condições mínimas, que são: segurança, funcionalidade e durabilidade. Portanto, sua escolha deve ser feita após a constatação de que ela satisfaz condições técnicas e econômicas da obra em apreço (ALONSO, 1983, 1991).

De modo geral, o responsável pelo projeto de estruturas repassa as cargas atuantes para o projetista de fundações que são confrontadas com as características do solo, para então calcular os deslocamentos e recalques gerados, assim, o projeto de fundações sucede o projeto de estruturas (MANUAL DE ESTRUTURAS DA ABCP, 2002?).

O projetista de fundações para adotar a melhor solução deve conhecer as características da superestrutura. Podemos então de forma rápida, além de outros dados, dizer que são necessárias as seguintes informações técnicas para elaboração de um projeto de fundações: características do solo, carregamentos atuantes, características da superestrutura, recalques provocados no solo de apoio, efeitos sobre fundações vizinhas. (MORAES, 1976, p. 28)

É de suma importância desenvolver estes conceitos iniciais para em seguida classificar o tipo fundação que será utilizada (SAVES, 2011). Para Alonso (1991), “o bom desempenho está intimamente ligado ao controle e à garantia da qualidade impostos pelas equipes envolvidas com o projeto e a execução da fundação”.

Em todo caso, deve-se considerar há sempre incertezas devido ao fato de que o solo não é um material criado pelo homem, suas nuances são determinadas pela natureza. Essa variabilidade é refletida diretamente nas fundações, cujo custo normalmente situa-se entre 3 a 6% do custo da obra, em casos especiais pode chegar a porcentagens superiores como 10 a 15% do custo global (ALONSO, 1991; MILITITISKY et al., 2008; REBELLO, 2008).

2.2. Escolha do Tipo de Fundação

A escolha da solução de fundação mais adequada para uma determinada condição de projeto deve ser norteada por fatores técnicos e econômicos; é, portanto, necessário e fundamental o conhecimento das características do solo onde ela vai acomodar-se e dos carregamentos que serão transferidos pelos elementos da fundação ao solo. São diversas as variáveis a serem consideradas, e muitas vezes o projetista deve utilizar sua experiência. Em casos mais complexos os principais itens a serem considerados são: topografia da área, características do maciço do solo e dados da estrutura (MANUAL DE ESTRUTURAS DA ABCP, 2002?; MORAES, 1976; REBELLO, 2008).

De forma geral, é interessante proceder-se a um estudo de alternativas e fazer a escolha com base em menor custo e menor prazo de execução e em fatores de projeto como características geotécnicas do local, da grandeza das cargas, da responsabilidade da obra e outras (ALONSO, 1991; HACHICH, 1998).

2.3. Capacidade de Carga

“Definimos como capacidade de carga de uma fundação direta a resistência máxima mobilizável pelo maciço de solo no contato com a base do elemento de fundação, ou seja, a tensão que provoca a ruptura do maciço de solo” (CINTRA, AOKI e ALBIERO, 2011). Segundo Velloso e Lopes (2012), uma sapata de dimensão B assente num solo e submetida a uma determinada carga está sujeita a três fases de deslocamento: elástica, plástica e uma última em que a velocidade de recalque deixa de ser constante e passa a ser crescente, causando a ruptura do solo. Em outras palavras, nessa última a fundação atingiu seu limite de resistência ou capacidade de carga na ruptura. Nesse trabalho, os métodos utilizados para cálculo da capacidade de carga serão: Método de Terzaghi (1943), Proposição de Vesic (1975), Método de Aoki-Velloso (1975), sendo os dois primeiros para análise da opção por fundações superficiais e o último para a opção por estaca.

2.3.1. Método de Terzaghi (1943)

Terzaghi (1943) propôs uma estimativa da tensão de ruptura para solos cuja ruptura seja do tipo generalizada, comum em solos argilosos nos quais a consistência seja de média a rija e solos arenosos de consistência compacta a muito compacta. Para isso, elaborou ainda a seguinte metodologia:

- a) Trata-se de uma sapata corrida, simplificando o problema para um caso bidimensional;
- b) A profundidade de embutimento da sapata é inferior à largura da sapata, o que nos permite desprezar a resistência ao cisalhamento da camada de solo situada acima da sapata;
- c) O maciço de solo sob a base da sapata é rígido, caracterizando o caso de ruptura geral.

Como não foi possível obter uma solução considerando o efeito do empuxo do solo gerado pela sobrecarga, Terzaghi e Peck (1967 apud SENA, 2016) desenvolveram uma metodologia em que se generalizavam casos particulares através da superposição de efeitos. Os casos são: (a) solo sem peso e sapata à superfície, (b) solo não coesivo e sem peso, (c) solo não coesivo e sapata à superfície.

A superposição de efeitos dos três casos é apresentada na equação 1, para a capacidade de carga de sapatas corridas:

$$q_r = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma B N_c S_\gamma \quad (1)$$

onde:

q_r = tensão de ruptura do solo;

q = tensão efetiva na cota de assentamento;

B = menor dimensão da sapata;

γ = peso específico do solo;

N_c, N_q, N_γ = fatores de capacidade de carga;

S_c, S_q, S_γ = fatores de forma;

2.3.2. Proposição de Vesic (1975)

Vesic (1975) apresentou mudanças nos fatores de forma e capacidade de carga da equação de Terzaghi, válidas para o caso de ruptura geral, onde os solos são mais resistentes e sofrem menor deformação.

Os fatores de forma da são determinados de acordo com tabela 1:

Tabela 1 – Fatores de forma de Vesic

Forma da base	S_c	S_q	S_γ
Corrida	1	1	1
Retangular	$1+(B'/L')(N_q/N_c)$	$1+(B'/L')\text{tg}\phi$	$1-0,4B'/L'$
Circular e quadrada	$1+(N_q/N_c)$	$1+\text{tg}\phi$	0,6

Fonte: Vesic (1975)

2.3.3. Método de Aoki-Velloso (1975)

Conforme Cintra e Aoki (2010), nesse método as incógnitas r_p e r_L são correlacionadas com ensaios de penetração estática (CPT), todavia, como o CPT não é empregado tanto quanto o SPT, as variáveis podem ser escritas em função do índice N_{SPT} . Portanto, a capacidade de carga (R) de um elemento isolado de fundação profunda pode ser estimado pela fórmula semi-empírica expressa na equação 2:

$$R = \frac{K N_p}{F_1} A_p + \frac{u}{F_2} \sum_1^n (\alpha K N_L \Delta_L) \quad (19)$$

onde:

K é um coeficiente que depende do solo;

N_p é o índice N_{SPT} na cota de apoio da ponta da estaca;

F_1 é o fator de correção que leva em conta o efeito escala e o tipo de estaca;

α é a razão de atrito;

N_L é o índice N_{SPT} médio na camada de solo de espessura Δ_L ;

F_2 é o fator de correção que leva em conta o efeito escala e o tipo de estaca;

3. Metodologia

Este projeto além de ser caracterizado como um estudo de caso em que serão consultados

materiais referentes ao solo de um local da UFMA, também possui caráter de pesquisa exploratória, uma vez que foi feito levantamento bibliográfico para embasar a análise em questão.

A primeira etapa do trabalho consiste na revisão bibliográfica relacionada ao assunto com o objetivo de embasar o estudo de caso. O material consultado inclui livros, monografias, teses, artigos, normas técnicas, entre outros.

Na segunda etapa obtém-se os boletins de sondagem e locação dos ensaios. A análise dos perfis de solo e seleção dos tipos de fundação que atendem aos requisitos estabelecidos será feita na terceira etapa.

Na quarta etapa será feito o dimensionamento das fundações e por fim, na quinta etapa, será feita a comparação entre as fundações, análise de custo, análise de viabilidade técnica com o objetivo de determinar o elemento mais viável.

3.1 Informações da Estrutura

A estrutura na qual a fundação está sendo dimensionada é um prédio de quatro pavimentos mais o subsolo que servirá de Instituto de Engenharia da Universidade Federal do Maranhão.

Para este trabalho não foi possível a obtenção do projeto estrutural do prédio, que possibilitaria o cálculo das cargas transmitidas às fundações. Por esse motivo utilizou-se o projeto arquitetônico, que será a base do dimensionamento e do cálculo das cargas transmitidas aos pilares e finalmente às fundações.

A obra para a qual o projeto de fundações está sendo desenvolvido localiza-se no campus da Universidade Federal do Maranhão, Vila Bacanga – São Luís, Maranhão.

A empresa FRANCO ENGENHARIA foi responsável pelos serviços de sondagem SPT da área, executando cinco furos para averiguar o perfil geotécnico do solo, identificação do nível do lençol freático e demais informações. O ensaio realizado no furo 5, conforme figura 1, foi o escolhido para ser utilizado nos cálculos de capacidade de carga, pois possui o menor valor de N_{SPT} , o que é favorável a segurança, uma vez que as fundações estarão sendo avaliadas para a condição mais desfavorável.

Como o prédio apresenta junta de dilatação, o dimensionamento das sapatas será feito levando em consideração o lado do prédio com subsolo, que é onde foi executado o furo 05. São 38 pilares distribuídos ao longo de quatro pavimentos e cobertura. Pelo fato de possuir somente o projeto arquitetônico da edificação, sem memorial estrutural (cargas, tipos de vigas, pilares, fundações) foi feita uma estimativa de cargas por pilar através da NBR 6120:2019, que considera um valor de carga distribuída para cada ambiente da estrutura, material construtivo utilizado, ocupação e afins.

Feito o levantamento de todos os ambientes de cada um dos pavimentos, multiplicou-se o valor da carga distribuída pela área dos mesmos, resultando num valor de carga total do pavimento. Para o caso da cobertura, considerou-se apenas o material utilizado e sua massa específica. A soma de cada uma dessas cargas foi dividida pelo número de pilares e assim foi obtida a carga aproximada que cada pilar da edificação recebe.

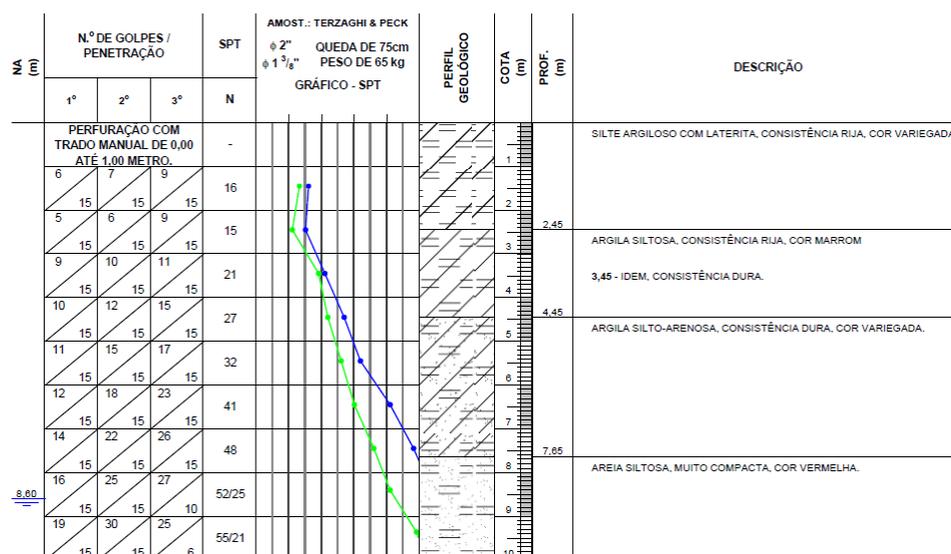


Figura 1 - Relatório de sondagem SPT do furo 05

3.2. Condições do Subsolo

Como foi possível notar através dos laudos, as camadas do solo possuem resistência considerável para receber fundações diretas. Sabe-se que fundações diretas podem ser economicamente viáveis se o número de golpes SPT for maior ou igual a 8 e a profundidade não ultrapassar 2 metros. Em todos os furos, até a cota de -2 m, o índice N_{SPT} é maior que 8, sendo assim possível executar as fundações diretas. Dos cinco furos, o furo 05 que apresenta a menor resistência de todos com $N_{SPT} = 16$, a 2 metros de profundidade. Portanto iremos utilizar os dados dele, em favor da segurança. As sapatas serão apoiadas à cota de -2 metros.

Em posse do N_{SPT} e através de correlação foi possível calcular a tensão admissível, que em seguida foi utilizada para calcular a área de fundação necessária para resistir a tais solicitações. Com todos estes valores já é possível realizar uma análise de viabilidade de fundações superficiais a partir da capacidade de carga.

Para efeito de comparação a capacidade de carga foi calculada utilizando tanto o método de Terzaghi como Vesic, assim como tensão admissível, carga de ruptura e carga admissível.

A escolha do tipo de estaca, segundo Cintra e Aoki (2010) deve levar em conta dados como sondagens SPT, cargas de pilar, porte da estrutura e entre outros. Outro fator muito importante para guiar o dimensionamento é a carga de catálogo das estacas (ou carga máxima), que serão utilizadas para orientar qual tipo de estaca será utilizada, bem como sua resistência.

De posse de dados como carga média de pilares e perfis de sondagem SPT, utilizou-se a tabela de Velloso e Lopes (2012) para nortear a escolha da estaca por sua seção transversal (cm) e carga máxima (kN). A escolha foi feita comparando-se o valor da carga média do pilar com a carga a carga usual da estaca, onde o primeiro não deve ultrapassar o segundo.

Neste caso optou-se pelos métodos de Aoki-Velloso para determinação da capacidade de carga e carga admissível de estacas. Foi utilizado o relatório de sondagem do furo 05, assim como feito para as fundações superficiais. Após obter os dados citados anteriormente, também foi elaborado um orçamento preliminar para se ter uma ideia de qual dos métodos poderia ser mais vantajoso economicamente entre si e em relação as fundações superficiais.

4. Resultados

A fim de verificar a viabilidade técnica e comparar aspectos econômicos, conforme já mencionado, realizou-se a análise de capacidade de carga para fundações superficiais e profundas (estacas).

4.1. Fundações Superficiais

Através da correlação empírica

$$\sigma = N_{spt}/50$$

com $N_{spt} = 16$, foi obtido que a tensão admissível inicial é de 320 KPa. A área da sapata necessária para resistir a uma carga de 1097,17 kN é então:

$$A = 1097,17/320$$

$$A = 3,43 \text{ m}^2$$

Considerando-se a sapata como quadrada, a medida do lado seria de 1,85 m, porém, construtivamente esse valor é inviável, então escolhe-se uma medida de 1,80 m. Escolhendo o lado com 1,80 m deve-se avaliar se esse valor atende o cálculo de capacidade de carga.

A partir do resultado do N_{spt} , estimou-se que a coesão do solo é de 160 KPa, e como o solo onde a sapata está apoiada é um silte argiloso, admitiu-se que o ângulo de atrito nesse caso é 0. Outro dado importante é o peso específico, que, baseado na camada de silte argiloso de consistência rija foi estimado em 19 kN/m³.

Por meio dos referidos métodos teóricos, calculou-se a capacidade de carga para Terzaghi e Vesic. A tabela 2 apresenta os fatores de capacidade, de forma e a capacidade de carga obtida.

Tabela 2 – Fatores de Capacidade, de forma e carga de ruptura para métodos teóricos

	Fatores de Capacidade			Fatores de Forma			grup (kPa)
	Nc	Nq	N _v	Sc	Sq	S _v	
Terzaghi	5,7	1,0	0	1,3	1,0	0,8	1223,6
Vesic	5,14	1,0	0	1,2	1,0	0,6	1024,8

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2. Fundações Profundas

A carga por pilar obtida pela estimativa é de 1097,17 kN. Como a carga de catálogo da estaca deve ser maior que a carga média por pilar, a escolha é guiada segundo os valores da tabela 3:

Tabela 1 - Carga de Catálogo para estacas pré-moldadas de concreto

Tipo de Estaca	Dimensão (cm)	Carga Usual (kN)	Carga Máxima (kN)
----------------	---------------	------------------	-------------------

Pré-moldada vibrada, de concreto armado, quadrada maciça. $\sigma = 6$ a 10 Mpa	20x20	250	400
	25x25	400	600
	30x30	550	900
	35x35	750	1200

Fonte: Velloso e Lopes, 2012

Após pesquisa de mercado, foram encontrados fornecedores cujos valores condizem com a tabela 3. Em relação a tabela 16, a empresa informou que fornece estacas pré-moldadas de seção quadrada 30x30 cm. Escolhendo essa opção leva-se em conta a carga usual de 550 kN, ou seja, para suportar o valor de 1097,17 kN advindo da superestrutura serão necessárias duas estacas por pilar, totalizando 1100 kN.

Para o método de Aoki-Velloso e com base no ensaio SPT, obteve-se os valores de K e de α que são tabelados e constam em literatura.

Os parâmetros F_1 e F_2 foram calculados para uma estaca com seção $D = 0,30$ m, assim:

$$F_1 = 1 + 0,30/0,8 = 1,375$$

$$F_2 = 2 * F_1 = 2,75$$

De posse desses parâmetros e do boletim de sondagem foi possível calcular a carga admissível da estaca. Os resultados são descritos na tabela 4:

Tabela 4 - Carga admissível da estaca pelo método de Aoki-Velloso

Tipo de Solo	Nspt	QL acumulada (KN)	QP (KN)	Qrup (KN)
Silte Argiloso	16	54,60	240,87	295,47
Silte Argiloso	15	77,63	225,82	303,45
Argila Siltosa	21	202,63	302,4	505,03
Argila Siltosa	27	249,28	388,8	638,08
Argila Silto-arenosa	32	463,55	691,2	1154,75
Argila Silto-arenosa	41	-	885,6	1349,15
Argila Silto-arenosa	48	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

A carga de ruptura resulta da soma das respectivas resistências, 463,55 kN e 885,6 kN. A carga admissível de 674,58 kN é obtida dividindo a carga de ruptura de 1349,15 kN por um fator de segurança igual a 2,0.

A análise dos dados da tabela demonstra que a uma profundidade de 6,0 metros o valor da carga admissível da estaca é superior a carga usual, de 550 kN. Portanto, para duas estacas pré-moldadas de seção quadrada 30x30 cm o comprimento ideal para que elas suportem a carga de um pilar é de 6,0 metros e carga admissível total de 1349,16 kN, valor superior aos 1097,17 kN advindos da superestrutura.

4.3 Orçamento Preliminar

A partir dos resultados obtidos, foi realizado um orçamento preliminar para cada uma das opções encontradas.

4.3.1 Orçamento das Sapatas

Utilizando o banco de dados do SINAPI 2021 referente ao estado do Maranhão, disponibilizado pela Caixa Econômica Federal foi elaborado um orçamento básico para os dois tipos de fundações aqui abordados.

No caso das fundações superficiais foi levado em conta o volume de concreto e o item escavações, dois dos itens que mais incidem no custo final de execução. Durante a elaboração da composição para escavação, quando comparou-se entre manual e mecânica, a segunda se mostrou mais vantajosa, sendo essa a escolhida. Para a fabricação de concreto estrutural o volume de 73,8 m³ foi obtido levando em consideração que são 38 sapatas de 1,8x1,8x0,6 m. As composições encontram-se na tabela 6 e 7.

Tabela 6 - Composição de escavação mecanizada para sapatas

ESCAVAÇÃO MECANIZADA PARA SAPATA, COM PREVISÃO DE FÔRMA, COM RETROESCAVADEIRA					
Insumo	Unidade	Índice	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)	Custo Total p/ 73,8 m ³ (R\$)
RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS - CHP DIURNO	CHP	0,208	91,72	19,08	1407,938688
RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS - CHI DIURNO	CHI	0,085	38,25	3,25	239,94225
PEDREIRO	H	0,225	18,47	4,16	306,69435
SERVENTE	H	0,161	13,7	2,21	162,78066
TOTAL				28,69	2117,35

Fonte: SINAPI – Índices da Construção Civil (2021)

Tabela 7 - Composição de concreto estrutural

Insumo	Unidade	Índice	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)	Custo Total p/ 73,8 m ³ (R\$)
Cimento CP II	Kg	355,88	0,7	249,12	18384,76
Areia Média	m ³	0,006	47,5	0,29	21,03
Brita 1	m ³	0,8252	66,56	54,93	4053,49
Brita 2	m ³	0,015	66,91	1,00	74,07
Pedreiro	h	0,975	15,54	15,15	1118,18
Servente	h	0,197	10,95	2,16	159,20
Betoneira	Un	0,000064	4275	0,27	20,19
Total				322,91	23830,92

Fonte: Elabora pelo autor através de consulta ao SINAPI

De acordo com as tabelas exibidas, o custo básico para execução das 38 sapatas seria de R\$ 25948,27. No caso das fundações superficiais calculadas neste trabalho, o orçamento não possui influência dos métodos de cálculo empregados, somente do quantitativo.

4.3.2 Orçamento das Estacas

Por meio de orçamento levantado por pesquisa de mercado chegou-se a uma estimativa de custo das estacas calculadas pelos métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma. A empresa consultada informa que o no caso de estacas pré-moldadas de seção quadrada 30x30 cm o valor para 1,0 metro é de R\$ 320,00. Sabendo que são 38 pilares e cada pilar deverá receber duas estacas, verifica-se que o total de estacas é igual a 76.

Pelos resultados obtidos no método de Aoki-Velloso cada estaca deve possuir 6 metros de comprimento, então, a metragem total é de 456 metros de estaca. Por esses dados o custo total para este método seria de R\$ 145.920,00.

5. Conclusões

Os resultados obtidos pelos métodos de Terzaghi e Vesic para obtenção da capacidade de carga e carga admissível das fundações superficiais quando comparados mostram que o primeiro método apresenta valores um pouco mais altos que o segundo. Para a capacidade de carga no método de Terzaghi foi encontrado 1223,6 kPa e a carga admissível é de 1321,49 kN, sendo este último superior ao valor da carga transmitida pelos pilares de 1097,17 kN. Em ambos os métodos o valor de carga admissível ultrapassa a carga dos pilares, porém por questão de segurança o dimensionamento através do método de Terzaghi mostrou-se mais vantajoso nesse quesito.

Para as fundações profundas, o método de Aoki-Velloso estima a necessidade de duas estacas com comprimento de 6m, com carga admissível total de ambas totalizando 1349,16 kPa e atinge valor superior a carga dos pilares. Para essa alternativa de fundações o custo total seria de R\$ 145.920,00.

Comparando os orçamentos entre as fundações superficiais e profundas temos que para o primeiro caso o valor é de R\$ 25948,27 e no segundo o mais econômico é R\$ 145.920,00. Economicamente a execução de sapatas é a mais viável, quanto a fatores técnicos também se mostra mais vantajoso pois sabe-se que para a execução de estacas ainda se leva em conta equipamentos pesados como bate-estaca e mão de obra especializada, o que encareceria o valor final.

O orçamento das fundações superficiais não levou em conta o tempo de execução e nem a quantidade de mão-de-obra necessária, porém é de se imaginar que o tempo de execução seria prolongado para 38 sapatas que necessitam de fôrmas, armaduras, controle de qualidade e tempo de cura do concreto. Como as estacas escolhidas são pré-fabricadas, dispensa-se o gasto com concreto e a mão-de-obra seria muito menor e responsável em boa parte por operação de maquinário.

Como sugestão para estudos futuros pode-se citar a elaboração de orçamentos mais detalhados e que englobem todos os insumos utilizados na execução das fundações, possibilidade de uma solução mista para o projeto de fundações com sapatas para os pilares menos carregados e estacas em blocos para os pilares mais carregados.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120** – *Ações para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 2019.
- _____. **NBR 6122** – **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.
- ALONSO, U. R.** *Exercícios de fundações*. São Paulo: Edgar Blucher, 1983, 201 p.
- _____. *Previsão e controle das fundações*. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.
- CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.** *Fundações por estacas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.; ALBIERO, J.H.** *Fundações diretas*. São Paulo, Oficina de Textos. 2011.
- HACHICH, W. et al.** *Fundações: teoria e prática*. 2 ed. São Paulo: PINI, 1998.
- JOPPERT JUNIOR, I.** *Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução*. São Paulo: PINI, 2007.
- MANUAL de estruturas da ABCP**. São Paulo: ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, [2002?].
- MILITITISKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F.** *Patologia das fundações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- MORAES, M. C.** *Estruturas de fundações*. 3 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1976.
- REBELLO, Y. C. P.** *Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento*. 4 ed. São Paulo: Zigurate, 2008.
- SAVES, V.G.** *Estudo das fundações em estacas: tipos, cálculo, cuidados, execução*. São Carlos, 2011.
- SENA, LEONARDO.** *Estudo de caso sobre projeto de fundações por sapatas e por estacas*. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- SINAPI** – *Índices da Construção Civil*. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx> Acesso em 27 mar.2021.
- TERZAGHI, K.** *Theoretical Soil Mechanics*. New York, John Wiley & Sons, Inc. 1943.
- VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R.** *Fundações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- VESIC, A. S.** *Bearing capacity of shallow foundations*. Department of Civil Engineering, Duke University, 1975.