



Received:  
October 15, 2023

Accepted:  
October 23, 2023

Published:  
October 30, 2023

## Development of an interactive spreadsheet for foundation type determination

Fabiana Alves Martins<sup>1</sup> , Iandra Batista da Silva<sup>1</sup>  Danilo Bento Oliveira<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni-MG, Brasil

### Email address

fabiana.martins@ufvjm.edu.br (Fabiana A. Martins) – Corresponding author.

iandra.silva@ufvjm.edu.br (Iandra B. Silva)

danilo.oliveira@ufvjm.edu.br (Danilo B. Oliveira)

### Abstract

In Civil Engineering, the structural design, which includes foundations, columns, beams, and slabs, must be developed to ensure that the criteria for use and serviceability are met. Foundations, in particular, are responsible for transmitting the loads from the structure to the ground on which it is supported. In this regard, this work aims to present a tool in the form of an interactive and automated spreadsheet to assist in the selection of the type of foundation to be used in the project. Additionally, the factors that influence the choice of specific types of foundations will be discussed. The spreadsheet was created using Microsoft Excel, based on normative criteria and semi-empirical equations. The tool proved to be an efficient resource, facilitating the decision-making process. It is worth noting that each situation presents inherent peculiarities, making the foundation type selection process unique, and it is up to the designer to analyze them and make the appropriate choices.

**Keywords:** Foundations, Geotechnical investigation, Civil construction, Structural design.

## 1. Introdução

A qualidade dos processos construtivos está associada ao conceito de durabilidade, sendo este, atrelado ao conceito de vida útil. Para Zuchetti (2015), a durabilidade de uma edificação é baseada em um conjunto de procedimentos pré-determinados em fases preliminares do projeto, devendo o planejamento garantir segurança, estabilidade e desempenho adequado durante o período correspondente a sua vida útil. Na indústria civil, isso se dá a partir do aprimoramento no desenvolvimento da tecnologia da construção, concepção, cálculo, análise e detalhamento das estruturas.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2013), a vida útil pode ser descrita como o período que um edifício desempenha as atividades para as quais ele foi projetado, atendendo aos requisitos exigidos por normas técnicas vigentes. Durante esse período, a manutenção periódica da edificação é necessária a

fim de atender as necessidades e segurança dos usuários, garantindo conforto e estabilidade.

Para que isso seja possível, é imprescindível que o projetista esteja atento aos critérios e requisitos estabelecidos por norma, bem como as variáveis específicas de cada situação. Nesse sentido, conforme citado por Knappett e Craig (2014), é essencial que o projeto de qualquer edificação atenda ao Estado Limite Último (ELU), sendo este relacionado a instabilidade ou colapso da estrutura e o Estado Limite de Serviço (ELS), que envolve deformações excessivas, ou seja, é caracterizado pela perda de funcionalidade da estrutura. Sob essa perspectiva, o projeto estrutural deve ser devidamente elaborado para que estes critérios sejam garantidos a longo prazo.

O detalhamento da estrutura, sendo esta composta por fundações, pilares, vigas e lajes, é de fundamental importância para que estes elementos sejam projetados em conformidade aos critérios estabelecidos em normas para evitar possíveis ocorrências de danos à estrutura da edificação. Entre os diversos elementos estruturais, têm-se um

destaque para as fundações, uma vez que estas são responsáveis por transmitir as cargas da estrutura ao terreno em que está apoiada (Azeredo, 1997). Ou seja, as fundações devem ser capazes de suportar as cargas causadas pelos esforços solicitantes. Para que não haja a ruptura e, conseqüentemente, danos ao edifício é necessário que o solo seja capaz de suportar as cargas submetidas.

De acordo com Albuquerque e Garcia (2020), uma das etapas mais importantes da engenharia de fundações é a escolha do elemento estrutural a ser empregado em um projeto geotécnico. A execução dos elementos de fundação corresponde a uma parte fundamental na construção de uma obra de engenharia, uma vez que interfere diretamente na segurança, custo e prazo da obra. Portanto, é necessário que o tipo de fundação escolhida para ser utilizada no projeto atenda, primeiramente, as condições técnicas e, posteriormente, as condições econômicas da obra. De modo geral todos os tipos de fundações apresentam alguma limitação para sua utilização. Estas limitações podem ser decorrentes das características do solo, das dificuldades de execução *in loco*, a disponibilidade de equipamentos e mão de obra na região também condicionam o processo de escolha.

A fase de estudo de toda fundação é composta de duas partes distintas: o cálculo das cargas exercidas sobre a fundação e o estudo do terreno (Caputo e Caputo, 2022). Para tanto, existem alguns fatores que condicionam a escolha de determinados tipos de fundações, os quais necessitam ser analisados pelo responsável técnico para que o projeto elaborado seja coerente com as condições da situação. Uma vez que existem variações de custo, procedimento executivo, mão de obra disponível, características geográficas e regionais, em determinados projetos, essas particularidades inviabilizam a utilização de determinados tipos de fundações.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma planilha interativa que seja capaz de auxiliar na escolha quanto ao tipo de fundação a ser executada em uma edificação. Além disso, serão expostos os fatores condicionantes que o profissional técnico responsável deve analisar para determinar adequadamente o tipo de fundação. Considerando que existem diversas vertentes que interferem na escolha de determinados tipos de fundação, serão pontuadas as vantagens e limitações executivas, bem como as características referentes a cada tipo de fundação. Este trabalho foi redigido

com intuito de auxiliar profissionais, principalmente os com pouca experiência em campo, a se nortear na tomada de decisão, além de reunir informações técnicas sobre o tema em estudo.

## **2. Referencial teórico**

A partir do desenvolvimento da tecnologia na construção civil, a concepção, o cálculo, a análise e o detalhamento de estruturas permitiram maior controle na qualidade dos projetos de fundação. Para Souza e Santos (2014), fundação trata-se de um conjunto de elementos estruturais responsáveis pela transferência e distribuição de cargas para o solo. A fundação deve, portanto, resistir as tensões aplicadas, garantindo a segurança e a durabilidade da edificação.

Regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 6122/2022 apresenta termos, conceitos e requisitos acerca do projeto e execução de fundações. Nesse sentido, as fundações estão relacionadas ao desempenho de uma construção e podem ser classificadas em profundas ou superficiais (rasas ou diretas). As primeiras podem ser utilizadas quando há a necessidade de penetrar camadas profundas mais resistentes, enquanto as rasas são aquelas empregadas onde as camadas mais superficiais do solo imediatamente abaixo das estruturas são capazes de suportar os esforços solicitantes (Caputo e Caputo, 2022).

### **2.1. Fundações Profundas**

A NBR 6122 (ABNT, 2022) define fundação profunda como sendo um elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base, chamada resistência de ponta ou por sua superfície lateral, sendo esta denominada resistência de fuste ou ainda por uma combinação das duas. A norma prevê ainda que a ponta ou base deve ser apoiada a profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e ter comprimento de mínimo 3,0 m. Para o grupo de fundações profundas estão inclusas as estacas, tubulões e caixões

### **2.2. Fundações Superficiais**

Para Azeredo (1997), fundações superficiais são aquelas em que a carga da estrutura é transmitida as camadas do solo diretamente pela

base da fundação. A NBR 6122 (ABNT, 2022) define fundação superficial ou rasa como sendo um elemento de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes o menor lado da fundação. Neste tipo de fundação estão inclusas sapatas, blocos, radier e grelha.

### 2.3. Investigação Geotécnica

Para Danziger e Lopes (2021), uma etapa importante para elaboração e execução de um projeto de fundações é a coleta de dados. De forma a contemplar informações relevantes para garantir o bom desempenho da edificação, faz-se necessário o conhecimento das características do solo, verificação de construções vizinhas, analisar os aspectos topográficos e quais cargas serão transmitidas pela estrutura.

Partindo do pressuposto que o projeto de fundações deve garantir segurança e durabilidade visando economia, Knappett e Craig (2014) afirmam que a investigação adequada do solo é essencial para sua execução. Os autores compreendem que a partir das informações obtidas, é possível determinar as espessuras dos estratos do solo e sua composição química, bem como identificar o nível do lençol freático.

A investigação geotécnica deve ser capaz de fornecer parâmetros necessários para auxiliar na escolha quanto ao tipo mais apropriado de fundação a ser executada. Segundo Miranda (2015), a investigação preliminar baseia-se na escavação de furos de sondagem a percussão, sendo o Standard Penetration Test (SPT) o ensaio mais utilizado no Brasil.

Amplamente difundido no setor da construção civil, a investigação por sondagem permite a identificação de possíveis irregularidades a partir das condições do subsolo. O planejamento dos procedimentos a serem adotados possibilita maior controle durante a implantação da obra, sendo a investigação geotécnica responsável por minimizar erros de projeto, evitando custos elevados e não previstos (Miranda, 2015).

### 2.4. Escolha do tipo de fundação

Em um projeto geotécnico, a escolha quanto ao tipo de fundação a ser executada depende das técnicas construtivas dos elementos e qual a opção economicamente indicada para a obra (Albuquerque

e Garcia, 2020). Os autores propõem ainda que o uso de fundação rasa como elemento estrutural de uma edificação é economicamente viável quando a condição da equação (1) é atendida.

$$\frac{\sigma_{prédio}}{\sigma_{adm}} \leq \frac{2}{3} \quad (1)$$

Em que  $\sigma_{prédio}$  é a tensão admissível do prédio, calculada a partir da equação (2) e  $\sigma_{adm}$  é a tensão admissível, ambas dadas em kPa.

$$\sigma_{prédio} = n \times \sigma_{tip} \quad (2)$$

Onde  $n$  é o número de andares da edificação e  $\sigma_{tip}$  é a tensão média típica, sendo adotado o valor de  $12 \text{ kN/m}^2$  por andar. Em geral, as fundações rasas têm menor custo quando comparadas às fundações profundas, isso se dá devido ao menor gasto de materiais como o aço e o concreto. Além disso, a execução também influencia no valor da obra, uma vez que esse tipo de fundação requer menor profundidade de escavação. A equação (3) apresenta a tensão admissível mínima a ser empregada para atender a condição econômica:

$$\sigma_{adm(min)} = 1,5 \times n \times \sigma_{tip} \quad (3)$$

Em que  $\sigma_{adm(min)}$  é a tensão admissível mínima, dada em kPa. Além do aspecto econômico, o aspecto técnico tem influência na decisão quanto ao tipo de fundação a ser adotada, visto que a depender do tipo de solo, são necessários elementos estruturais que possam transmitir as cargas da estrutura a uma camada mais profunda e resistente (Caputo e Caputo, 2022).

De modo geral todos os tipos de fundações apresentam alguma limitação para sua utilização, seja para sua execução in loco, custo ou devido as características do solo. Na determinação da escolha da fundação a ser utilizada, deve-se levar em consideração as condições do subsolo e dos carregamentos para que seja empregada a solução economicamente mais viável. A Tabela (1) apresenta as limitações quanto ao uso dos tipos de fundações.

Tabela 1 – Limitação de uso dos diversos tipos de fundação (Albuquerque e Garcia, 2022).

Tipo de Fundação	Limitações de uso
Sapatas, sapatas corridas, blocos de fundação, radiers*	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Em solos potencialmente colapsíveis e com possibilidade do aumento do teor de umidade, o que pode ser um fator impeditivo para adoção desta solução</li> <li>- Abaixo do N.A. necessitam de esgotamento e/ou rebaixamento do lençol</li> <li>- Aterros não controlados e/ou de materiais não convencionais (resíduos)</li> </ul>
Tubulões a céu aberto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilidade das paredes da escavação, necessitando de revestimentos - Abaixo do N.A.</li> <li>- Operários não habilitados para a atividade (NR 18).</li> </ul>
Tubulões a ar comprimido	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo elevado</li> <li>- Limitados em profundidades elevadas abaixo do N.A. por causa da pressão de ar interna da câmara (campânula)</li> <li>- Operários não habilitados para a atividade (NR 18)</li> <li>- Doenças compressivas</li> </ul>
Estacas brocas (trado manual)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abaixo do N.A.</li> <li>- Para estabilidade das paredes da escavação é recomendável sua execução em solos coesivos</li> <li>- Alívio da escavação (redução da resistência) pela demora na concretagem</li> <li>- Limitação da profundidade da escavação e no diâmetro do fuste em razão da resistência do solo - Limitação no emprego em vista da reduzida capacidade de carga geotécnica</li> </ul>
Estacas escavadas a seco (trado mecânico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abaixo do N.A.</li> <li>- Para estabilidade das paredes da escavação é recomendável sua execução em solos coesivos</li> </ul>
Estacas escavadas com fluido estabilizante	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada geração de resíduo da escavação</li> <li>- Destinação adequada dos resíduos</li> <li>- Disponibilidade de área no canteiro de obras para instalação dos equipamentos</li> <li>- Custo elevado</li> <li>- Demandam cuidados com a concretagem</li> </ul>
Estaca Strauss	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitação no comprimento</li> <li>- Revestimento obrigatório</li> <li>- Demanda cuidados na concretagem</li> <li>- Presença de solos moles</li> </ul>
Estaca Franki	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada vibração</li> <li>- Presença de matacões</li> <li>- Presença de solos moles</li> <li>- Construções vizinhas em estado precário</li> <li>- Limitação no comprimento</li> <li>- Baixa velocidade de execução</li> </ul>
Estaca Hollowauger	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Torque da máquina</li> <li>- Limitação no comprimento e diâmetro</li> <li>- Custo elevado</li> </ul>
Estaca raiz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevado consumo de água</li> <li>- Elevada geração de resíduos da escavação</li> <li>- Destinação adequada dos resíduos</li> <li>- Custo elevado</li> </ul>

Estaca hélice contínua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mobilização</li> <li>- Proximidade de usina de concreto</li> <li>- Demanda terreno plano e de fácil acesso</li> <li>- Colocação da armadura</li> <li>- Comprimento limitado para armadura</li> </ul>
Estaca hélice de deslocamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mobilização</li> <li>- Proximidade de usina de concreto</li> <li>- Limitação do diâmetro</li> <li>- Terreno plano e de fácil acesso</li> <li>- Comprimento limitado para armadura</li> <li>- Torque da máquina</li> <li>- Solos resistentes</li> </ul>
Estaca mega	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de reação para cravação</li> <li>- Custo elevado</li> </ul>
Estaca pré-moldada de concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mobilização</li> <li>- Transporte dos elementos estruturais (estacas)</li> <li>- Presença de camadas resistentes</li> <li>- Vibração</li> </ul>
Estaca metálica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mobilização</li> <li>- Vibração reduzida</li> <li>- Desvio durante a cravação em terreno com presença de matacões (interferências)</li> <li>- Custo</li> </ul>
Estaca de madeira	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não indicada para obras permanentes, exceto se forem realizados estudos para essa destinação</li> </ul>

\* Como fundação de edificações de múltiplos andares, por envolver elevado custo de concreto e de aço.

Como parte do estudo preliminar, determinadas situações necessitam fazer uma estimativa dos esforços nas fundações, a fim de analisar a viabilidade da construção. A estimativa das cargas dos pilares é dada pela equação (4), em que:

$$Q_{\text{ pilar }} = n \times \sigma_{\text{ tip }} \times A_i \quad (4)$$

Em que  $Q_{\text{ pilar }}$  é a carga estimada aplicada a determinado pilar, dada em kN e  $A_i$  é a área de

influência relativa ao pilar em  $\text{m}^2$ . Conforme apresentado anteriormente,  $\sigma_{\text{ tip }}$  é a tensão média típica de  $12 \text{ kN/m}^2$  por andar e  $n$  refere-se ao número de andares. No caso de estacas pré-moldadas, seu comportamento do ponto de vista estrutural além de depender da armadura e qualidade do concreto, estão sob influência dos controles de fabricação e cravação, e ainda do uso de protensão. (Danziger,2020). Na Tabela (2), são apresentados alguns dos tipos comuns de estacas pré-moldadas, bem como suas cargas típicas.

Tabela 2 – Tipos usuais de estacas pré-moldadas e suas cargas de trabalho (Danziger, 2020).

Tipo de Estaca	Dimensões (cm)	Carga usual (kN)	Carga máx. (kN)	Observação
Pré-Moldada vibrada, de Concreto armado, quadrada maciça $\sigma_{\text{ serv }} = 6 \text{ a } 10 \text{ MPa}$	20 × 20	250	400	Disponíveis até 8m
	25 × 25	400	600	
	30 × 30	550	900	
	35 × 35	750	1200	
Pré-Moldada vibrada, de concreto armado,	φ22	300	400	
	φ25	450	550	

circular com furo central. $\sigma_{serv} = 9 \text{ a } 12 \text{ MPa}$	$\phi 29$	600	750	Disponíveis até 10m. Furo central a partir de $\phi 29$
	$\phi 33$	700	800	
Pré-moldada vibrada, de concreto protendido. $\sigma_{serv} = 10 \text{ a } 14 \text{ MPa}$	$\phi 20$	300	350	Disponíveis até 12m. Podem ter furo central.
	$\phi 25$	500	600	
	$\phi 33$	800	900	
Pré-moldada centrifugada, de concreto armado. $\sigma_{serv} = 10 \text{ a } 14 \text{ MPa}$	$\phi 20$	250	300	Disponíveis até 12m. Com furo central (ocas) e paredes de 6ª a 12cm
	$\phi 26$	400	500	
	$\phi 33$	600	750	
	$\phi 42$	900	1150	
	$\phi 50$	1300	1600	
	$\phi 60$	1700	2100	

É importante destacar que as informações dispostas na Tabela (2) servem apenas para uma pré-seleção do tipo de estaca ou para efeito de anteprojeto (Danziger, 2020).

### 3. Metodologia

Foram elaboradas planilhas interativas a partir do software Microsoft Excel para auxiliar na definição do elemento estrutural a ser empregado em um projeto de fundações. Para verificar a viabilidade da planilha, foi analisado um caso hipotético que apresenta o perfil de sondagem descrito na Tabela (3).

A partir da análise do subsolo é necessário avaliar as cargas atuantes na estrutura, para tanto, foi feita uma tabela auxiliar (Figura 1), identificando os dados de entrada referentes aos critérios estabelecidos pelas equações (1), (2), (3) e (4).

Para efeitos de cálculo foi considerado uma distância média entre pilares na ordem de 4m. A planilha foi elaborada de forma a calcular a viabilidade técnica e econômica de fundações rasas e profundas, analisando o uso de sapatas, tubulões e estacas.

Tabela 3 – Perfil de Sondagem do solo (Albuquerque e Garcia, 2022).

Camada (m)	NSPT	Composição da Camada
0 a 1	6	Argila siltosa, média a rija, avermelhada
1 a 2	10	Argila siltosa, média a rija, avermelhada
2 a 3	13	Argila siltosa, média a rija, avermelhada
3 a 4	11	Argila siltosa, média a rija, avermelhada
4 a 5	13	Argila siltosa, média a rija, avermelhada
5 a 6	17	Silte arenoso, medianamente compacto a compacto, marrom clara
6 a 7	19	Silte arenoso, medianamente compacto a compacto, marrom clara
7 a 8	15	Silte arenoso, medianamente compacto a compacto, marrom clara
8 a 9	19	Silte arenoso, medianamente compacto a compacto, marrom clara
9 a 10	31	Areia fina, compacta a muito compacta, bege
10 a 11	33	Areia fina, compacta a muito compacta, bege
11 a 12	31	Areia fina, compacta a muito compacta, bege
12 a 13	50	Areia fina, compacta a muito compacta, bege

DADOS		
Quantidade de pavimentos	10	pavimentos
Distância entre pilares	4	m
Área de influência	16	m <sup>2</sup>
Tensão média típica	12	kN/m <sup>2</sup>
Tensão admissível mínima	180	kPa
Carga média de um pilar	1920	kN

Figura 1 – Dados de Entrada.

### 3.1 Fundação rasa – Sapatas

A primeira análise foi quanto ao uso de sapatas como elemento de fundação (Figura 2). Supondo uma cota de apoio a -2m, a tensão admissível do solo foi calculada (Equação 5) a partir da proposição De Mello (1975), em que:

$$\sigma_{adm} = 20 \times \bar{N}_{SPT} \quad (5)$$

Sendo  $\bar{N}_{SPT}$  o índice de resistência a penetração média entre a cota de apoio da base até

determinada profundidade. Para o cálculo do  $\bar{N}_{SPT}$  foi considerado a média dos três valores do  $N_{SPT}$  que estão abaixo da cota de apoio, uma vez que as dimensões da sapata são desconhecidas para avaliar o bulbo de tensões. É válido ressaltar que para projetos em que a fundação por sapatas será considerada como opção técnica é aconselhável que a sapata seja assentada sobre camadas em que  $N_{SPT} \geq 10$ , visto que valores abaixo dessa condição iriam fornecer tensões admissíveis baixas.

DADOS - SAPATA		
Cota de apoio	-2	m
$\bar{N}_{SPT}$	11,33	kPa
Tensão admissível	226,67	kPa
Tensão admissível adotada	200	kPa
Tensão (prédio)	120	kPa
Verificação condição econômica	Ok!	
Verificação tensão admissível	200	kPa

Figura 2 – Análise dos Parâmetros para Sapata como Fundação.

A favor da segurança, para a tensão admissível foi adotado um valor múltiplo de 50 kPa, analisando se este atende ao critério estabelecido pela equação (3). Além disso, foi verificada se a sapata atendia a relação econômica definida pela equação (1). Com base nos valores obtidos para a carga média do pilar e a tensão admissível foi possível fazer o dimensionamento da sapata a partir da equação (6):

$$B = \sqrt{\frac{Q_{pilar}}{\sigma_{adm}}} \quad (6)$$

Sendo  $Q_{pilar}$  a carga estimada aplicada a determinado pilar, dada em kN, calculada a partir da equação (4) e B a menor dimensão da sapata em metros. Partindo do pressuposto que seja uma sapata quadrada, foi implementada uma célula que retornava a dimensão da sapata (Figura 3) baseada na equação (6), para tanto, utilizando os valores obtidos, temos que:

DIMENSIONAMENTO - SAPATA		
B	3,10	m

Figura 3 – Dimensionamento da Sapata.

### 3.2. Fundação Profunda - Tubulão

$$\sigma_{adm} = 33,33 \times \bar{N}_{SPT} \quad (7)$$

Para avaliar o tubulão como sendo o tipo de fundação profunda a ser executada, foi considerado que este seria apoiado a uma cota de apoio de -6m. A tensão admissível pode ser obtida a partir da proposta de Alonso (1983) apresentada na Equação (7).

No entanto, para adotar-se esse método, deve-se seguir a condição de que  $\bar{N}_{SPT} < 20$ . A Figura (4) apresenta os resultados obtidos considerando para o cálculo da tensão admissível, a profundidade do bulbo de tensões de 3m.

DADOS - TUBULÃO		
Cota de apoio	-6	m
$\bar{N}_{SPT}$	17,00	kPa
$\bar{N}_{SPT}$ (adotado)	17,00	kPa
Tensão admissível	566,61	kPa
Tensão admissível adotada	550	kPa

Figura 4 – Análise de parâmetros para tubulão como fundação.

No caso do tubulão, para a tensão admissível também foi adotado um valor múltiplo de 50 kPa. Além da equação (7) estabelecida por Alonso para cálculo da tensão admissível, foi feito o dimensionamento do tubulão a partir da equação (8):

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q_{\text{ pilar}}}{\pi \times \sigma_{adm}}} \quad (8)$$

Sendo D o diâmetro da base do tubulão, calculado em metros. Considerando um tubulão por pilar a planilha retorna o valor correspondente referente ao diâmetro do tubulão com base na equação (8), como apresentado na Figura (5).

DIMENSIONAMENTO - TUBULÃO		
D calculado	2,11	m
D adotado	2,15	m

Figura 5 – Dimensionamento do Tubulão.

Nesta situação, será adotado o valor de 2,15m para o diâmetro do tubulão.

### 3.3. Fundações Profundas - Estacas

A análise quanto ao uso de estacas como elemento de fundação profunda parte do pressuposto que seja adotado um bloco com três estacas em média. Para tanto, com base na carga média de um pilar calculada anteriormente, a planilha retorna a carga (P) por estaca (Figura 6)

CARGA POR ESTACA		
P	640,00	kN

Figura 6 – Análise de parâmetro para estaca como fundação.

Além disso, a planilha retorna sugestões para auxiliar na escolha do tipo de estaca, de acordo com a carga calculada (640 kN), como mostrado na Figura (7).

ESTACAS SUGERIDAS		
	Tipo	Diâmetro
1	Estacas escavadas a seco (trado mecânico)	φ 50 cm
2	Estaca hélice contínua	φ 50 cm
3	Estaca pré moldada concreto circular (com furo central)	φ 29 cm

Figura 7 – Estacas que podem ser adotadas como solução para fundações profundas.



A Figura (7) apresenta, portanto, quais as estacas indicadas para o perfil de solo estudado, identificando aquelas que atendem a carga estimada

por pilar. Com base nas sugestões apresentadas, a planilha determina quais as limitações executivas associadas as estacas sugeridas (Figura 8).

LIMITAÇÕES DOS TIPOS DE ESTACAS SUGERIDAS		
Tipo		Limitações
1	Estacas escavadas a seco (trado mecânico)	Abaixo do N.A. Para estabilidade das paredes da escavação é recomendável sua execução em solos coesivos
2	Estaca hélice contínua	Mobilização Proximidade de usina de concreto Demanda terreno plano e de fácil acesso Colocação da armadura Comprimento limitado Para armadura
3	Estaca pré moldada concreto circular	Mobilização Transporte dos elementos estruturais (estacas) Presença de camadas resistentes Vibração

Figura 8 – Limitações quanto ao uso das estacas.

#### 4. Resultados e discussão

A planilha apresentou que para o caso analisado é possível a utilização de fundações tanto do tipo direta como profunda. Primeiramente foi verificado que critério estabelecido pela equação (1) foi atendido, assim sendo, a utilização de sapatas como fundação rasa pode ser empregada neste caso.

Considerando a carga média, foram obtidas as dimensões de  $3,10 \times 3,10m$  para sapata de geometria quadrada. Ao verificar a possibilidade de se utilizar tubulões, considerando a cota de apoio a -6m, bulbo de tensões a uma profundidade de 3m e um tubulão por pilar, obteve-se 2,10m como dimensão do diâmetro da base. Além do uso de sapatas e tubulão como fundação para a edificação, foi observada ainda a utilização de estacas, para isso foram consideradas 3 estacas por bloco.

A planilha retornou quais estacas seriam capazes de suportar a carga estimada através da Equação (4), além disso, a tabela auxiliar apresenta as limitações de cada tipo de estaca. Desse modo, a planilha apresenta que podem ser utilizadas estaca escavada (sem fluido), estaca do tipo hélice contínua, ambas com diâmetro de 50cm e ainda estaca pré-moldada de concreto circular (com furo central) com diâmetro de 29cm.

Como foi demonstrado que é possível a utilização de sapatas, inicialmente, a utilização de estacas e tubulões é dispensada, haja vista que as fundações rasas são comumente mais econômicas, isso se dá devido ao menor consumo de materiais

como aço, concreto e a menor volume de escavação. Entretanto, caso os carregamentos da edificação obtidas pelo projeto estrutural finalizado sejam altos, deve-se analisar a viabilidade se utilizar fundações profundas a fim de se atingir um horizonte com maior resistência.

É importante ressaltar a necessidade de ser feita uma avaliação para verificar a possibilidade de se tratar de um solo colapsível ao considerar a utilização de sapatas. Além disso, deve ser feita a análise de recalques considerando que o rebaixamento que ocorre em função do adensamento do solo sob sua fundação provocar grandes consequências na superestrutura. O projetista também precisa se atentar a posição do nível de água, uma vez que não poderão ser utilizadas fundações em que há impossibilidade de execução abaixo do nível do lençol freático.

Ao auxiliar no processo de análise de diversos tipos de fundações de forma automatizada, apresentando os tipos de fundações que podem ser empregadas em detrimento do perfil de solo implementado, a planilha mostrou-se como uma ferramenta eficiente para o cumprimento do objetivo para o qual foi desenvolvida.

#### 5. Considerações Finais

A determinação do tipo de fundação deve apresentar viabilidade econômica, porém, é prioritário que as fundações atendam as requisições técnicas impostas. Nesse sentido, enfatiza-se ainda

que, a escolha pelo tipo de fundação é um processo único, mediante todas as particularidades que estão envolvidas com cada obra a ser executada. A ferramenta aqui apresentada tem caráter auxiliar. Ressalta-se sempre a importância de um profissional da área com respaldo técnico, que seja capaz de tomar decisões adequadas perante as diversas variáveis que influenciam em um projeto de fundações.

*corporativo de administração pública no vale do Taquari/RS*. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Univates (CETEC), Lajeado.

## Referências

Albuquerque, P.J.R. e Garcia, J.R., 2020. *Engenharia de Fundações*. 1st ed. Rio de Janeiro: LTC.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022. *NBR 6122:2022 Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro: ABNT.

Azeredo, H.A., 1997. *O edifício até sua cobertura*. 2nd ed. São Paulo: Blucher.

Caputo, H.P. e Caputo, A.N., 2022. *Mecânica dos Solos: Obras de terra e Fundações*. 8th ed. Rio de Janeiro: LTC.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2023. *Desempenho de edificações habitacionais: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013*. 2nd ed. Brasília: Gadioli Cipolla Comunicação.

Danziger, B.R. e Lopes, F.R., 2021. *Fundações em Estacas*. 1st ed. Rio de Janeiro: LTC.

Knappett, J.A. e Craig, R.F., 2014. *Mecânica dos Solos*. 8th ed. Rio de Janeiro: LTC.

Miranda, A.J.B., 2015. *Fundações: estudo da viabilidade técnica e econômica dos tipos de fundações aplicado a um empreendimento*. Monografia de Especialização. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte.

Souza, L.H.F. e Santos, M., 2014. *Execução de fundação rasa tipo sapata associada para cargas elevadas de um edifício residencial*. Revista de Engenharia e Tecnologia, 6(3), pp. 1-17.

Zuchetti, P.A.B., 2015. *Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício*