



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
ENGENHARIA CIVIL**

LARA DA SILVA BALBUENO

**ESTUDO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS DO TIPO HÉLICE CONTÍNUA
E ESTACA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO ARMADO**

**UBÁ / MG
2021**

LARA DA SILVA BALBUENO

**ESTUDO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS DO TIPO HÉLICE CONTÍNUA
E ESTACA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Fundação Presidente Antônio Carlos -
FUPAC, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Dr^a. Érika Maria
Carvalho Silva Gravina

UBÁ/ MG

2021

RESUMO

Os sistemas de fundações são essenciais para a construção civil, pois são eles os elementos estruturais responsáveis por receber e transferir todas as cargas que a edificação proporcionará ao solo. É possível afirmar que o sistema de fundações escolhido para a edificação tem influência direta no custo total do empreendimento e resultado. Por meio de uma revisão bibliográfica tem-se o objetivo de estudar dois métodos de fundações profundas, analisando vantagens e desvantagens em ambos elementos estruturais, com o intuito de auxiliar na escolha da fundação profunda adequada para a necessidade da construção a ser executada. Conclui-se que o método de fundações a ser utilizado, para ser o mais vantajoso, deve considerar todas as características do local, devendo atender aos aspectos técnicos (cargas da edificação), aos aspectos de mercado e econômico (valores e disponibilidade de materiais), além das condições geotécnicas do local. Com isso, não há uma fundação que tenha melhor desempenho em casos gerais, pois cada categoria de elemento estrutural possui suas particularidades.

Palavras-chave: Estaca pré-moldada. Hélice continua. Fundações profundas.

ABSTRACT

The foundation system is essential for civil construction, as they are the elements necessary to receive and transfer all the loads that the building will provide to the ground. It is possible to affirm that the system of foundations chosen for the building has a direct influence on the total cost of the project and the final result. Through a literature review, the objective is to study two methods of deep foundations, analyzing advantages and disadvantages in both structural elements, in order to assist in choosing the appropriate deep foundation for the need of the construction to be executed. It is concluded that the method of foundations to be used, in order to be the most advantageous, must take into account all the characteristics of the site, taking into account the technical aspects (building loads), the market and economic aspects (values and availability materials), in addition to the geotechnical conditions of the site. Thus, there is no foundation that performs better in general cases, as each type of structural element has its particularities.

Keywords: Precast stake. Helix continues. Deep foundations.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de fundações são essenciais para a construção civil, pois são eles os elementos estruturais responsáveis por receber e transferir todas as cargas que a edificação proporcionará ao solo, podem ser classificadas como fundações rasas e profundas, ambas exercendo as mesmas funções, apenas com características distintas. Sendo assim, é de suma importância que haja um bom estudo para a escolha ideal do método a ser utilizado.

Nos segmentos da engenharia, o mercado vem buscando constantemente inovações tecnológicas que atendam aos requisitos técnicos e econômicos para execução das tarefas. O que não difere para as empresas do segmento de fundações, as quais apresentam novidades em produtos e equipamentos. São encontrados formas de trabalho que entregam alta produtividade e operam de forma silenciosa e ausente de vibrações.

É possível afirmar que o sistema de fundações escolhido para a edificação tem influência direta no custo total do empreendimento e resultado. Por essa razão, é necessário um bom estudo para determinação do método a ser utilizado.

As estacas pré-moldadas de concreto são muito utilizadas por oferecer um concreto de boa resistência, maior durabilidade e além da amplitude na execução, podendo ter seções transversais de grandes dimensões.

Na atualidade, estacas semelhante a hélice contínua vem se destacando na área de fundações profundas, em especial, nos grandes centros urbanos. Em localidades com essa característica, utiliza-se esse método principalmente pelo fato de não apresentar ruídos e vibrações às edificações vizinhas.

Neste contexto, realiza-se o presente trabalho através de uma revisão bibliográfica visando estudar dois métodos de fundações profundas, analisar as vantagens e desvantagens em ambos elementos estruturais, com o intuito de auxiliar na escolha da fundação profunda adequada para a necessidade da construção a ser executada.

A fim de evitar problemas futuros com a edificação, deve-se entender como se dá o funcionamento dos elementos estruturais. Para que a obra seja executada com sucesso, é importante que a escolha seja feita com propriedades técnicas. Tais dados podem ser encontrados no presente trabalho.

2 DESENVOLVIMENTO

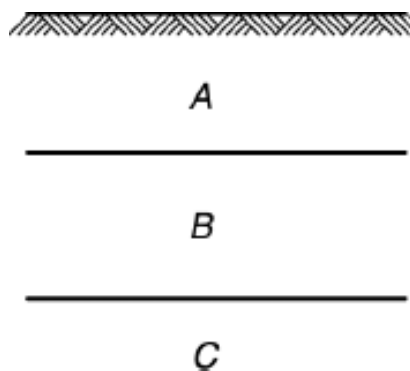
2.1 Definição de fundações

Segundo Albuquerque (2020), toda obra necessita de uma base sólida e estável para ser apoiada, tal base pode ser considerada como um apoio que proporcione condições de segurança quanto a ruptura e deformações.

Pode-se definir fundações como elementos estruturais essenciais para a transferência de cargas superiores para o solo, sejam fundações superficiais ou profundas, ambas têm a mesma função com características diferentes (AZEREDO 1997).

Caputo e Caputo (2015) afirmam que as fundações são divididas em dois grupos: fundações superficiais e profundas. Quando as camadas de subsolo imediatamente abaixo das estruturas conseguem suportar as cargas, são utilizadas as fundações rasas. Quando é necessário atingir camadas mais profundas para adquirir a resistência necessária, são utilizadas as fundações profundas.

Figura 1 - Camadas de solo



Fonte: Caputo e Caputo(2015)

Conforme o perfil de terreno apresentado na FIG.1, supondo que as camadas variam entre 3m à 12m, pode-se analisar as situações possíveis do local (CAPUTO e CAPUTO, 2015):

- A. Se as camadas A B e C possuírem um bom nível de resistência, é possível utilizar a fundação na camada A, para qualquer estrutura e valor de carga;
- B. Se apenas a camada A é resistente, deve-se utilizar fundações nessa área, porém apenas para edificações leves e com carga a ser determinada por um

estudo de recalque;

C. Se a camada A for de baixa resistência e B for resistente, é nela que deve-se executar a fundação profunda, atentando-se para o peso limite da estrutura (obtido por um estudo de recalque), quando a camada C for de baixa resistência e alta espessura;

D. Se as camadas A e B são de baixa resistência, a fundação deve ser apoiada na camada C.

Em qualquer caso, não é recomendado a utilização de dois diferentes métodos de fundação.

2.2 Fundações superficiais, rasas ou diretas

A norma da Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT), NBR 6122 de 1996, aborda que fundações rasas são aquelas onde a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e onde a profundidade de execução em relação ao terreno é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Pode-se caracterizar como fundações diretas os seguintes elementos estruturais:

A. Sapata isolada: São definidas como o elemento composto por concreto armado, onde o mesmo é dimensionado para que as cargas de tensões de tração não sejam resistidas pelo concreto, e sim pelo aço (armadura). Sua espessura pode ser constante ou variável, tendo a base em planta geralmente quadrada, retangular ou trapezoidal;

B. Sapata associada: corresponde a uma sapata comum a vários pilares cujos centros de gravidade não estejam situados no mesmo alinhamento;

C. Sapata corrida: Define-se como uma sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente;

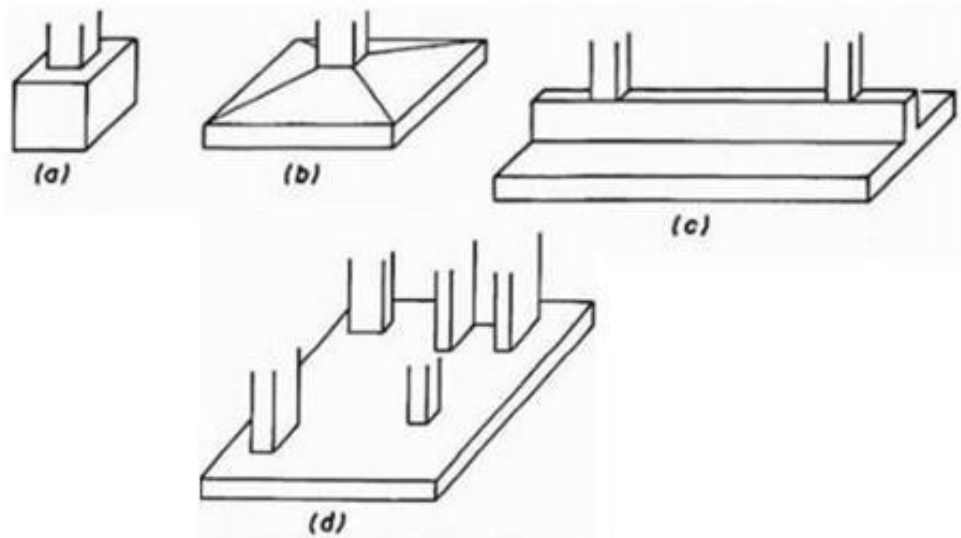
D. Bloco: O elemento é composto por concreto, onde o mesmo é dimensionado para que resista às tensões de tração nele produzidas, sem haver a necessidade do aço. Geralmente, em planta podem obter as seções quadradas ou retangulares;

E. Radier: É caracterizado como o elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra ou carregamento distribuídos;

F. Vigas de fundação: Elemento de fundação superficial comum a vários pilares cujos centros em planta, estejam situados no mesmo alinhamento.

Os principais modelos de fundações rasas estão representados na FIG. 2, sendo: a) bloco, b) sapata, c) viga de fundação e d) radier.

Figura 2 - Tipos de fundações rasas



Fonte: Fundações superficiais diretas¹. Adaptado pela autora

2.3 Fundações profundas ou indiretas

A NBR 6122 (ABNT,1996), caracteriza fundações profundas como sendo o elemento que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e onde a profundidade de execução em relação ao terreno é superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m. Pode-se caracterizar como fundações indiretas os seguintes elementos estruturais:

A. Tubulões: Caracteriza-se como um elemento de fundação cilíndrico, em que pelo menos na etapa final é necessário a descida de um operário. Pode ser executado ao ar livre e ter ou não a base alargada;

B. Estacas: Caracteriza-se como um elemento de fundação executado exclusivamente por equipamentos ou ferramentas, sem a necessidade de

¹ <https://construcaociviltips.blogspot.com/2012/09/fundacoes-superficiais-diretas.html>

descida de operários. Podem ser empregados materiais como: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in situ ou mistos;

C. Caixaão: Caracteriza-se como um elemento de fundação executado de forma prismática, concretado anteriormente a sua locação no solo. Para sua instalação pode-se usar ou não ar comprimido e sua base pode ser alargada ou não.

2.4 Materiais utilizados nas estacas pré-moldada de concreto armado e hélice contínua

2.4.1 Concreto

De acordo com Pinheiro (2020), o concreto é composto por aglomerante (cimento), um agregado miúdo (areia), um agregado graúdo (brita) e água, e em alguns casos, aditivos. A proporção entre cada elemento é chamada traço. A resistência do concreto se dá pela determinação do traço. Pode-se afirmar que o concreto resiste bem ao esforço de compressão.

2.4.2 Aço

O aço é basicamente constituído por uma liga metálica de ferro e carbono, este último variando de 0,008% até cerca de 2,11%. De maneira geral os aços possuem excelentes propriedades mecânicas: resistem bem à tração, à compressão, à flexão. Quanto a sua característica física, podem ser estampados e estriados, e suas propriedades podem ser modificadas por tratamentos químicos ou térmicos (FERRAZ, 2003).

2.4.3 Concreto armado

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2004), pode-se definir concreto armado como um elemento que depende da aderência entre o concreto simples e a armadura.

O concreto resiste muito bem ao esforço de compressão. A resistência ao esforço de tração somente é possível com a utilização de esqueletos de barras de aço unidas por arame recozido (PINHEIRO, 2020).

2.5 Estaca pré-moldada de concreto armado

Conforme Nápoles Neto (1998) as estacas pré-moldadas de concreto podem ser classificadas como estacas de deslocamento, sendo aquelas introduzidas no terreno através de algum processo que não promova a retirada do solo.

Azeredo (1997) afirma que as estacas de concreto armado são fabricadas no próprio canteiro de obra ou em indústrias especializadas, e cravadas através de bate-estaca (FIG.3). Complementando a fala de Azeredo, Rebello (2008), diz que as estacas são fabricadas em indústrias especializadas, e moldadas em formas metálicas, o concreto é adensado nessas formas por vibração ou centrifugação. Na forma de centrifugação, essas são colocadas a girar em uma velocidade aproximada de 500rpm, onde a força centrífuga provoca a compressão e adensamento² da massa de concreto.

Figura 3 - Cravação utilizando bate-estaca



Fonte: Estacas pré-moldadas de concreto³

² No levantamento de colunas e pilares, ato de movimentar o concreto por meio de vibrador ou varas de ferro, fazendo-o tomar todo o espaço das formas e aderir bem às varas metálicas.

³ <http://engenharia-construcao.cotanet.com.br/estacas-pre-moldadas/estacas-pre-moldadas-concreto>

As estacas pré-fabricadas são produzidas em cimento de alta resistência. Em geral, o tempo de desforma não excede um dia. A quantidade de cimento utilizado na produção do concreto gira em torno de 350 e 420 kg/m³ e o fator água/ cimento encontra-se na faixa de 0,4 e 0,5. Para que o concreto obtenha uma boa trabalhabilidade, são utilizados aditivos plastificantes, com um percentual máximo de 1% da quantidade de cimento utilizado (GONÇALVES *et al.*, 2007).

As armações das estacas destinam-se a absorver os momentos fletores resultantes do levantamento da estaca, tanto para transporte quanto para alçar na cravação, tendo em vista que os esforços de compressão são perfeitamente absorvidos pelo concreto (AZEREDO, 1997).

2.5.1 Cravação das estacas pré-moldadas

O fator importante a ser analisado na hora da cravação da estaca são as tensões de cravação, pois as mesmas devem ser inferiores à tensão característica do concreto. Como as tensões de compressão que surgem na cabeça da estaca são obtidas pela altura em que é realizada a queda do martelo, é importante que essa altura não ultrapasse um metro e deve-se adotar um amortecedor (coxim) adequado. Quando há a necessidade de cravação mais profunda ou onde as camadas de solo são mais resistentes, é ideal utilizar martelos com peso maior, é comum empregar martelos 40KN ou maiores (RAGONI, 2021).

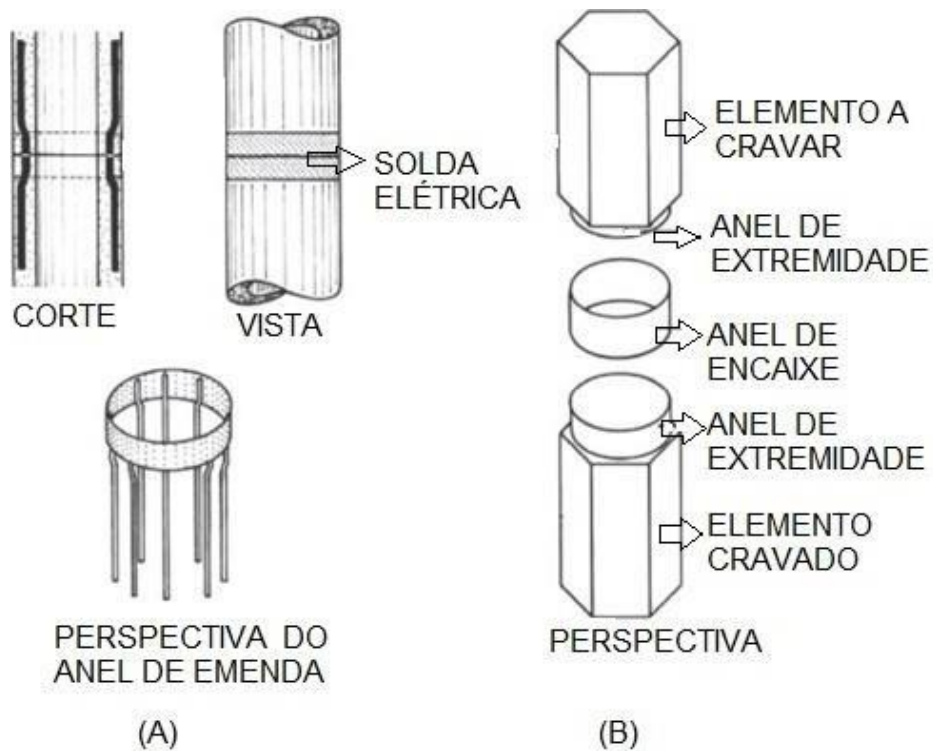
2.5.2 Emendas de estaca pré-moldada

O comprimento das estacas restringe-se à 12 metros, visto que para valores maiores que o citado, o custo para transporte não seria viável, além da necessidade de licença especial de tráfego. Para isso, quando necessários comprimentos maiores, é utilizado o artifício da emenda (CAMARGO, 2016).

Ragoni (2021) afirma que as emendas devem ser executadas de maneira que as seções emendadas possam resistir a todas as solicitações submetidas durante a cravação e a utilização da estaca. Geralmente é realizada por anéis de aço (FIG.4a) para a realização da emenda, esses mesmos são incorporados no concreto. Tais emendas permitem à transmissão de compressão, tração e flexão.

Estacas com previsão apenas para a compressão podem ser emendadas por anel de encaixe (FIG.4b).

Figura 4 - Emendas de Estacas



Fonte: Ragoni (2021). Adaptado pela autora

2.5.3 Preparação da cabeça da estaca e ligação com o bloco de coroamento

A cabeça da estaca deve ser preparada para a ligação com o bloco de coroamento, isso quer dizer que a estaca deve ser cortada na “cota de arrasamento”, de forma que o concreto e a armadura sejam preservados no trecho onde irá ocorrer a ligação. Deve-se utilizar um processo de corte manual do concreto com ponteiros e talhadeiras, ambos trabalhando horizontalmente em vez de marteletes/ rompedores pneumáticos trabalhando verticalmente (RAGONI, 2021).

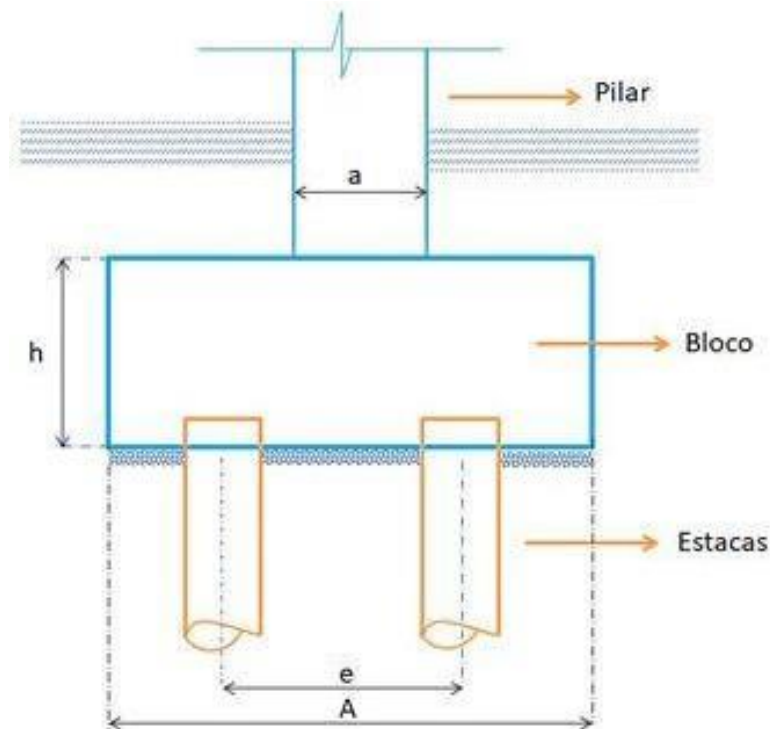
A penetração do concreto da estaca no bloco deve ser de no mínimo 5 cm (preferencialmente 10 cm), conferindo se o concreto da estaca está perfeitamente íntegro após o corte. Caso ocorra após a cravação ou após a remoção do concreto a danificação da estaca, ou a mesma fique abaixo da cota de arrasamento, é possível completar a estaca com concreto de alta qualidade ou preferencialmente com

argamassa especial (RAGONI, 2021).

Reforçando que, os maiores esforços da estaca ocorrem justamente em sua junção com o bloco de coroamento, dizemos ser uma etapa que deve ser executada mais cautelosamente possível (RAGONI, 2021).

A FIG. 5 representa um esquema de bloco de coroamento.

Figura 5 - Bloco de coroamento



Fonte: Bloco de Coroamento: Definição, aspectos técnicos e normativos de dimensionamento.⁴

2.5.4 Vantagens

Segundo Ragoni (2021), as estacas pré-moldadas possuem vantagens como: boa resistência quanto à compressão, flexão composta e tração; boa qualidade do concreto comparada às moldadas in loco; menor fissuração (consequentemente maior durabilidade); podem ser executadas com seções transversais de grandes dimensões e grandes comprimentos.

Rebello (2008), confirma sobre as vantagens das estacas, as mesmas possuem uma ótima resistência aos esforços que sofrem ao serem transportadas, o que evita o aparecimento de trincas.

⁴ <https://nelsoschneider.com.br/bloco-de-coroamento/>

2.5.5 Desvantagens

Ragoni (2021), afirma que a grande desvantagem da estaca pré-moldada são as vibrações e ruídos excessivos.

Para Velloso e Lopes (2010), a desvantagem da estaca pré-moldada de concreto está na dificuldade que a mesma pode apresentar na hora de adaptar-se quando a camada resistente oferecer muitas variações em sua profundidade; se a previsão do comprimento não for realizada de maneira adequada, pode-se haver o problema de cortes ou emendas.

2.6 Estaca hélice contínua

A utilização deste método é recente no Brasil, sua primeira execução foi no ano de 1987, desde então sua aplicação vem apresentando grande crescimento (REBELLO, 2008).

De acordo com Ragoni (2021), a hélice contínua se trata de uma estaca de concreto moldada in loco, executada mediante a introdução no terreno por rotação de um trado helicoidal contínuo e injeção de concreto pela própria haste central do trado, simultaneamente à sua retirada. A armação é colocada após a concretagem da estaca.

A estaca possui um processo executivo que não ocasiona vibrações durante sua instalação, portanto vem sendo mais utilizada nos centros urbanos (CAPUTO e CAPUTO, 2015).

2.6.1 Processo de execução

Conforme afirma Ragoni (2021), os processos de execução da estaca hélice contínua são os seguintes:

- A. Perfuração: a perfuração se caracteriza pela introdução da hélice no terreno, por movimento rotacional transmitido por motores hidráulicos acoplados na extremidade superior da hélice, até a cota definida no projeto de fundações, sem que em nenhum momento ela seja retirada do solo;
- B. Concretagem: assim que a profundidade desejada é alcançada, o concreto é bombeado através do tubo central, simultaneamente a hélice é retirada, sem

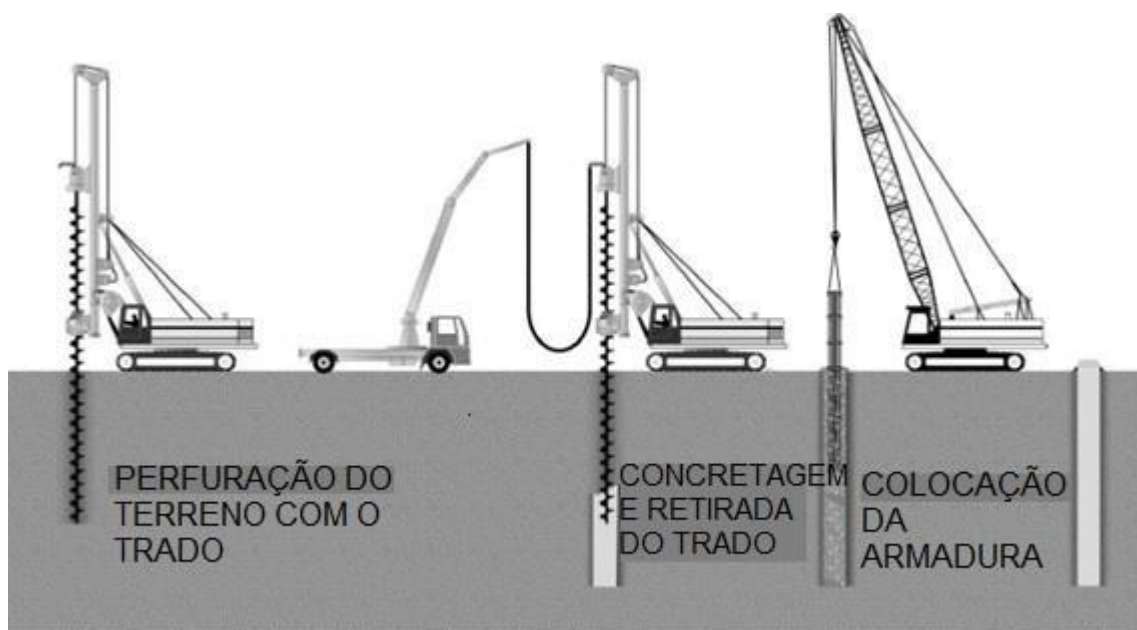
girar, ou girando lentamente no mesmo sentido da perfuração. A pressão do concreto deve garantir que ele preencha todos os vazios deixados pela extração da hélice. O concreto utilizado deve ter as características indicadas pela NBR 6122 (ABNT,1996);

C. Armadura: no processo executivo da estaca hélice contínua comum, a armadura é colocada após o término da concretagem. A “gaiola” de armadura é introduzida na estaca manualmente por operários ou com auxílio de um peso, ou ainda, com auxílio de um vibrador.

Quando a estaca é submetida apenas a esforços de compressão, o comprimento da armadura não ultrapassa 5 metros, o comprimento máximo de uma armadura é de 12 metros, ou seja, uma barra de aço inteira (REBELLO, 2008).

É possível analisar tais processos na FIG.6.

Figura 6 - Processo de execução estaca hélice contínua



Fonte: Pinto et. Al (2015). Adaptado pela autora

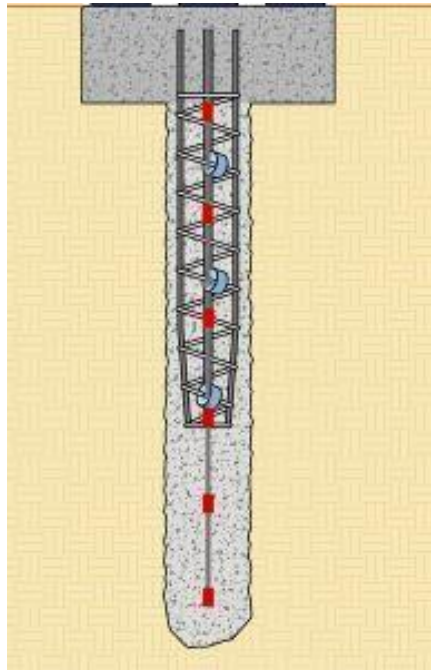
Os equipamentos mais comuns permitem que sejam executados diâmetros de 30 cm a 100 cm e comprimentos de 15m a 30m (VELLOSO E LOPES, 2010).

O concreto utilizado na execução da hélice contínua deve possuir uma resistência característica f_{ck} mínimo de 20Mpa, ser bombeável e haver na composição cimento, areia, pedrisco e pedra, com um consumo mínimo de 350 kg/m³, facultativa a utilização de aditivos (NBR 6122 ABNT,1996).

As estacas submetidas a esforços de compressão levam uma armadura

apenas no topo, geralmente 4 m abaixo da cota de arrasamento. Em caso de estacas submetidas a esforços transversais ou de tração, utilizam-se armaduras de maior comprimento, 12 a 18 m. Na base inferior, a gaiola deve ter as barras ligeiramente curvadas para formar um “cone” (FIG.7), para que facilite a introdução no concreto (VELLOSO E LOPES, 2010).

Figura 7- Modelo de gaiola para hélice contínua



Fonte: Execução da maior estaca hélice instrumentada no Brasil.⁵ Adaptado pela autora

2.6.2 Vantagens

De acordo com Caputo e Caputo (2015), algumas vantagens da utilização da hélice contínua estão em: não provocar vibrações, assim não influencia nas construções vizinhas; tem sua execução completamente monitorada, o que garante um melhor controle de qualidade; com o avanço das tecnologias, já é possível obter fundações de estaca hélice com diâmetro de 120 cm e profundidade de 45 m.

Para os autores Velloso e Lopes (2014), estaca hélice contínua se destaca obtendo a vantagem de baixo nível de vibração e alta produtividade.

Complementando a fala de Velloso e Lopes, Rebello (2008), afirma que a

⁵ <https://www.bornsales.com.br/single-post/2018/09/17/execu%C3%A7%C3%A3o-da-maior-estaca-h%C3%A9lice-instrumentada-no-brasil>⁵

execução da hélice contínua tem uma alta produtividade, tempo de execução melhor em relação aos outros métodos e um índice de qualidade elevado. Além de ser possível utiliza-la bem próximo às divisas do terreno, sendo também compatível com qualquer solo, exceto onde houver a presença de matacões ou rochas.

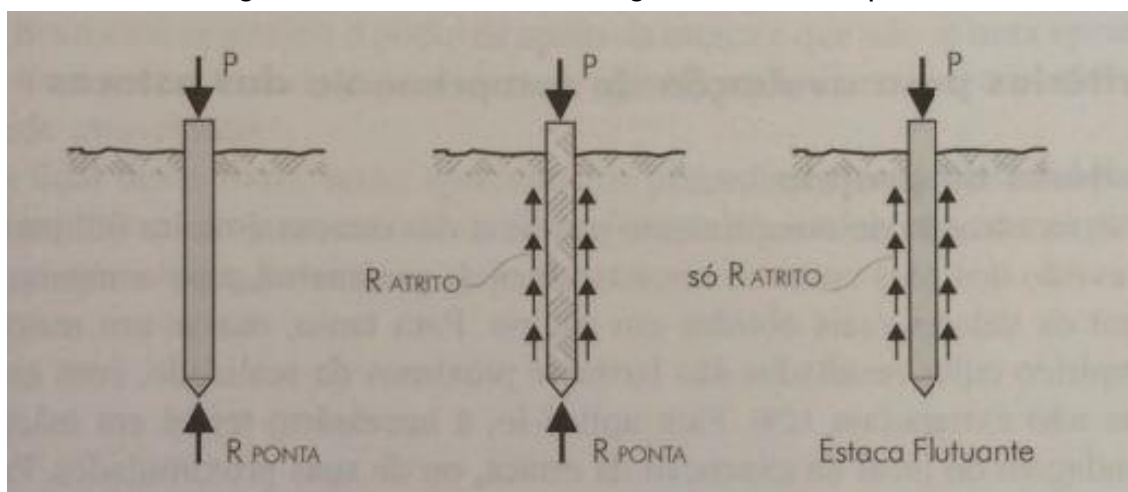
2.6.3 Desvantagens

De acordo com Antunes & Tarozzo (1998 *apud* Camargo, 2016, p.26), a desvantagem da estaca de hélice contínua estão em: dificuldades nas instalações das armaduras profundas; dependência de fornecimento do concreto de concreteira; e elevados custos de mobilização de equipamentos.

2.7 Mecanismo de transmissão de cargas das estacas ao solo

A transmissão de cargas realizadas pelas estacas se dividem em dois mecanismos: por atrito lateral (entre seu corpo e o solo), e por reação de ponta. Nas estacas com comprimento menor, prevalece a reação de ponta, o que é o inverso para estacas mais longas, onde o atrito lateral prevalece. Quando se considera apenas o atrito lateral, a estaca é chamada flutuante (FIG.8) (REBELLO 2008).

Figura 8- Transmissão de cargas das estacas para o solo



Fonte: Rebello (2008)

Com tudo, o sistema de atrito lateral pode acarretar problemas, ainda mais em estacas que já estejam executadas. A cravação de estacas em terrenos vizinhos ou o

abaixamento do lençol freático podem provocar um deslocamento vertical do solo. Esse efeito provoca na estaca uma força de tração, que, dependendo de sua intensidade, pode fazer com que ela se rompa. Esse fenômeno recebe o nome de atrito negativo. Pode-se evitar tal efeito com o distanciamento ideal entre uma estaca e outra (REBELLO 2008).

2.8 Classificação dos solos

Na construção Civil, Botelho (2014) afirma ser realizado um estudo extremamente simplificado quanto à classificação dos solos, diferentemente do que é abordado pela geologia. Sendo assim, os solos podem ser divididos nas seguintes categorias: solos arenosos, argilosos e siltosos.

Solos arenosos: o qual possuem grãos maiores, perceptíveis com o tocar da mão. Exemplos: solos de praia, quando pega-se a areia é possível ver e sentir cada grão. Solos argilosos: o qual possuem grãos menores, não individualizáveis ao tato. Quando secos, possuem grande resistência, exigindo certo esforço para a desagregação pelo apertar das mãos. Exemplos: uma estrada de terra em dia de sol, é possível perceber as marcas que ficaram no solo consequentes da passagem de carros, o solo permanece “moldado” com protuberância. Solos siltosos: se classifica entre os dois, mas por suas características estão mais próximos dos solos argilosos. Porém, quando secos, seus grãos são facilmente degradados pelas mãos. Exemplos: também encontrados em estradas, assim como o argiloso (BOTELHO, 2014).

Os autores Santos e Daibert (2014), fornecem características semelhantes como Botelho (2014). As areias são ásperas ao tato e estão isentas de solos finos, não se contraem ao secar, também não apresentam plasticidade. São formadas, principalmente por cristais de quartzo e minerais primários. O silte são solos de granulação fina, que apresentam pouca ou nula plasticidade, suas partículas são pequenas e leves, por isso, quando secos, podem ser desfeitos com bastante facilidade. O silte é gerado através do esmigalhamento mecânico das rochas, por isso também pode ser conhecido por “poeira de pedra”. As argilas são solos de granulação fina que possuem características marcantes de plasticidade e elevada resistência, quando secas e degradadas, são facilmente esfareladas, e quando úmidas, são lisas e plásticas. Geralmente não possuem muita permeabilidade. Sua composição se dá em excesso por óxidos de alumínio e de ferro.

Conforme a NBR 6502 (ABNT, 1995), os solos podem ser classificados quanto ao tamanho das partículas, segundo a FIG.9.

Figura 9 - Tamanho de partículas do solo

Escala ABNT – tamanho das partículas				
Argila	Silte	Areia fina	Areia média	Areia grossa
0,0002		0,02	0,2	2 mm →

Fonte: Botelho (2014)

2.8.1 Investigação geotécnica

De acordo com Albuquerque (2020), uma obra civil é adequadamente projetada quando há o reconhecimento da natureza e da estrutura do terreno onde a mesma será implantada. Situações onde determinados conceitos de investigação não são considerados ou até mesmo omitidos, podem conduzir a ruínas parciais ou totais da obra.

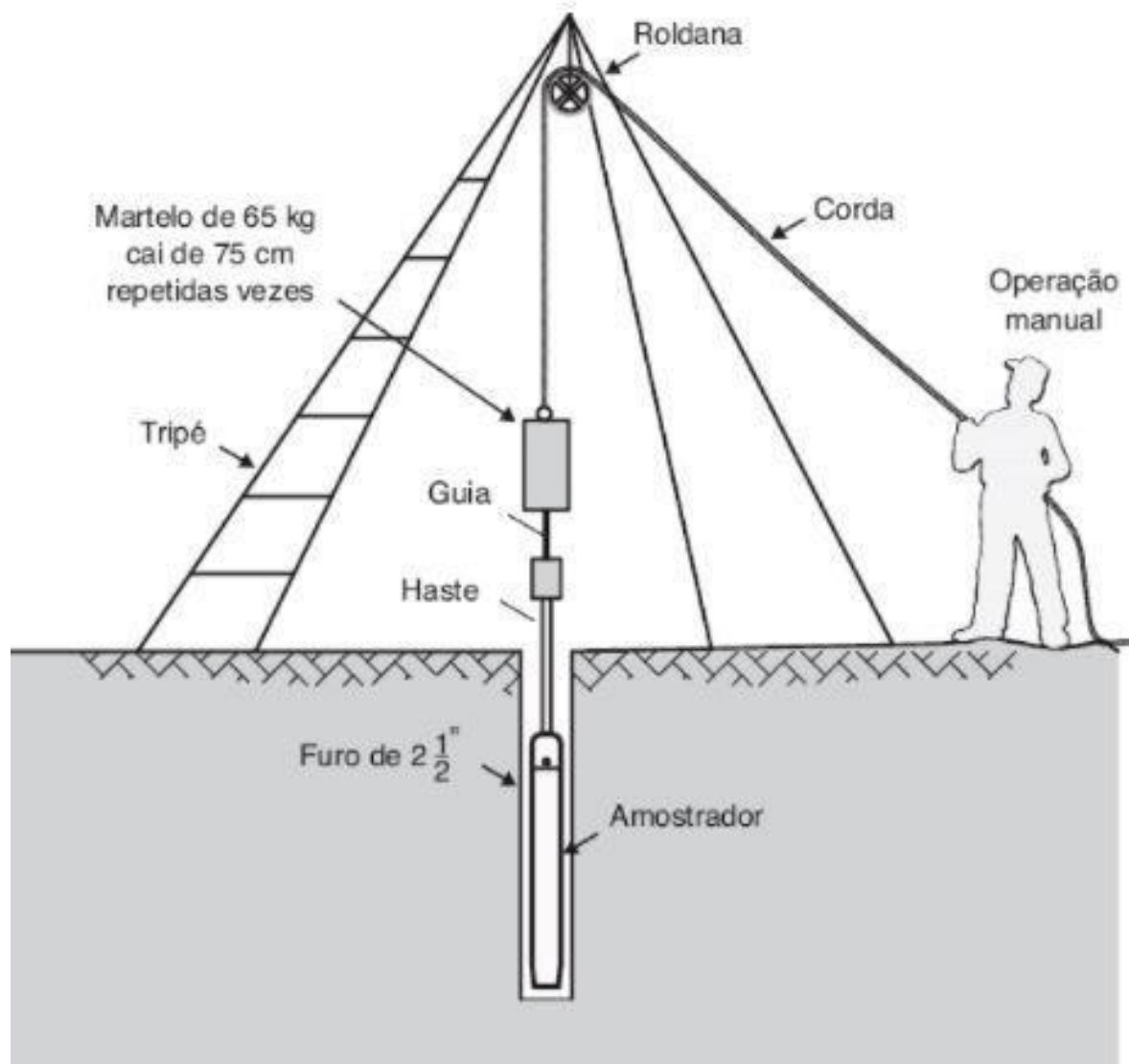
Geralmente o custo de um programa de investigação geotécnica bem conduzido situa-se entre 0,5 e 1,0% do valor da obra. Os ensaios de campo são largamente empregados no levantamento de informações e na determinação de parâmetros do subsolo necessários à concepção de projetos geotécnicos (ALBUQUERQUE, 2020).

2.8.2 Standard Penetration Test (SPT)

É reconhecidamente a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica em praticamente todo o mundo. Ela tem a função de indicar parâmetros do solo, como a densidade de solos granulares e também identificar a consistência de solos coesivos (ALBUQUERQUE, 2020).

Conforme ilustrado na FIG.10, o equipamento de perfuração limita-se basicamente a um tripé, um barrilete e uma massa metálica padronizada em 65 kg sustentada por um cabo de aço passante em uma roldana movido por força manual ou motriz (ALBUQUERQUE, 2020).

Figura 10 - Sondagem SPT



Fonte: Albuquerque (2020)

Feito a abertura de um furo de 1 m de profundidade, o amostrador tem sua ponta apoiada no fundo do furo, é nesse ponto que o processo se inicia. O peso é lançado sobre o amostrador, e conta-se quantidade de golpes necessários para a cravação de 45 cm, realizando o intervalo de contagem a cada 15 cm. O que define o N_{spt} (Índice de resistência à penetração) é o número de golpes obtido nos últimos 30 cm. Com esse número pode-se obter a resistência, a consistência, a capacidade e a coesão do solo. Esse sistema é realizado a cada metro do solo (REBELLO, 2008).

O ensaio SPT tem como prioridade a indicação da compactidade de solos granulares (areias e siltes arenosos) e a consistência de solos argilosos (argilas e siltes argilosos). A norma de sondagem com SPT (NBR 6484/2001), prevê que seja

fornecido junto a classificação do solo, sua compacidade ou consistência (TAB. 1) (VELLOSO e LOPES, 2010).

Tabela 1 - Tabela dos estados de compacidade e consistência

Solo	Índice de resistência à penetração (NSPT)	Designação
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	> 19	Dura

Fonte: NBR 6484 (ABNT,2001) – Adaptado pelo autor

A fundação profunda é utilizada quando a fundação rasa não é adequada para o local em questão, isso pode ser determinado a partir do ensaio SPT realizado, se o resultado N_{spt} obtiver um valor maior ou igual a 8, e a profundidade necessária para atingir um solo com boa resistência seja superior a 2 m, é necessário a utilização da fundação profunda (REBELLO, 2008).

2.9 Escolha da fundação

Basicamente, os critérios para a escolha da fundação são três: o técnico, econômico e o de mercado. No critério técnico deve-se priorizar a segurança à ruptura e recalques que a estrutura pode sofrer, além de evitar danos às edificações vizinhas. Nesse critério já podem ser eliminados certas categorias de fundações. No critério econômico e de mercado, visa-se a disponibilidade de equipamentos, materiais, mão de obra, prazos de entrega, custo, entre outros. Sendo assim, a escolha da fundação vai muito além da grandeza e potência da estrutura a ser construída (FALCONI; NIYAMA; ORLANDO,2019).

Segundo Silva e Lopes (2017), para a boa execução de uma obra de fundações, deve-se considerar alguns critérios para a escolha, tais como:

A. Superestrutura: qual o material é mais indicado para a fundação (madeira, concreto ou aço), o que depende da carga que a mesma deve resistir, tal ponto definido pelo projeto de fundações. E qual função essa estrutura deve atender (edifícios, residências, galpões, etc.);

B. Características do solo: deve ser analisado as propriedades do solo, tais dados podem ser obtidos com a realização das sondagens, é importante reconhecer granulometria, espessura de camadas e existência ou não de lençol freático;

C. Edificações na vizinhança: é importante que estudar o entorno da obra, idade das edificações, por exemplo. A tolerância de ruídos e/ ou vibrações que uma determinada fundação pode causar.

2.10 Custo

Usualmente, o custo de uma fundação é variável, o que depende das cargas e condições do subsolo, em casos correntes pode variar de 3 a 6% do custo total da obra. Em casos atípicos, dependendo da estrutura a ser suportada, das solicitações correspondentes e condições adversas do terreno, pode-se chegar a percentagens maiores, alguns casos chegam a atingir de 10 a 15% do custo global. Tratando-se de casos usuais, pode-se obter a média de 4% (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015).

2.11 Análise de Custo

Para fins orçamentários, nesse trabalho foi realizado uma consulta à empresa GeoinLoco, localizada na cidade de Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, especializada em projetos geométricos de fundações e estruturas de contenção, investigações geotécnicas de campo e execução de fundações profundas.

A relação obtida é referente a valores unitários de ambos elementos estruturais. Podendo assim, obter a comparação quanto a custo unitário dos métodos de fundação profunda, conforme apresentado no TAB. 2 e TAB. 3.

Tabela 2 - Orçamento para estaca pré-moldada de concreto

Descrição	Unidade	Valor unitário
Estaca pré-moldada Q20	m	R\$ 45,00
Transporte da estaca pré-moldada	vb	R\$ 4.000,00
Descarregamento das estacas	vb	R\$ 500,00
Cravação da estaca	m	R\$ 35,00
Mobilização da equipe	1	R\$ 5.500,00
Alimentação/Hospedagem	dia	R\$ 160,00
TOTAL		R\$ 10.240,00

Fonte: Próprio autor (2021)

Tabela 3 - Orçamento para hélice contínua

Descrição	Unidade	Valor unitário
Concreto	m ³	R\$ 430,00
Bombeamento do concreto com caminhão bomba com pressão mínima de 2kgf/cm ²	m ²	R\$ 40,00
Armadura cortada, montada e dobrada	Kg	R\$ 11,95
Retro-escavadeira traçada	hora	R\$ 100,00
Espaçadores para estacada FU-40 ou similar	unidade	R\$ 2,00
Execução da estaca hélice contínua D-40cm	m	R\$ 40,00
Mobilização da equipe	1	R\$ 9.800,00
TOTAL		R\$ 10.423,95

Fonte: Próprio autor (2021)

Não é possível obter uma comparação real em relação ao valor total de uma fundação, pois para isso seria necessário um estudo específico para cada situação, analisando condições do solo, cargas e dimensões da edificação à ser construído, além da localidade, entre outras questões as quais foram apresentadas no presente trabalho. Os valores estudados são comparações quanto à mobilização, materiais

utilizados, mão de obra necessária, entre outros. Realizando a análise em relação às características citadas, pode-se observar que os valores são equiparados.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do presente trabalho, pode-se observar que diferentes fatores podem definir a escolha da fundação a ser utilizada na edificação. O mercado atual oferece várias formas de execução dos elementos estruturais, por isso deve-se estudar e analisar cada método.

As estacas pré-moldadas de concreto armado oferecem vantagens referentes a boa resistência do concreto, o que influencia em um bom resultado quanto as cargas que a mesma receberá. Em contrapartida, proporcionam muitas vibrações e ruídos, o que pode não ser benéfico para edificações vizinhas.

Estacas do tipo hélice-contínua é um método de execução que não proporciona ruídos e nem vibrações, assim, ideal para grandes centros urbanos, além de possuir seu controle monitorado, o que garante uma boa qualidade. Um método que se destaca pela alta produtividade. Em contrapeso a isso, dependem da disponibilidade de uma concreteira nas localidades, o que pode não ser possível em determinada construção.

Contudo, conclui-se que o método de fundações a ser utilizado, para ser o mais vantajoso, deve considerar todas as características do local, devendo atender aos aspectos técnicos (cargas da edificação), aos aspectos de mercado e econômico (valores e disponibilidade de materiais), além das condições geotécnicas do local. O custo deve ser estudado após a análise de todas as questões anteriores, pois cada realidade da edificação demandará um valor específico. Com isso, não há uma fundação que tenha melhor desempenho em casos gerais, pois cada elemento estrutural possui suas particularidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118:** Projeto de estrutura de concreto-procedimento. ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6122:** Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 33 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6484:** Execução de Sondagens de simples reconhecimento dos solos. ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6502:** Rochas e Solos. ABNT, 1995.

AZEREDO, H.A. **O edifício até sua cobertura**. 2. ed. rev. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

BOTELHO, Manoel.Henrique. C. **Princípios da mecânica dos solos e fundações para a construção civil**. Editora Blucher, 2014.

CAMARGO, Thales Henrique de Paiva. **Estudo comparativo de custos entre fundações profundas do tipo hélice contínua e pré- moldada de concreto armado**. 2016.

de, A.P.J.R. **Engenharia de Fundações**. Grupo GEN,2020. 9788521636977.

FALCONI, Frederico Fernand; NIYAMA, Sussumu; ORLANDO,Celso. Concepção de obras de fundações. *In: FALCONI Frederico Fernando et al. Fundações: teoria e prática* 3. ed. São Paulo; Oficina de textos, 2019.p.215.

FERRAZ, Henrique. O aço na construção civil. **Revista eletrônica de ciências. São Paulo**,v.1, n. 22, 2003.

GONÇALVES, C.; BERNARDES, G. P.; NEVES, L. F. S. **Estacas Pré-fabricadas de Concreto: teoria e prática**. São Paulo: [s. n.], c2007.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

NÁPOLES NETO, A.D.F. **História das fundações: uma breve história das fundações**. *In: HACHICH, W.; FALCONI, F.F.; SAES, J.L.; FROTA, R.G.Q.; CARVALHO, C.S.*; 1998.

NIYAMA, S. (Org.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 263

PINHEIRO, Antonio.Carlos.da.Fonseca. B.; CRIVELARO, Marcos. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. Editora Saraiva, 2020. 9788536532769.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. v.1, 7. ed. Editora Ltc, 2015.

PIRES, Rafael Alves. **Estudo Comparativo de Fundações Profundas: Estaca Hélice Contínua x Estaca tipo Strauss**. 2018.

RAGONI, D. B. **Fundações em Estacas**. Grupo GEN, 2021. 9788595158122.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações**: guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 3. ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2008. 238 p.

SANTOS, Palloma.Ribeiro.Cuba. D.; DAIBERT, João. D. **Análise dos Solos**. Editora Saraiva, 2014. 9788536518589.

SILVA, Gerson Rodrigues Da; LOPES, Ramon Pereira. **Comparação entre fundação profunda, hélice contínua e fundação superficial radier**. 2017.