

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Larissa Karina Vaz de Deus

TIPOS DE FUNDAÇÕES

Taubaté – SP
2020

Larissa Karina Vaz de Deus

TIPOS DE FUNDAÇÕES

Trabalho apresentado para obtenção do grau de Bacharel pelo curso de Engenharia Civil, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Sérgio Luiz Lousada

Taubaté – SP

2020

LARISSA KARINA VAZ DE DEUS
TIPOS DE FUNDAÇÕES

Trabalho apresentado para obtenção do grau de Bacharel pelo curso de Engenharia Civil, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Sérgio Luiz Lousada

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Sérgio Luiz Lousada

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

.....

Prof. Me. Leonardo do Nascimento Lopes

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

.....

Prof. Me. Gerson Geraldo Mendes Faria

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

.....

Dedico esse trabalho a minha família que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, atendeu todas minhas orações, me deu forças e me manteve firme ao longo desses cinco anos.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo, apoio emocional e que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda minha trajetória, que nunca mediram esforços quando o assunto é minha educação e aprendizado. São meu alicerce, minha força e motivação para chegar até aqui.

Aos meus amigos da faculdade, pela força, incentivo e grupos de estudos durante todos esses anos.

Sou grata pela confiança depositada na minha proposta de projeto pelo meu professor Sérgio, orientador do meu trabalho.

Sou grata por toda ajuda que tive do meu professor Leonardo do Nascimento durante esse trabalho.

Também quero agradecer à Universidade de Taubaté e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

“A persistência é o menor caminho do êxito.”

(CHARLES CHAPLIN)

RESUMO

A fundação é uma das etapas mais importantes na obra. É nela onde todos os esforços da edificação fazem trocas de força com o solo, mantendo-a em equilíbrio. Nessa pesquisa, propõe-se a análise de todos os tipos de estacas, fazendo-se o estudo de cada uma delas. Como parâmetros de estudos, foram abordadas definições, caracterização, vantagens e desvantagens das próprias com base de artigos científicos e análises técnicas pré-estabelecidas. Na presente pesquisa, as análises desses estudos constataram que o engenheiro responsável deve fazer a análise do terreno, observar as condições de solo, localização e a condição financeira para a obra. Depois desses requisitos, a melhor escolha do tipo de fundação. Logo, percebe-se que é de grande importância e responsabilidade técnica do engenheiro responsável o estudo para a escolha do melhor tipo de fundação na edificação.

Palavras-chave: Fundações. Edificação. Diretas. Indiretas. Estacas.

ABSTRACT

The foundation is one of the most important stages in the work. It is there that all the building efforts make exchanges of strength with the soil, keeping it in balance. In this research, it is proposed to analyze all types of stakes, making the study of each one of them. As study parameters, definitions, characterization, advantages and disadvantages of their own were addressed based on scientific articles and pre-established technical analyzes. In the present research, the analyzes of these studies found that the engineer in charge must make the analysis of the terrain, observe the soil conditions, location and the financial condition for the work. After these requirements, the best choice of foundation type. Therefore, it is realized that the study of the choice of the best type of foundation in the building is of great importance and technical responsibility of the engineer responsible.

Keywords: Foundations. Edification. Direct. Indirect. Stake.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Fundações diretas (a) e Fundações indiretas (b).....	17
Figura 2 - Tipos de fundação direta.....	18
Figura 3 - Blocos de Fundação	19
Figura 4 - Sapata Corrida	21
Figura 5 - Sapata Associada ou Combinada	22
Figura 6 – Sapata Isolada	23
Figura 7 – Radier Liso	24
Figura 8 – Radier com Pedestais ou Cogumelos	25
Figura 9 – Radier Nervurado	26
Figura 10 – Radier em Caixaõ.....	26
Figura 11 – Secamento das Estacas Pré Moldadas de Concreto	28
Figura 12 – Estaca de Madeira	29
Figura 13 – Estaca Metálica – Perfil I.....	31
Figura 14 – Estaca Metálica - Tubo	31
Figura15 – Estaca Metálica - Trilho.....	32
Figura 16 – Escavação do Solo com o Tubo Strauss.....	34
Figura 17 – Equipamento para Estaca Strauss	35
Figura 18 – 1º Etapa da Estaca Franki	36
Figura 19 – 2º Etapa da Estaca Franki.....	37
Figura 20 – 3º Etapa da Estaca Franki.....	37
Figura 21 – Estaca Escavada em Rocha	40
Figura 22 – Estaca Tipo Broca	41
Figura 23 – Maquinário Usado na Estaca Tipo Estacão	42

Figura 24 – Tubulão a Céu Aberto	44
Figura 25 – Tubulão Sob Ar Comprimido	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características estaca Strauss.....	35
Tabela 2 – Peso mínimo dos pilões.....	38
Tabela 3 – Cargas da estaca tipo broca.....	41

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

SPT - Standard Penetration Test

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS (S)	15
2.1. Geral.....	15
2.2. Especificos.....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1. Conceito de fundações.....	16
3.2. Tipos de fundações.....	16
3.2.1. Fundações diretas (rasas ou superficiais)	17
3.2.1.1. Blocos.....	19
3.2.1.2. Sapatas.....	20
3.2.1.2.1. Sapata corrida.....	21
3.2.1.2.2. Sapata associada ou combinada.....	21
3.2.1.2.3. Sapata isolada.....	22
3.2.1.3. Radier.....	23
3.2.2. Fundações indiretas (profundas).....	27
3.2.2.1. Estacas pré moldadas de concreto.....	27
3.2.2.2. Estacas de madeira.....	28
3.2.2.3. Estacas metálicas.....	30
3.2.2.4. Estacas de concreto in loco.....	33
3.2.2.4. 1 Strauss.....	33
3.2.2.4. 2 Franki.....	35
3.2.2.4. 3 Escavada.....	39
3.2.2.4. 4 Broca.....	40
3.2.2.4. 5 Estacão.....	42
3.2.2.5. Tubulões.....	43
4. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

Uma edificação, pensando no contexto estrutural, é um conjunto de elementos estruturais que resistem e transmitem os esforços, de uma maneira progressiva: os elementos estruturais superiores resistem aos seus respectivos esforços e os transmitem para os elementos inferiores. A transmissão dos esforços superiores para os inferiores se dá pelos pilares. No entanto, é necessário um componente que tenha essa mesma função de transmitir tais cargas ao terreno sobre o qual a edificação se apoia. Esse componente é denominado fundação. (BORGATTO, 2017)

Depois de feito o estudo de solo através do ensaio SPT (Standard Penetration Test), a fundação de uma construção civil é um dos elementos mais importantes da obra. Ela é um elemento estrutural e se localiza abaixo do solo.

Sua função é sustentar e equilibrar toda a carga feita acima. Ela transmite as diferenças de carga entre o solo e a edificação, evitando qualquer tipo de ruptura ou deformação. Quando abordamos na engenharia civil, fundações são os elementos estruturais com função de transmitir as cargas de estrutura ao terreno onde ela se apoia (AZEREDO, 1997).

A escolha do tipo de fundação é o que determinará o bom funcionamento de toda obra. São levados em conta diversos fatores que influenciam na escolha de uma boa fundação, são elas: topografia da área, características do maciço de solo, dados da estrutura, dados sobre a construção vizinha e aspectos econômicos. Assim, analisa-se a possibilidade de utilizar os vários tipos de fundação, em ordem crescente de complexidade e custos (WOLLE, 1993). Caso seja feita uma escolha inadequada, os prejuízos à edificação poderão ser grandes, podendo causar até a demolição total em alguns casos. Por isso, é de suma importância que o engenheiro responsável analise todas as variáveis, fazendo a melhor escolha para o projeto.

Fundações bem projetadas correspondem de 3% a 10% do custo total do edifício; porém, se forem mal concebidas e mal projetadas, podem atingir 5 a 10 vezes o custo da fundação mais apropriada para o caso (BRITO, 1987).

Joppert (2007, p. 91) comenta que:

O controle de qualidade das fundações deve iniciar-se pela escolha da melhor solução técnica e econômica, passando pelo detalhamento de um projeto executivo e finalizando com o controle de campo da execução do projeto.

Dentro deste contexto, o presente trabalho pretende apresentar e discutir metodologias para execução da fundação na construção civil, com foco nos tipos de estacas e variáveis, conceituando os componentes principais e critérios técnicos envolvidos nas etapas do processo de construção de uma fundação na edificação.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é apresentar e discutir metodologias para execução da fundação na construção civil, com foco nos tipos de estacas e variáveis, conceituando os componentes principais e critérios técnicos envolvidos nas etapas do processo de construção de uma fundação na edificação.

2.2. Objetivos específicos

- Apontar os principais cuidados que o engenheiro deve ter para conseguir uma boa qualidade da fundação de uma edificação na escolha do tipo de fundação apropriada.
- Estudar o que é fundação através de uma pesquisa bibliográfica;
- Determinar quais são os tipos de fundação;
- Definir estacas;
- Apresentar alguns exemplos de fundação;
- Explicar os procedimentos de execução e de controle de um estaqueamento;
- Caracterizar e definir os tipos de estaca.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Conceito de Fundações

Chama-se fundação a parte da estrutura localizada na parte subjacente da edificação, capaz de realizar todas as trocas de força de equilíbrio e sustentação, com o terreno, necessárias para manter a construção em total harmonia. Em Bell (1985, p. 1), cita que “Uma fundação deve distribuir e transmitir as cargas permanentes e dinâmicas da superestrutura para o substrato do solo [...]”

Essa parte da estrutura necessita um importante cálculo para cada tipo de terreno. Assim, deve-se fazer o estudo do solo primeiramente para depois decidir, através de cálculos estabelecidos, qual a melhor fundação para o projeto desejado.

O estudo de solo normalmente é feito pelo teste SPT (Standard Penetration Test) informa a classificação e origem dos elementos geológicos, a resistência da camada desejada, a posição do nível d’água e todas as informações necessárias do terreno. Com essas informações é feita a escolha da fundação que mais se adequa as características apresentadas.

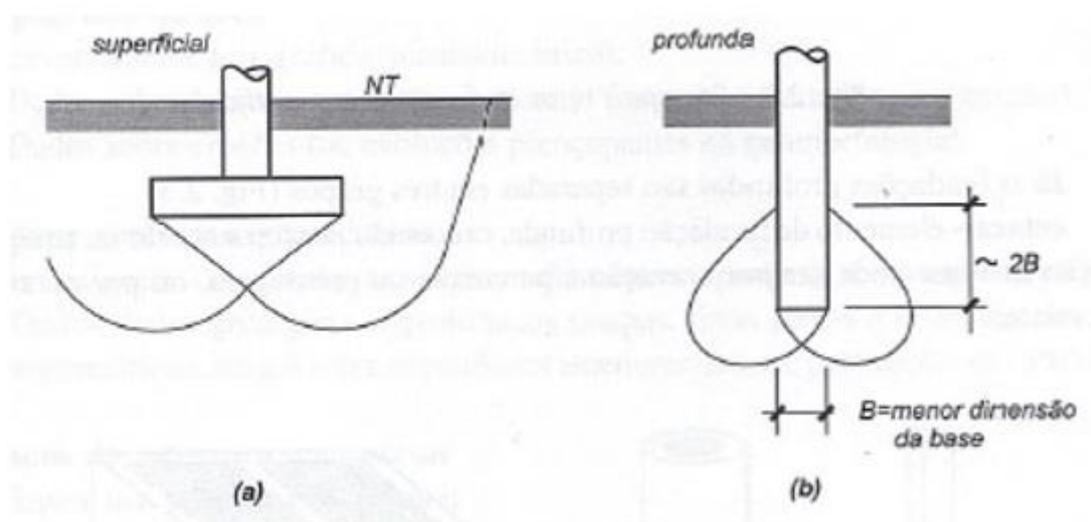
A investigação do subsolo é a causa mais frequente de problemas de fundações. Na medida em que o solo é o meio que vai suportar as cargas, sua identificação e a caracterização de seu comportamento são essenciais à solução de qualquer problema. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015, p. 29)

O bom estudo de solo também irá definir o melhor orçamento da obra. Sem nenhum imprevisto, a obra não terá gastos extras. Segundo Britto (1987, apud MARANGON, 2018, p. 1), fundações bem projetadas correspondem de 3% a 10% do custo total do edifício; porém, se forem mal concebidas e mal projetadas, podem atingir 5 a 10 vezes o custo da fundação mais apropriada.

3.2. Tipos de fundações

As fundações podem ser divididas em duas, as fundações diretas: superficiais ou rasas e fundações indiretas: profundas conforme é mostrado na figura 1. É escolhida de acordo com a necessidade de cada terreno. A NBR 6122:2010 é a norma regulamentadora que utiliza critérios básicos identificados no projeto de edificação para determinar a escolha entre fundações profundas ou superficiais.

Figura 1 - Fundações diretas (a) e Fundações indiretas (b)



Fonte: Velloso e Lopes (2011)

3.2.1. Fundações Diretas - Rasas ou Superficiais

A fundação direta que também pode ser chamada de rasa ou superficial, é assentada nas primeiras camadas de solo. Normalmente não passa de três metros de profundidade com a superfície. As cargas transmitidas ao terreno, são influenciadas pela distribuição de pressão sob a base da fundação gerada pelo carregamento provindo da superestrutura (NBR 6122, 2010). A profundidade de assentamento no terreno, deve ser de no máximo duas vezes a menor dimensão em planta da fundação de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010).

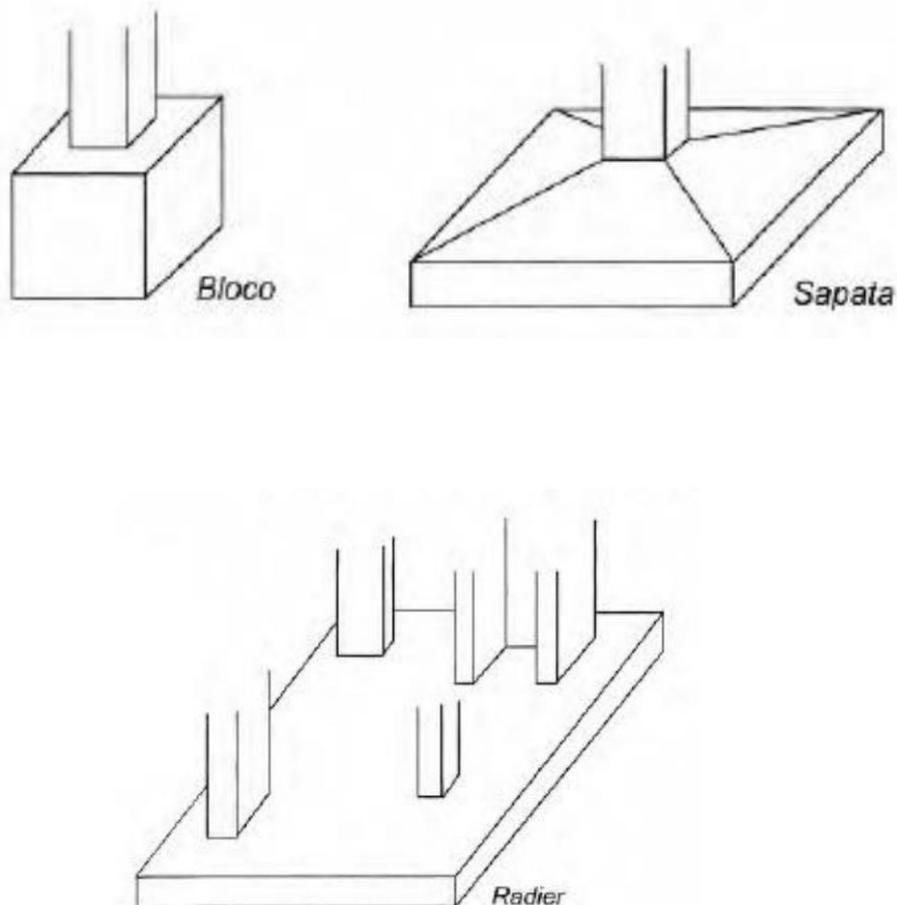
Esse tipo de fundação deve ser a primeira a ser considerada para utilizar em uma obra. Porém, ela é pouco utilizada em grandes obras que tem baixa resistência no solo.

De acordo com a figura 2, são três os principais tipos de fundação direta:

- a) Blocos;
- b) Sapatas;
- c) Radies;

Há uma exceção para os tubulões, que são fundações profundas. Esse tipo de fundação transmite as forças para o solo através da sua base, por isso, também pode ser considerada uma fundação direta. Nesse trabalho iremos aborda-lo em fundações indiretas.

Figura 2 – Tipos de fundação direta



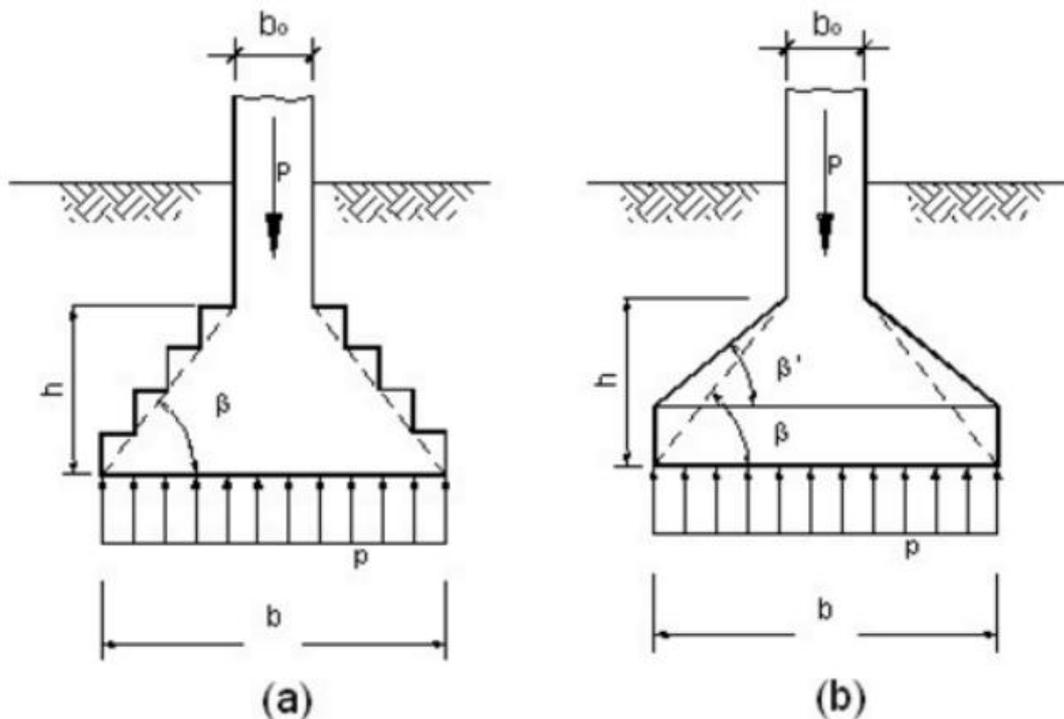
3.2.1.1. Blocos

Os blocos são fundações de concreto simples, resistentes as trações de modo que não necessitam de armadura (horizontal) para flexão em seu dimensionamento. Suas faces podem ser verticais, inclinadas ou escalonadas, com base retangular ou quadrada.

Conforme NBR 6118 (2014, p. 196) “Blocos são estruturas de volume usadas para transmitir às estacas as cargas de fundação e podem ser consideradas rígidas ou flexíveis por critério análogo ao definido às sapatas”.

Esse tipo de fundação se apresenta de duas maneiras: bloco escalonado ou pedestal (a); ou tronco de cone (b), conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Blocos de Fundação



Por dispensar a armação de aço, sua execução, conseqüentemente, torna-se mais barata, em relação à mão de obra e materiais. Por outro lado, possui um alto consumo de concreto, o que leva a encarecer o projeto da fundação (HACHICH, 1998).

3.2.1.2. Sapatas

Sapata é o “elemento de fundação superficial, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim.” De acordo com a NBR 6122 (item 3.2).

Segundo Hachich (1998, p. 227), “as sapatas, são elementos de apoio de concreto armado, de menor altura que os blocos, que resistem principalmente por flexão”.

Esse tipo de fundação pode se associar as disposições dos pilares ou em 3 formas:

- Sapata quadrada ($B=L$, onde a dimensão 23 lateral é a mesma da base);
- Sapata corrida ($L \gg B$);
- Sapata retangular (para segurança nos cálculos geotécnicos, utiliza-se $L \leq 5B$).

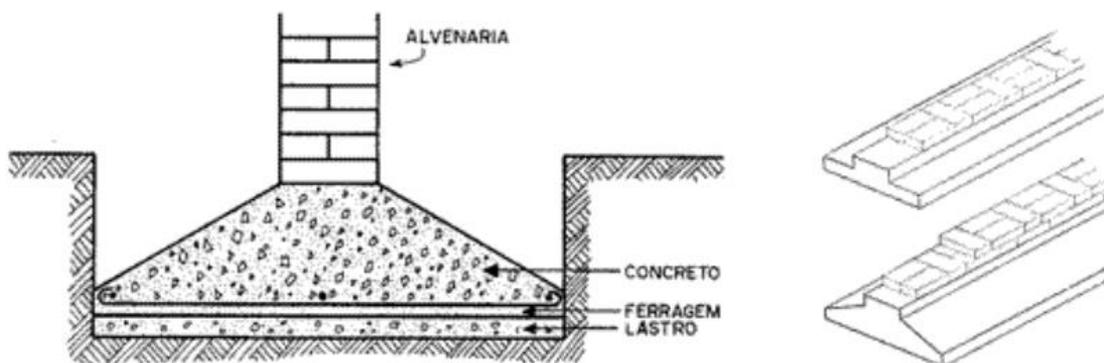
Carvalho e Pinheiro (2009), comentam que as vantagens das sapatas, comparadas às outras fundações, é sua rapidez de execução e a não necessidade de equipamentos específicos. Ela pode se apresentar de algumas maneiras:

- Sapata Corrida;
- Sapata Associada ou Combinada;
- Sapata Isolada.

3.2.1.2.1 Sapata Corrida

Sapata corrida é aquela “sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de pilares ao longo de um mesmo alinhamento.” De acordo com a NBR 6122 (3.6). É uma opção economicamente viável quando o solo apresenta características de suporte de baixa profundidade. Na figura 4 é mostrado como é feito esse tipo de sapata. São comuns em construções de pequeno porte, como edificações de baixa altura, casas, galpões, muros de arrimos e fundações de piscina. Sua função é transmitir ao solo cargas linearmente distribuídas.

Figura 4 – Sapata Corrida

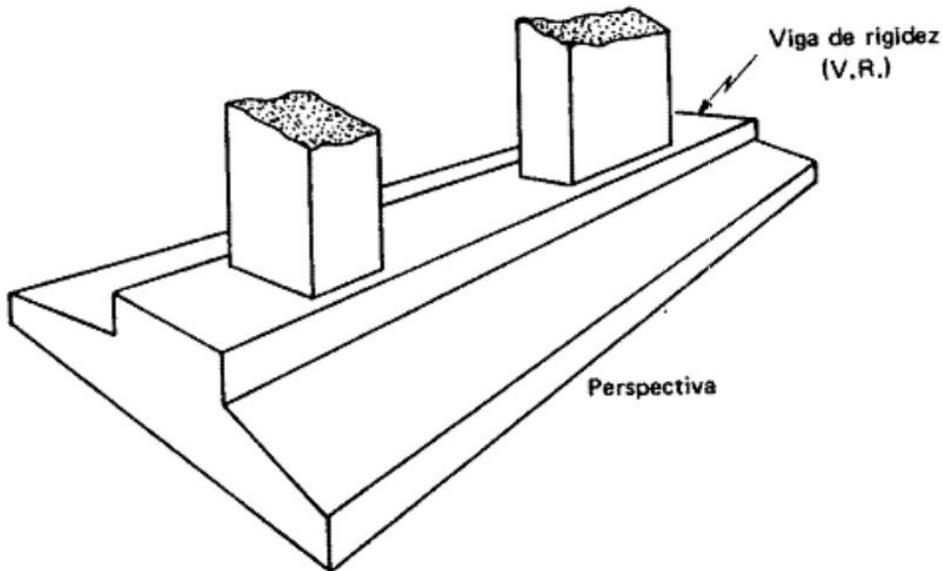


Fonte: Carvalho e Pinheiro (2009)

3.2.1.2.2 Sapata Associada ou Combinada

A sapata associada também pode ser chamada sapata combinada ou conjunta. De acordo com a NBR 6122 (3.5), sapata associada é aquela “comum a mais de um pilar”, como é demonstrado na figura 5. Segundo Hachich (1998), são utilizadas quando não é possível projetar uma sapata isolada para cada pilar, por causa das altas cargas estruturais que geram tensões de contato superiores à tensão admissível. Dessa maneira, a solução é projetar uma sapata para trabalhar dois ou mais pilares.

Figura 5 – Sapata Associada ou Combinada



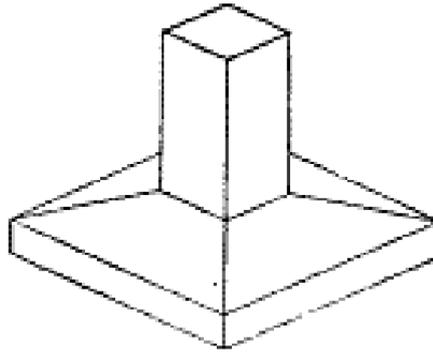
Fonte: Carvalho e Pinheiro (2009)

3.2.1.2.3. Sapata Isolada

Esse é o tipo de sapata mais comum nas edificações. Possui um único pilar que faz a troca e transmite as forças com a superfície do terreno. O pilar é acomodado no centro da sapata, onde é conduzida a momentos fletores aproximadamente iguais nas duas abas, em relação a mesa da sapata. Com isto, os balanços devem ser iguais nas duas direções. (HACHICH, 1998 p. 229).

A sapata isolada pode se apresentar de várias formas, mas normalmente ela se apresenta retangular como mostra a figura 6, pois comumente os pilares se apresentam nesse formato.

Figura 6 – Sapata Isolada



Fonte: Carvalho e Pinheiro (2009)

3.2.1.3 Radier

O Radier é um tipo de fundação superficial que recebe todas as cargas da edificação através de pilares que são distribuídos uniformemente ao solo.

De acordo com a American Concrete Institute ACI 366.2R-88 (1993) o radier é uma laje sobre o solo que continuamente é suportada pelo solo, cujo total do carregamento, quando uniformemente distribuído, teria uma capacidade de suporte admissível do solo menor ou igual a 50%. Essa forma de fundação pode ser feita de concreto simples, de concreto reforçado ou ainda de concreto protendido.

O Radier é utilizado quando deseja-se uniformizar os recalques, o solo tem baixa capacidade de carga ou quando as sapatas se apresentam muito próximas na edificação.

Recorre-se a esse tipo de fundação quando o terreno é de baixa resistência (fraco) e a espessura da camada do solo é relativamente profunda. Estando a camada resistente a uma profundidade que não permite a cravação de estacas, devido ao pequeno comprimento das mesmas, e por ser onerosa a remoção da camada fraca de solo, optamos pela construção do radier (...), para tanto constrói-se em concreto armado com armadura cruzada na parte superior e na parte inferior. (AZEREDO, 1997 p. 34).

A base do radier deve ser uniforme, as pressões na mesma normalmente são baixas devido aos carregamentos aplicados serem distribuídos em grandes áreas. A base deve ser bem nivelada e compactada em sua execução, caso haja

necessidade de melhoramento na base da fundação, deve ser realizado: drenagem e compactação ou estabilização do solo. Logo, quando não é possível obter uma base uniforme, deve-se aplicar uma sub-base, a fim de corrigir a base (REBELLO, 2008).

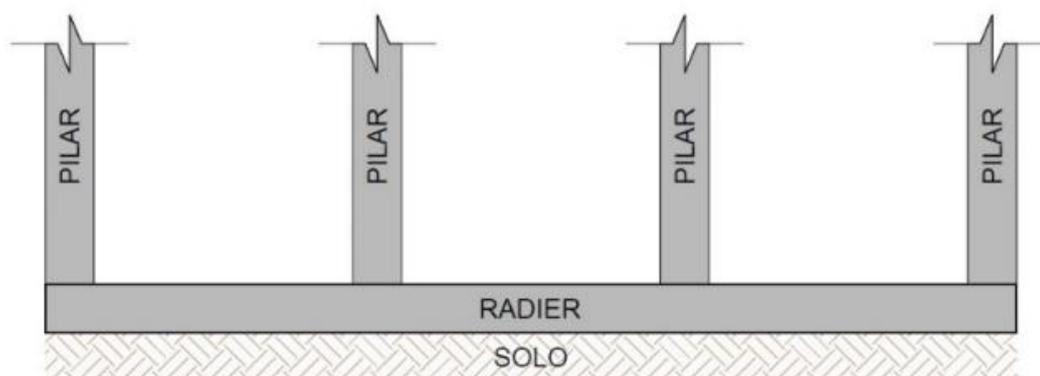
Antes do início da sua execução, deve-se dar atenção à análise do solo, o tipo de concreto a ser usado, o espaçamento das juntas e o acabamento superficial, pois são fatores que influenciam diretamente no desempenho do radier.

Em relação as formas que o radier pode ser apresentado, são elas:

- *Radiers lisos:*

Economicamente é o mais viável, por isso, é o mais utilizado. Segundo Dória (2007), radier liso (Figura 7) caracteriza-se por ter a vantagem da grande facilidade de execução.

Figura 7 – Radier Liso



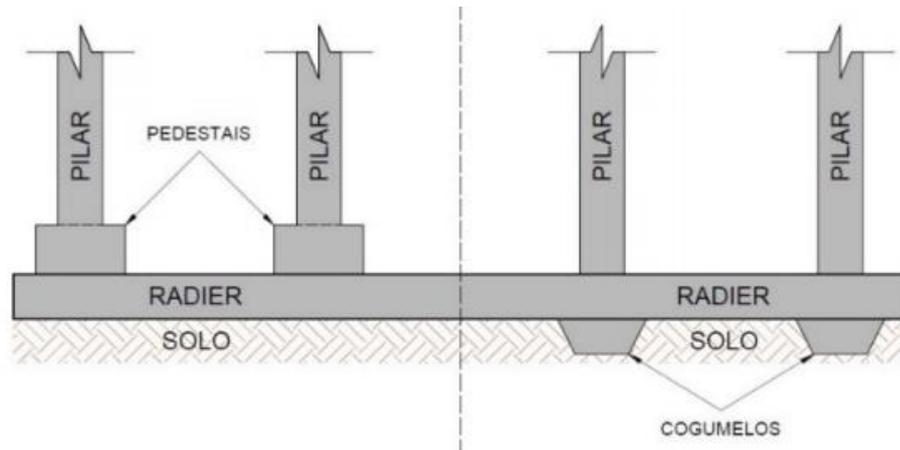
Fonte: Xavier (2015)

- *Radier com pedestais ou cogumelos:*

Esse tipo de radier é caracterizado por apresentar pedestais no início do pilar ou antes do radier (cogumelos). Na figura 8 é retratado esses dois modos. Pelo método com cogumelos, a superfície do piso fica plana, o que

apresenta como vantagem em alguns casos. Os radiers com pedestais ou cogumelos aumentam a espessura sob os pilares e melhora a resistência a flexão e ao esforço cortante.

Figura 8 – Radier com pedestais ou cogumelos

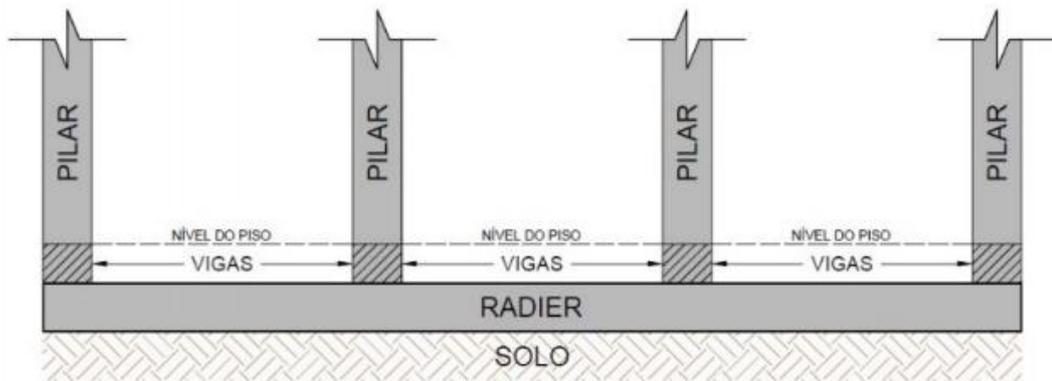


Fonte: Xavier (2015)

- *Radier nervurado:*

Esse Radier apresenta nervuras principais ou secundárias, podendo ser superiores ou inferiores. Nas nervuras superiores, necessita-se de colocação de um agregado para a superfície do piso (figura 9) se torne plana. Já nas nervuras inferiores, executa-a sobre escavação.

Figura 9 – Radier Nervurado



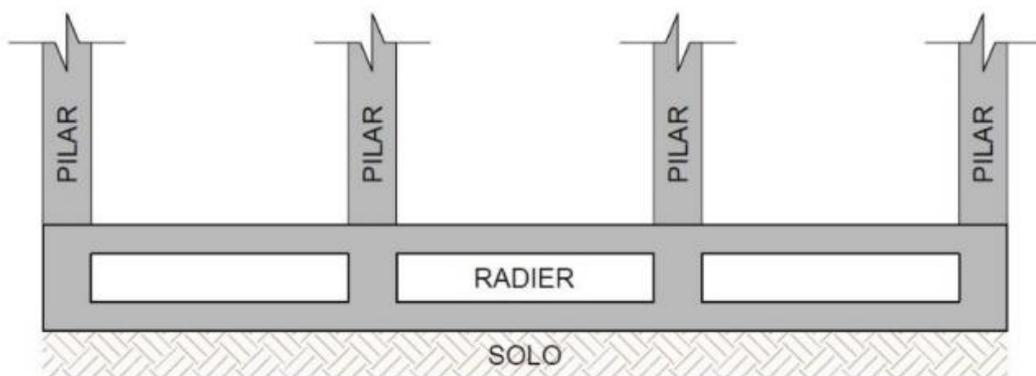
Fonte: Xavier (2015).

- *Radier em caixão:*

Normalmente é utilizado quando necessita se de uma fundação rígida, podendo ser executado com diversos pisos.

Os pisos são feitos paralelos um ao outro e perpendiculares aos pilares (figura 10). Esse tipo de radier pode ser usado em reservatórios e fundações flutuantes.

Figura 10 – Radier em caixão



Fonte: Xavier (2015).

3.2.2 Fundações Indiretas (Profundas)

As fundações indiretas são sempre profundas, devido as dimensões das peças estruturais. Normalmente, são utilizadas em edificações de grande porte devido a maior capacidade de carga, também pode ser utilizada em solos de baixa resistência.

De acordo com a NBR 6122, as fundações profundas transmitem a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, que se assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão plana e no de 3 metros.

Nesse tipo de fundação, são encontrados tipo estacas, tubulões e caixões. Nos próximos tópicos iremos especificar todos os tipos de fundação indireta.

3.2.2.1. Estacas pré moldadas de concreto

As estacas pré moldadas de concreto podem ser fabricadas em concreto armado ou concreto protendido. Elas são uma excelente escolha no requisito qualidade, pois passam por uma rigorosa inspeção na sua fabricação e cavação.

As estacas feitas de concreto armado podem assumir a seção transversal de forma quadrada, redonda, sextavada, octogonal ou estrela. Já as estacas feitas de concreto protendido apresentam a seção cheia ou vazada. Podem variar entre 4 a 12 metros, são feitas emendas quando ultrapassam esse comprimento.

As vantagens da estaca pré moldada de concreto são: sua qualidade pode ser controlada no canteiro de obras, como pode se ver na figura 11, resultando em uma alta resistência; durabilidade ilimitada, pois independe do nível de água e boa resistência à flexão e cisalhamento. Mas também apresentam alguns pontos negativos como: sobras e perdas (gerando perdas significativas),

vibrações e ruídos durante sua construção e baixa produtividade (em torno de 100 metros/dia).

Para a cavação das estacas, a forma mais comum é o bate-estaca que pode ser feito de duas maneiras: a bate estaca de gravidade de simples efeito e de duplo efeito.

Figura 11 – Secamento das estacas pré moldadas de concreto



Fonte: GOMES, Valtencir. Tecnologia das Construções I, Universidade da Amazônia.

3.2.2.1.1. Estacas de madeira

De acordo com Velloso e Lopes (2002), Alonso (1996) E Duke (1975), uma estaca de madeira é um tronco largo e longo que é cravado no solo para suportar as cargas adjacentes da edificação, e normalmente, é tratada com algum produto específico para evitar sua deterioração. Elas podem ser usadas com sua seção transversal retangular, mas comumente são usadas em sua forma original roliça. Dessa forma, não necessita de processos muito caros para mudar sua seção transversal o que torna mais viável em relação a custo, comparando às outras formas de estacas. Apesar disso, as estacas de madeira

apresentam uso limitado no território brasileiro pois não devem ser utilizadas onde o lençol freático sobre alterações significativas durante o ano.

Velloso e Lopes (2002) afirmam que as estacas de madeira, no Brasil, são usadas exclusivamente como provisórias, mas no passado eram muito utilizadas em edificações permanentes como o Teatro Municipal do Rio de Janeiro.

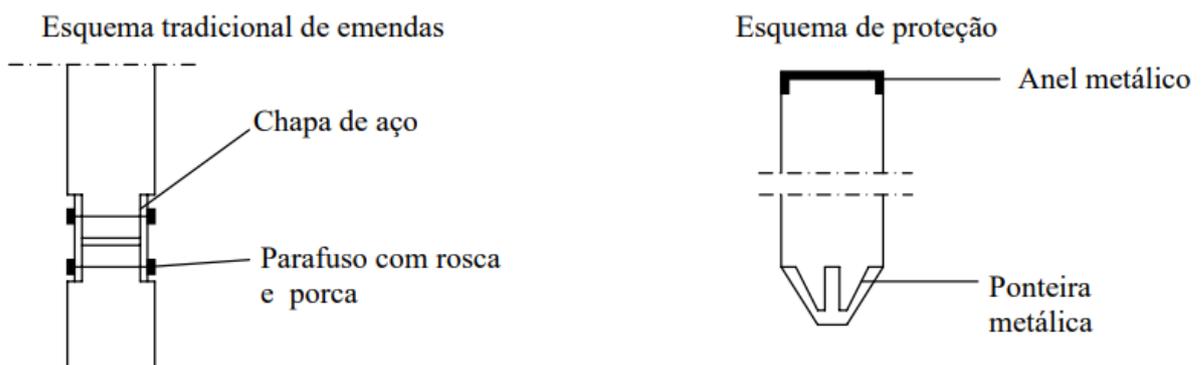
As principais vantagens desse tipo de estaca são: baixo custo, fácil obtenção, flexibilidade, leveza, boa resistência a choques e suportam bem a cavação (COSTA, 1956). Como desvantagens, pode-se citar: a deterioração quando submetida a variação de temperatura (TOMLINSON, 1998), limitação no tamanho, reduzida capacidade de resistência, facilidade de ocorrência de danos durante a cavação (VESIC, 1975) e dificuldade de aumentar o comprimento.

De acordo com a norma vigente no Brasil (NBR 6122/1996), as estacas de madeira devem seguir alguns padrões. Esses padrões são importantes para que a edificação se torne segura e para que a estaca se mantenha intacta ao final da obra. Dentre esses padrões, pode-se citar:

- A ponta e o topo devem ter diâmetros maiores que 15 cm e 25 cm, respectivamente;
- A reta que une os centros das seções da ponta e do topo deve estar integralmente dentro da estaca;
- Os topos das estacas devem ser convenientemente protegidos para não sofrerem danos durante a cravação; entretanto, quando, durante a cravação, ocorrer algum dano na cabeça da estaca, a parte afetada deve ser cortada, como é mostrado na figura 12;
- As estacas de madeira devem ter seus topos (cota de arrasamento) permanentemente abaixo do nível d'água; em obras provisórias ou quando as estacas recebem tratamento de eficácia comprovada, esta exigência pode ser dispensada;
- Em águas livres, as estacas de madeira devem ser protegidas contra o ataque de organismos;
- Em terrenos com matacões, devem ser evitadas as estacas de madeira;

- Quando se tiver que penetrar ou atravessar camadas resistentes, as pontas devem ser protegidas por ponteira de aço;
- As estacas de madeira podem ser emendadas, desde que estas emendas resistam a todas as solicitações que possam ocorrer durante o manuseio, cravação e trabalho da estaca. As emendas (figura 12) podem ser feitas por sambladuras, por anel metálico, por talas de junção ou qualquer outro processo que garanta a integridade da estaca.

Figura 12 - Estaca de madeira

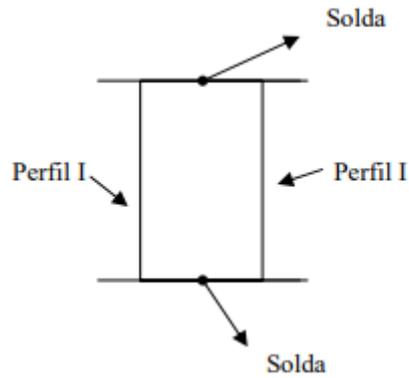


Fonte: FUNDAÇÕES – Professor Douglas Constancio – Engenheiro Lucas A. Constancio

3.2.2.3. Estacas metálicas

As estacas metálicas são estacas cavadas e podem assumir 3 formatos: perfil (novos), trilho (usados) e tubos (novos ou usados). Os perfis podem ser isolados ou soldados (figura 13), já os tubos podem ser preenchidos de concreto ou não (figura 14).

Figura 13 - Estaca metálica – perfil I



Fonte: FUNDAÇÕES - Professor Douglas Constancio – Engenheiro Lucas A. Constancio

Figura 14 - Estaca metálica – tubo

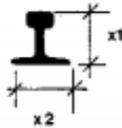
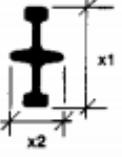
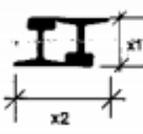
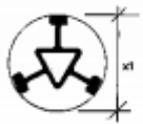
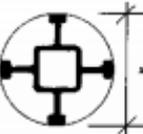


Fonte: FUNDAÇÕES - Professor Douglas Constancio – Engenheiro Lucas A. Constancio

As estacas de formato trilho são os trilhos de trem usados que não têm mais serventia, assim, são usados de outra forma como estacas de fundação. Cada formato de trilho apresenta uma dimensão e uma carga máxima/mínima específica de acordo com a figura 15.

Figura 15 - Estaca metálica – trilho

Estacas de perfis trilhos simples e compostos Padrão CSN.

Simbolos	TR	Dimensão x1/x2 (mm)	Espaçamento (cm)	Cargas min/max (T)	Tensão de ponta embuchada (Kg/cm ²)
	37	122,2/122,2	65 a 75	30 a 35	26,5 a 31,0
	45	142,9/130,2	75 a 85	35 a 40	25,0 a 28,6
	50	157,4/136,5	80 a 90	40 a 45	25,6 a 28,8
	57	168,3/139,7	85 a 95	45 a 55	25,6 a 31,3
	37	244,4/122,2	70 a 75	60 a 75	26,5 a 33,2
	45	285,8/130,2	75 a 85	75 a 85	26,9 a 30,5
	50	304,8/136,5	85 a 95	85 a 95	27,2 a 30,4
	57	336,6/139,7	100 a 110	95 a 110	27,1 a 31,3
	37	122,2/214,6	70 a 75	60 a 75	26,5 a 33,2
	45	142,9/246,9	75 a 85	75 a 85	26,9 a 30,5
	50	152,4/262,7	85 a 95	85 a 95	27,2 a 30,4
	57	168,3/287,0	100 a 110	95 a 110	27,1 a 31,3
	37	315,0	85 a 95	95 a 110	23,5 a 27,2
	45	361,0	90 a 100	110 a 130	22,4 a 26,4
	50	383,6	100 a 115	130 a 150	23,7 a 27,3
	57	417,3	115 a 130	140 a 165	22,9 a 27,0
	37	366,6	95 a 110	120 a 135	20,0 a 22,4
	45	416,0	100 a 115	145 a 165	19,9 a 22,6
	50	441,3	115 a 130	160 a 180	19,7 a 22,2
	57	476,3	130 a 145	180 a 205	20,0 a 22,8

Obs.: O espaçamento e a carga máxima serão determinados em função das sondagens de reconhecimento e/ou cravação de estaca prova.

Dimensões	Trilhos	A	B	C	D
	TR-37	122,2	122,2	62,7	13,5
	TR-45	142,9	130,2	65,1	14,3
	TR-50	152,4	136,5	68,2	14,3
	TR-57	168,3	139,7	69,0	15,9

Fonte: FUNDAÇÕES - Professor Douglas Constancio – Engenheiro Lucas A. Constancio

Esse tipo de estaca apresenta pouca desvantagem, como: poucos fornecedores e falta de conhecimento técnico. Porém, as vantagens são em grande quantidade: a estaca metálica não fissa, não quebra ou trinca; fácil descarga e manuseio; custo de transporte barato por conta do seu pouco peso;

pouca vibração durante a cavação; facilidade de emendas e elevada resistência a flexão e compressão.

As emendas das estacas metálicas podem ser feitas de duas maneiras. A emenda com luva metálica de justaposição é adequada para estacas que sofrem esforços de compressão (acoplamento e alinhamento na estaca toda). Já a emenda de estaca com luva metálica soldada deve ser usada em estacas que sofrem esforços de compressão, tração e flexão.

3.2.3.4. Estacas de concreto in loco

De acordo com a definição da NBR 6122 (2010), as estacas de concreto in loco são estacas que podem ser preenchidas com concreto ou argamassa e “colocadas” em perfurações previamente executadas no terreno.

Podem assumir várias formas para ser executadas, principalmente com hélices (contínuas ou descontínuas) que podem ser chamadas de estacas rotativas que perfuram o terreno da edificação já com uma profundidade específica determinada pelo o engenheiro responsável, com o auxílio da análise de solo, seja pela sondagem SPT ou outro método de estudo.

Nos próximos tópicos será explicado os tipos de estacas in loco.

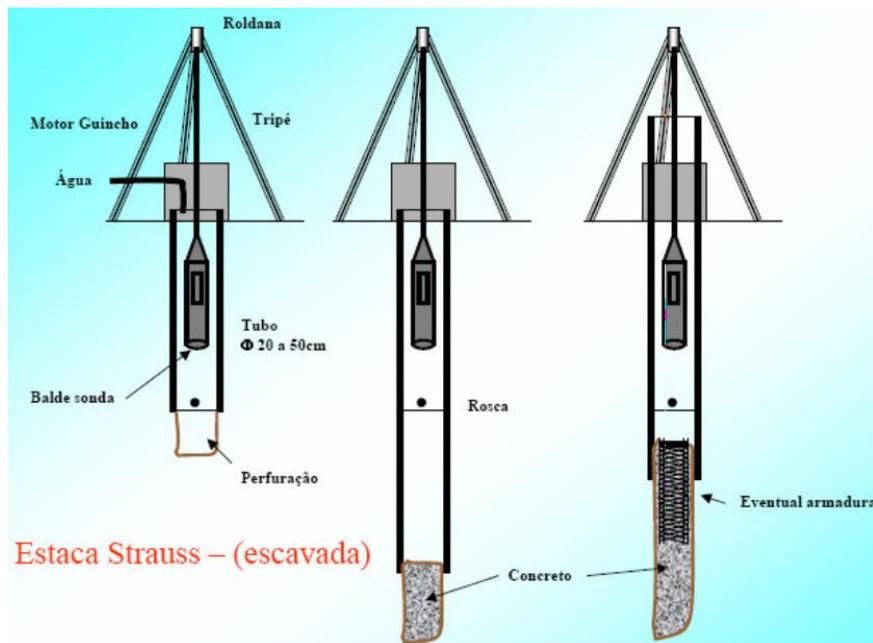
3.2.3.4. 1. Strauss

As estacas tipo Strauss são muito utilizadas na construção civil. São estacas moldadas “in loco” e de acordo com a NBR 6122 (1996) são executadas por perfuração através de piteira, com uso total ou parcial de revestimento recuperável e posterior concretagem.

Para sua execução, inicia-se com a escavação, onde é apoiado o tubo metálico da “strauss” (observando o centro do pilar) sobre o solo. Em seguida, inicia-se a escavação do solo por dentro desse tubo, de acordo que vai

aumentando a profundidade da escavação, o solo vai sendo retirado. Esse processo acontece para que o tubo “se enterre” (do tamanho do diâmetro da estaca). Depois inicia-se a colocação de 75cm de concreto, assim o tubo vai sendo retirado de acordo com a quantidade de concreto. Isso se repete até o concreto chegar a superfície. Esse processo pode ser observado na figura 16.

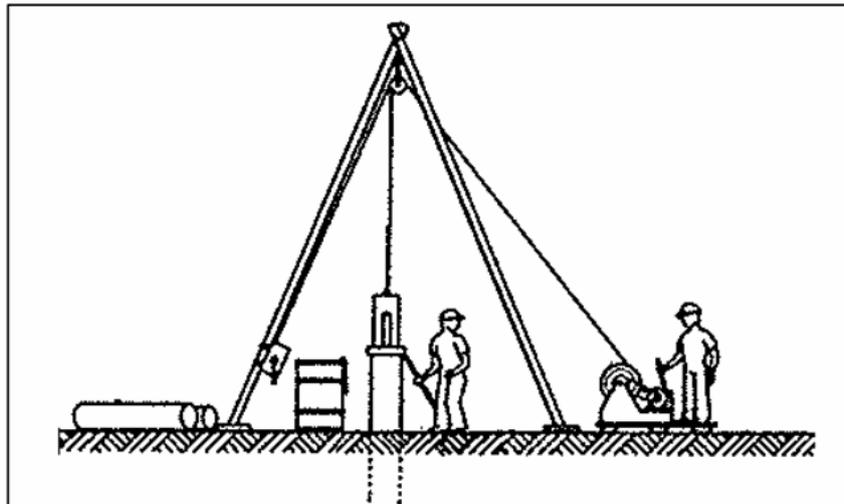
Figura 16 - Escavação do solo com o tubo Strauss



Fonte: Marinho, F. Mecânica dos Solos e Fundações – USP (2008)

A vantagem da estaca Strauss é que ela não provoca vibrações que poderiam causar estragos e deteriorações em edificações vizinhas. Outra vantagem desse tipo de estaca é a sua leveza e simplicidade no equipamento (figura 17), o que facilita na utilização em terrenos acidentados ou no interior de edificações já existentes. Ela ainda possui capacidade de carga variável com diâmetros diversos. Todos esses fatores contribuem para um baixo custo para sua realização. Entre as desvantagens, está no fato da execução ser lenta. Além disso, sua forma de cavação contribui para uma grande quantidade de lama retirada. Por isso, não se recomenda a utilização de estaca Strauss embaixo do nível d'água em solos arenosos ou argilosos, pode haver o estrangulamento do fuste durante a concretagem.

Figura 17 - Equipamento para estaca strauss



Fonte: FUNDAÇÕES - Professor Douglas Constancio – Engenheiro Lucas A. Constancio

A estaca strauss está disponível no mercado com cargas e características técnicas diferenciadas, como é observado na tabela 01:

Tabela 01 – Características estaca Strauss

CAPACIDADE DE CARGA (t)	DIÂMETRO NOMINAL (cm)	DIÂMETRO INTERNO DA TUBULAÇÃO (cm)	DISTÂNCIA MÍNIMA DO EIXO DA ESTACA A DIVISA (cm)
20	25	20	15
30	32	25	20
40	38	30	25
60	45	38	30
90	55	48	35

Fonte: FUNDAÇÕES - Professor Douglas Constancio – Engenheiro Lucas A. Constancio

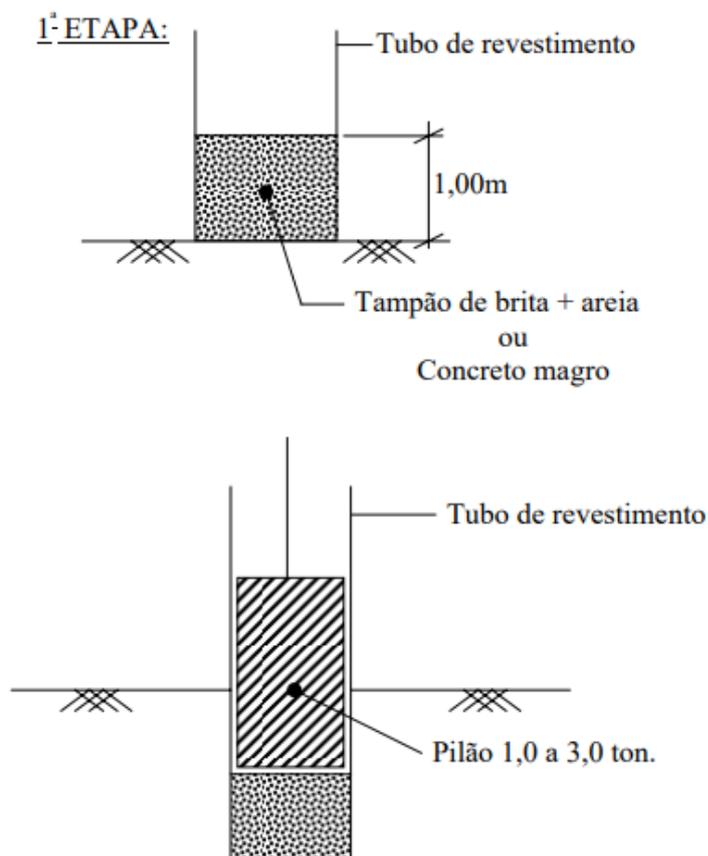
3.2.3.4.2. Franki

As estacas tipo Franki são executadas enchendo-se de concreto perfurações previamente executadas no terreno, através da cravação de tubo de ponta fechada, recuperado e possuindo base alargada. Este fechamento pode ser feito no início da cravação do tubo ou em etapa intermediária, por meio de material granular ou peça pré fabricada de aço ou de concreto. (ASSOCIAÇÃO

Esse tipo de estaca é executada com a cavação de um tubo de revestimento (com a ponta feita de bucha de brita e areia), que é socada por um pilão ou soquete. Elas são executadas a fim de obter bitolas finais do fuste de 300 mm, 350 mm, 400 mm, 450 mm, 520 mm, 600 mm e 700 mm (JOPPERT JUNIOR, 2007)

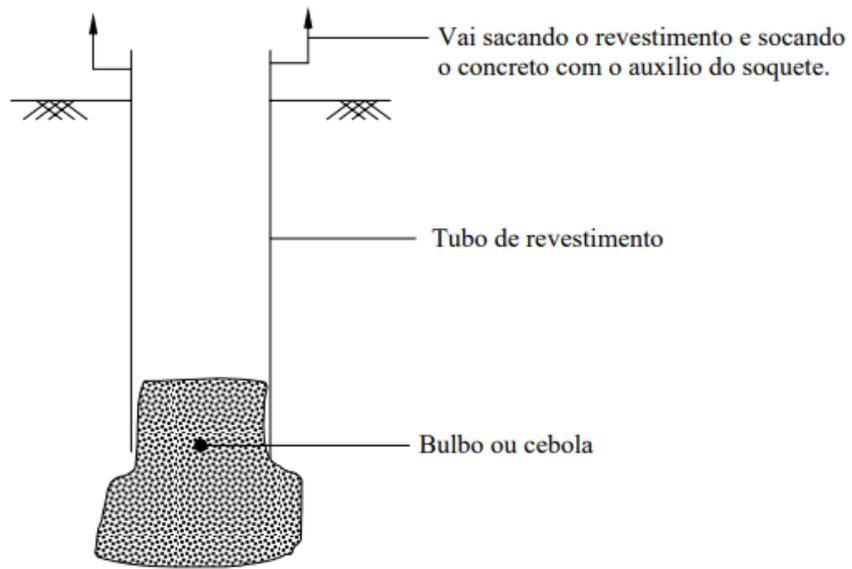
Execução da estaca Franki nas figuras 18, 19 e 20:

Figura 18 - 1ª Etapa da estaca Franki



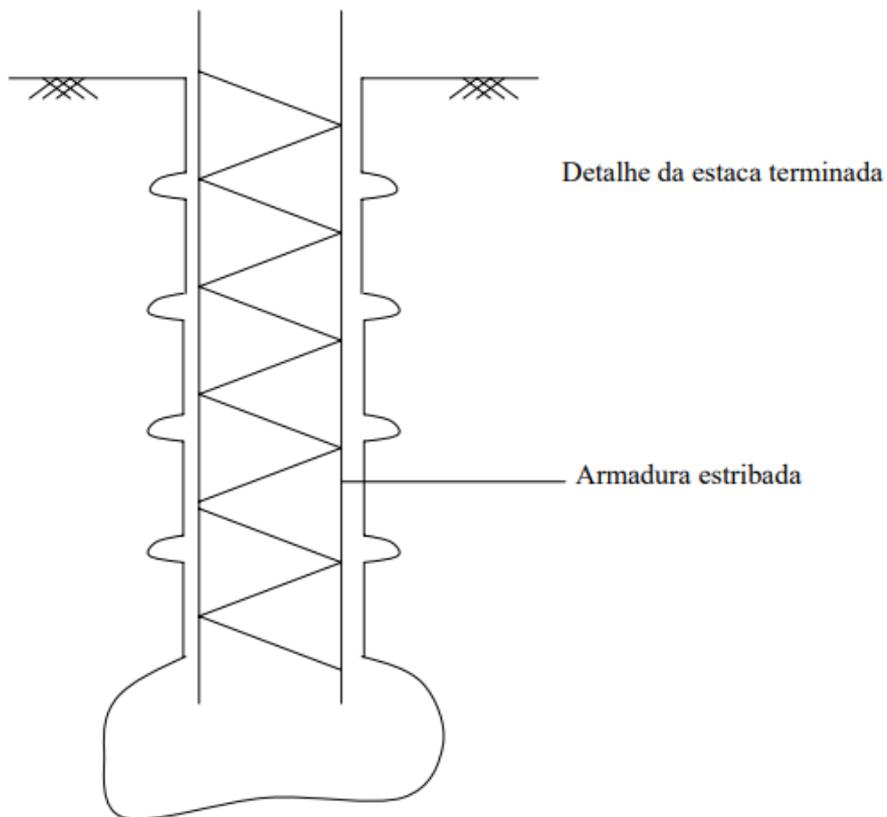
Fonte: FUNDAÇÕES - Professor Douglas Constancio – Engenheiro Lucas A. Constancio

Figura 19 - 2ª etapa da estaca Franki



Fonte: FUNDAÇÕES - Professor Douglas Constancio – Engenheiro Lucas A. Constancio

Figura 20 - 3ª etapa da estaca Franki



É na obra que se obtém o diagrama de cavação. Com esse diagrama, determina-se o número de golpes necessários para se cavar 50cm do tubo para um pilão de peso (P) caindo de uma altura (h), na tabela 02 mostra-se o peso mínimo dos pilões. (JOPPERT JUNIOR, 2007)

Tabela 02: Peso mínimo dos pilões

Øtubo (cm)	Peso mínimo (kN)	Diâmetro mínimo (cm)
300	10	180
350	15	220
400	20	250
450	25	280
520	28	310
600	30	380
700	45	450

Fonte: Joppert Junior (2007)

Após a cravação deve-se sempre conferir o levantamento das estacas próximas (JOPPERT JUNIOR, 2007).

As vantagens desse tipo de estaca são:

- Grandes comprimentos, em torno de 35m;
- Grande capacidade de carga;
- Não há desperdício de concreto (nega);
- Com a base alargada, tem-se uma melhor distribuição de cargas;
- Pode ser executada abaixo do N.A.

Como desvantagens, pode-se citar:

- Alto custo;
- Grande trepidação;
- Empolamento em argilas rijas e duras;
- Dificuldade no transporte.

As vibrações produzidas durante o seu processo, denominada tipo Standard, faz com que esse tipo de estaca perca espaço nos grandes centros urbanos. Por isso, ela sofreu grandes variações, podendo ser encontrada de outras formas, como a franki tubada, franki mista, franki com fuste quebrado, franki de martelo automático e franki com ponta aberta.

3.2.3.4.3. Escavada

Esse tipo de estaca também pode ser chamada em algumas regiões de estaca trado. É um dos elementos muito utilizado na construção civil brasileira. Em alguns casos, ele pode substituir os tubulões de ar comprimido.

O processo executivo consiste em escavação, posicionamento de armadura e concretagem. A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 6122/1996, diz que:

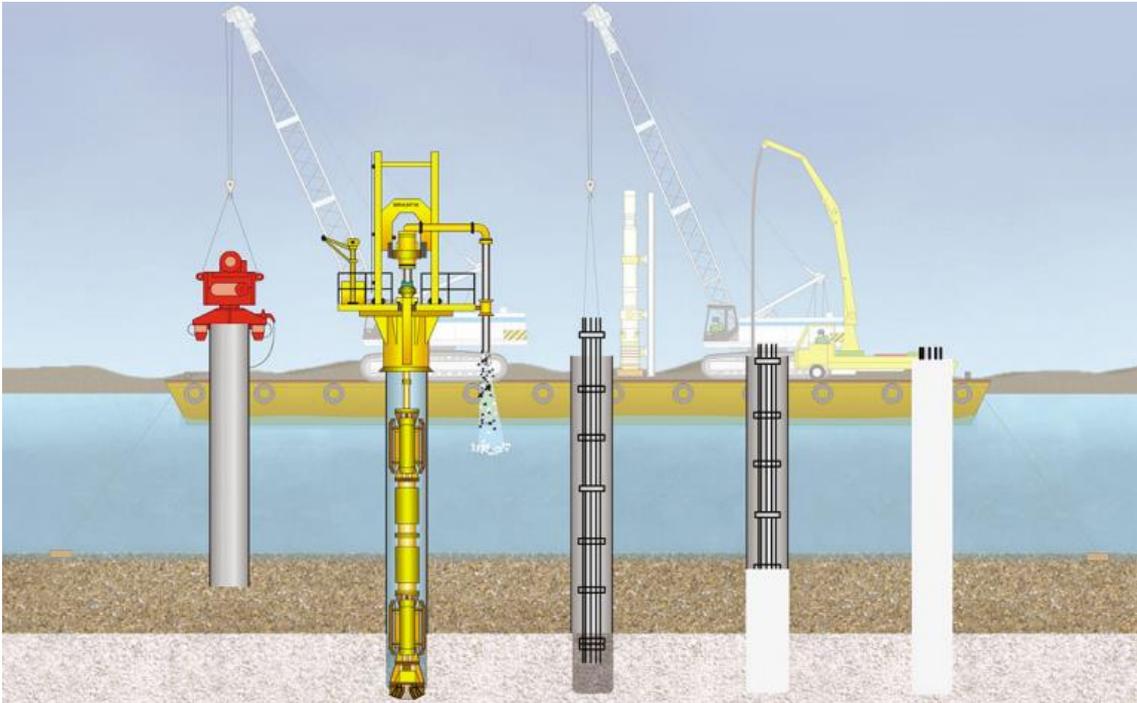
“O equipamento deve ser localizado de maneira a garantir a centralização da estaca. No caso de estacas de seção circular, deve ser usado tubo-guia de diâmetro 50 mm maior que o da estaca. No caso de outra forma da seção transversal da estaca, deve ser usada mureta-guia de concreto ou de aço com dimensões 50 mm maiores que as da estaca projetada. O comprimento enterrado do tubo-guia ou da mureta-guia não deve ser inferior a 1 m. Em qualquer dos casos, a perfuração é feita com ferramenta capaz de garantir a verticalidade da peça, concomitantemente com o lançamento da lama bentonítica, até a cota prevista no projeto ou até material impenetrável. Caso este material impenetrável esteja acima da cota prevista no projeto, este deve ser reavaliado e adequado às novas condições.”

Esse tipo de estaca pode ser utilizada em diversos tipos de solo, porém, quando associado a presença de nível água ou solos frágeis, deve-se tomar alguns cuidados.

Como vantagens, pode-se citar: ausência de vibrações durante a cavação; pode-se obter grandes profundidades; grande capacidade de carga e é possível a execução abaixo do N.A. A desvantagem que esse tipo de estaca apresenta é que a aderência entre armadura e concreto pode ser prejudicada quando a lama é densa.

Em rochas, a estaca escavada segue esta sequência construtiva (M. MARANGON, 2009), de acordo com a figura 21:

Figura 21 - Estaca escavada em rocha



Fonte: M. Marangon, 2009

1. Cravação de camisa metálica até o topo da rocha;
2. Colocação da perfuratriz Wirth e escavação em rocha por circulação reversa;
3. Colocação da armadura;
4. Concretagem submersa da estaca;
5. Estaca pronta.

3.2.3.4.4. Broca

É executada com trado manual ou mecânico, sem uso de revestimento. A escavação deve prosseguir até a profundidade prevista. Quando for atingida a profundidade, faz-se a limpeza do fundo com a remoção

do material desagregado eventualmente acumulado durante a escavação. Dadas as condições de execução, estas estacas só podem ser utilizadas abaixo do nível de água se o furo puder ser seco antes da concretagem. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6122/1996).

De início, utiliza-se o trado manualmente para fazer a perfuração, que varia de 15cm a 25cm de diâmetro e até 6m de profundidade (figura 22). Depois da perfuração, faz-se a concretagem in loco. As estacas tipo broca são empregadas em construções de pequena carga, pela limitação do processo de execução.

Tabela 03 - Cargas da estaca tipo broca

Diâmetro (cm)	Tensão (MPa)	Carga Usual (kN)	Carga máxima (Kn)
15	3,0 a 4,0	50	70
20	3,0 a 4,0	100	150
25	3,0 a 4,0	150	200

Figura 22 - Estaca tipo broca.



Fonte: M. Marangon, 2009.

As vantagens desse tipo de estaca são:

- Custo reduzido;
- Facilidade construtiva;
- Ausência de vibração;

Como desvantagens, pode-se citar:

- Limitada a solos coesivos;

- Profundidade limitada (8 metros);
- Concreto sem controle;
- Baixas cargas.

3.2.3.4.5. Estacão

A estaca tipo estação é executada por escavação mecânica com equipamento rotativo e caçambas, possui seção circular (figura 23). A permeabilidade, nível do lençol freático e presença de matacões ou camadas enrijecidas são fatores que interferem na cavação da estaca. No que diz respeito à verticalidade, a qualidade da escavação está ligada diretamente a condição da lama e o estado dos equipamentos.

Figura 23 - Maquinário usado na estaca tipo estação



Fonte: www.geofix.com.br/site2010/servicos/estacas-escavadas-de-grande-diametro-e-barrete/introducao.html

Esse tipo de estaca pode chegar até 60 metros de profundidade e utiliza apenas uma camisa metálica para sua cavação. A escavação é preenchida com

lama bentônica, um tipo de argila da família das montmorilonita encontrada em depósitos naturais.

Vantagens da estaca tipo estação:

- Rápida execução;
- Pode ser executada abaixo do nível de água;
- Profundidades máximas até 80 metros;
- Não produz vibrações;
- É econômica para obras de grande porte;

Desvantagens da estaca tipo estação:

- A água subterrânea pode causar dano no concreto pois pode reduzir a capacidade de carga da estaca;
- É uma solução não econômica para obras de porte pequeno;
- Necessita-se de local adequado para a deposição do solo escavado;
- Pode ocorrer estrangulamento da seção da estaca em solo compressível.

3.2.3.5. Tubulões

Elemento de fundação profunda, cilíndrico, em que, pelo menos na sua etapa final, há descida de operário. Pode ser feito a céu aberto ou sob ar comprimido (pneumático) e ter ou não base alargada. Pode ser executado com ou sem revestimento, podendo este ser de aço ou de concreto. No caso de revestimento de aço (camisa metálica), este poderá ser perdido ou recuperado. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6122/1996)

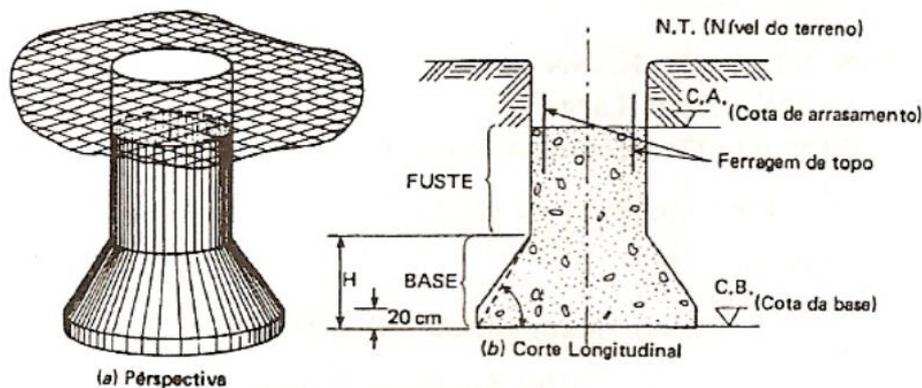
O tubulão é uma estaca de grande porte que pode ser tratada como estaca moldada in loco. O grande diferencial da estaca tipo tubulão, em relação as outras fundações profundas, é que ela transmite carga para o subsolo através do contato com a base com o solo de apoio, semelhante a uma fundação direta.

Para a escolha do tipo de tubulão a ser usado, deve ser considerado aspectos como a posição do nível de água, o tipo de solo ser penetrado, o custo e prazo disponível para a execução da fundação. Os tipos de fundações

profundas em tubulões são os tubulões a céu aberto e os tubulões sob ar comprimido.

Os tubulões de céu aberto (figura 24) normalmente são realizados acima do nível d'água ou rebaixados. Podem ser realizados também em solos saturados onde não há riscos de desmoronamentos, pois a água é bombeada.

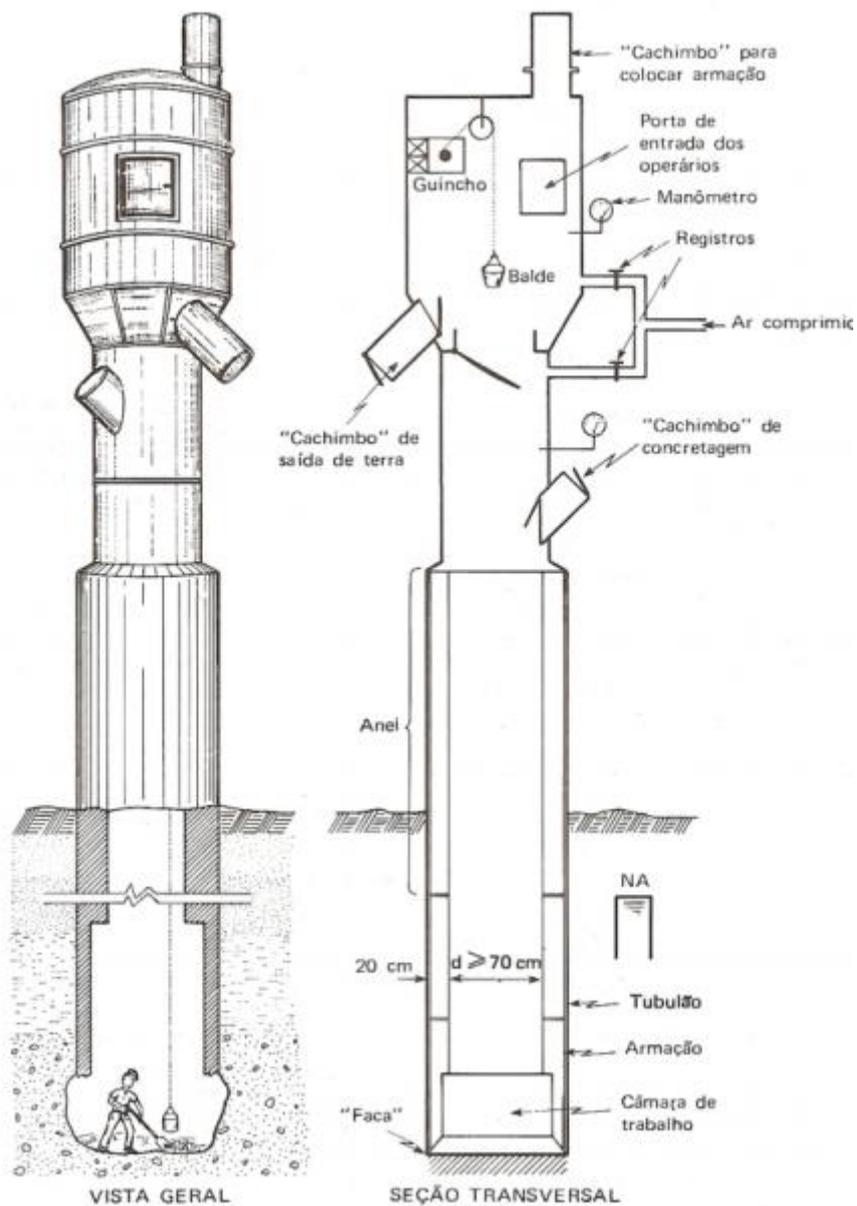
Figura 24 - Tubulão a céu aberto



Fonte: <http://www.lmsp.ufc.br/arquivos/graduacao/fundacao/apostila/04.pdf> acessado em 7/10/2020

Os tubulões sob ar comprimido são usados em terrenos que haja água e não há possibilidade de esgotamento, com riscos de desmoronamento das paredes de escavação. Podem ser com camisas de concreto ou de aço. A profundidade limitada abaixo do nível d'água é de 30 metros pois a pressão máxima empregada é de 3,4atm. Ainda há necessidade de que os equipamentos sigam rigorosamente os tempos de compressão e descompressão descritos pela normal para que não haja nenhum acidente.

Figura 25 - Tubulão sob ar comprimido



Fonte: <http://www.lmsp.ufc.br/arquivos/graduacao/fundacao/apostila/04.pdf> acessado em 7/10/2020

Quando comparado aos outros tipos de fundação, as vantagens dos tubulões são:

- As vibrações do processo construtivo são de muito baixa intensidade, quase não existem;
- Os custos são menores que do tipo bate-estacas e outros equipamentos;

- O diâmetro e o comprimento do tubulão podem ser modificados durante a escavação;
- É possível apoiar cada pilar em um único fuste, em lugar de apoiar em diversas estacas.
- Pode-se observar as condições do solo retirado durante a sua construção, para comparar com o previsto.

4. CONCLUSÃO

De acordo com o estudo desse trabalho, conclui-se que há uma grande necessidade e importância no projeto estrutural de fundação de uma edificação. São várias opções de uso que serão determinadas através do tipo de solo, terreno, localização e o projeto ao todo. A escolha correta, irá determinar o bom funcionamento e fluidez da obra, garantindo a segurança da edificação e da futura utilização. O estudo do solo é de grande importância para determinar o grau de resistência que o terreno tem. Depois das escolhas mais seguras, pode-se observar e analisar as vantagens e desvantagens dos tipos de fundações viáveis, levando em consideração o financeiro do investidor.

Conclui-se que a fundação de uma edificação pode assumir várias formas. É importante que o engenheiro responsável pela obra faça todo o estudo para que seja feita a melhor escolha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Projeto estrutural de sapatas**. 2007. TCC (Graduação) - Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Sapatas.pdf>. Acesso em: 11 agos. 2020.
- BASTOS, Prof. Dr. Paulo Sérgio dos Santos. **Sapatas de fundação**. 2016. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Unesp, Bauru, 2016. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas.pdf>. Acesso em: 11 agos. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Fundação: manual de estruturas**. São Paulo: ABCP. Disponível em: http://redefederal.mec.gov.br/images/pdf/setec_orientacoes_sobre_escolha_de_fundacoes.pdf. Acessado em: 11 agos. 2020.
- AZEREDO, Hélio Alves de. **O Edifício Até sua Cobertura**. São Paulo. Ed. Edgar Blucher Ltda., 1977.
- BRITO, José Luis Wey de. **Fundações do edifício**. São Paulo, EPUSP, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6118:2014. **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6122:2010. **Projeto e execução de fundações**. NBR 6122. Rio de Janeiro, 2010.
- DÓRIA, Luiz Eduardo Santos. **Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier**. 2007. Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2007.
- HACHICH, Waldemar. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 33 p.
- DANTAS NETO, S.A. **Fundações e obras de contenção**. Fortaleza, 2008. 134 p. Notas de aula da disciplina Fundações e Obras de Contenção – Curso de Engenharia Civil/UFC.
- MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- Borgatto, A. V. A. **Mecânica dos solos**. Rio de Janeiro: Estácio, 2017.
- CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.; ALBIERO, J.H. **Fundações diretas**. São Paulo, Oficina de Textos. 2011.
- BASTOS, P (2016). **Notas de aula – Sapatas de fundação**. Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista.

GOMES, Valtencir. **Tecnologia das Construções I**, Universidade da Amazônia.

Engenharia, ARCOS. Entenda as diferenças entre fundações rasas e fundações profundas?. Disponível em: <https://arcos.eng.br/entenda-as-diferencas-entre-fundacoes-rasas-e-fundacoes-profundas/>. Acessado em: 24 ago. 2020.

CAUDURU, E.L. **Execução de Radiers Protendidos**. 2000. Trabalho apresentado no 42º Congresso Brasileiro do Concreto.

ALONSO, U.R. (1996) **Estacas premoldadas**. In: Fundações: Teoria e Prática. São Paulo: PINI, cap 9, p. 373-399.

FUNDAÇÕES - Professor Douglas Constancio – Engenheiro Lucas A. Constancio. Disponível em: <[http://www.helix.eng.br/downloads/estacas_\(6\).pdf](http://www.helix.eng.br/downloads/estacas_(6).pdf)> acessado em: 15 set 2020

JOPPERT JUNIOR, Ivan. **Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. São Paulo: PINI Ltda, 2007.