

NOTAS DE AULAS

MECÂNICA DOS SOLOS

FUNDAÇÕES

2010

FUNDAÇÕES

I. INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

A. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A investigação das propriedades mecânicas dos solos é fundamental para que sobre ele se assente uma edificação com a segurança necessária.

Mesmo que isto implique em uma despesa adicional, este custo não é relevante se forem consideradas as despesas que um reforço de fundação envolve, as conseqüências de sedimentos de fundação na supra estrutura e até os riscos de rupturas inesperadas. O conhecimento do solo é condição necessária para a elaboração de um projeto de fundação racional e seguro.

B. SONDAGENS DE RECONHECIMENTO - NBR – 8036

A NBR – 8036 indicam exigências mínimas para garantir o reconhecimento das condições do solo.

Alguns itens básicos de uma investigação de sondagem são:

- Número mínimo de sondagens;
- Localização dos furos de sondagem;
- Profundidade.

B.1. Número mínimo de sondagens

Em qualquer caso o número mínimo de sondagens deve ser dois.

Deve ser feito um furo a cada 200 m² de edificação em planta de até 1200 m² e um furo a cada 400 m² de edificação em planta para áreas entre 1200 e 2400 m². Para áreas superiores a 2400 m², deve ser realizado plano específico.

Para áreas de edificação em planta menores do que 200 m², no mínimo 2 furos e para áreas entre 200 e 400 m², no mínimo 3 furos.

B.2. Localização dos furos

Distância máxima de 100 m entre furos, sendo a distância adotada normalmente, entre 15 a 20 m.

Devem ser priorizadas as posições relevantes na obra e pontos de maior carga, assim como, por exemplo, escadas, elevadores e reservatórios. Esta priorização pode ser atendida de antemão se já for conhecido o projeto arquitetônico da edificação, caso contrário, podem surgir pontos de sondagem a analisar após a definição do projeto.

As sondagens não devem estar alinhadas e devem ser realizados furos próximos aos extremos da área.

B.3 Profundidade da sondagem

A profundidade que devemos atingir na sondagem é normalmente até a camada impenetrável, a partir de ensaios de campo usuais.

Também se pode definir a profundidade, em alguns tipos de fundação, com consulta ao projetista. Utilizam-se nestes casos as sondagens rotativas.

C. MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO

Os métodos de investigação adotados classificam-se em:

- Indiretos
- Diretos
- Semi-diretos

C.1. Métodos Indiretos

Permitem determinar apenas a existência de singularidades no terreno como, por exemplo, a presença de grandes blocos de rocha, cavidades subterrâneas, espessuras de camadas e a presença ou não de lençol freático.

São importantes para o estudo preliminar de grandes obras de engenharias (barragens, aeroportos) e devem ser utilizados em conjunto com Métodos Diretos.

C.2. Métodos Diretos

Permitem a retirada de amostras do solo, e conseqüentemente, sua identificação, classificação e a resistência das suas diversas camadas.

Um exemplo típico é o Ensaio SPT (Standard Penetration Test)

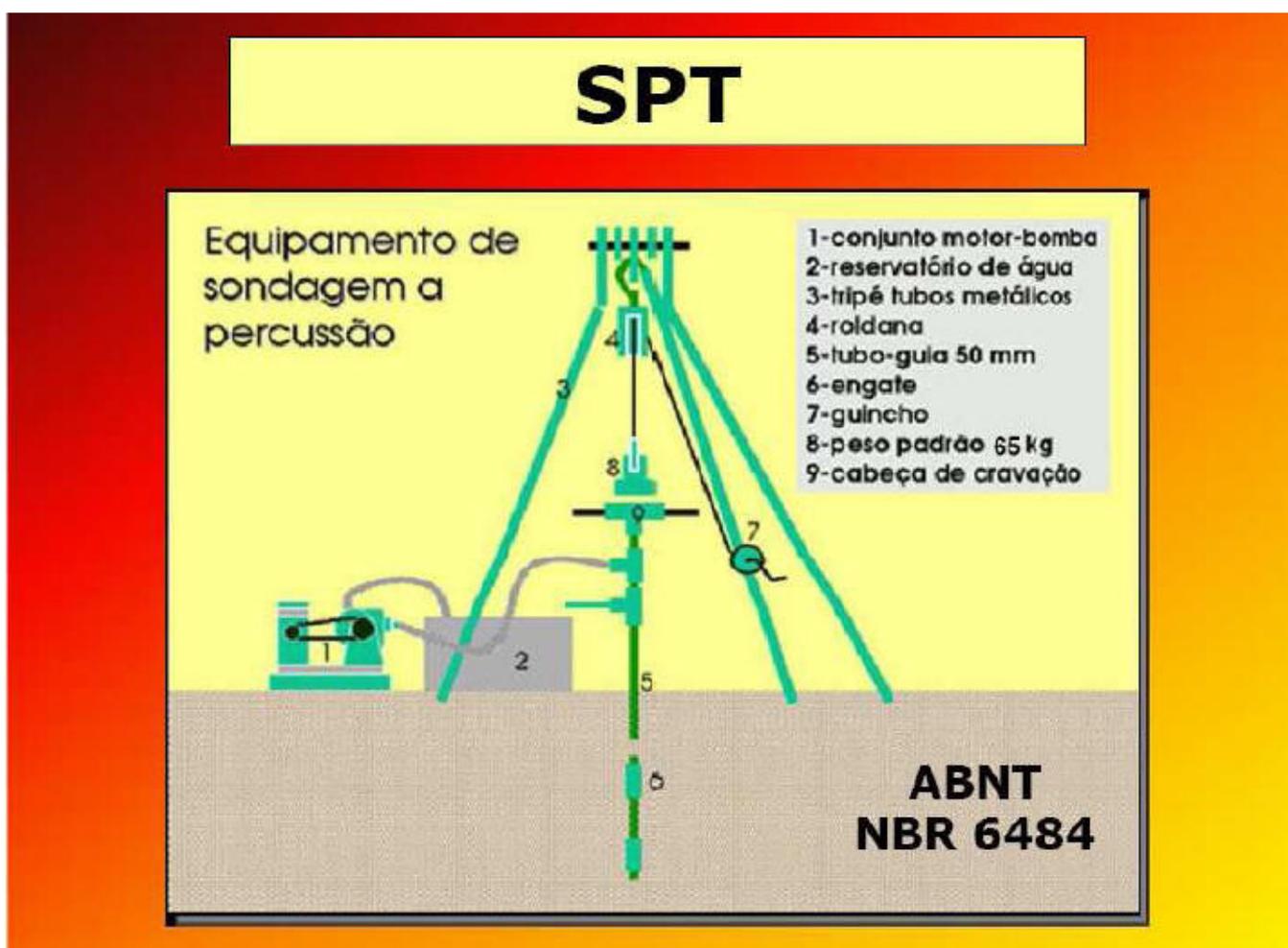


Figura 1

É o método mais difundido no Brasil pelo seu baixo custo e simplicidade do equipamento.

Permite obtenção de valor numérico de ensaio que pode ser relacionado com regras empíricas de projetos.

Sua execução é feita nas seguintes etapas:

- Coletar amostras do tipo de solo, através da retirada de uma amostra deformada a cada 1 metro de profundidade;
- Obter a resistência ($N = n^\circ$ de golpes) oferecida pelo solo à cravação do amostrador padrão, à cada metro;
- Obter a posição do nível d'água (lençol freático)
- O procedimento de realização deste método é bastante simples: a cada metro de profundidade, contar o número de golpes para penetrar 15 cm, até atingir-se 45 cm.
- De 0 a 30cm obtém-se o n° de golpes da 1ª penetração – N1
- De 15 a 45 cm obtém-se o n° de golpes da 2ª penetração – N2
- Para fins de avaliar-se, posteriormente, a capacidade de carga do solo, adota-se o número necessário para penetrar os últimos 30cm ($NSPT = N2$)



Figura 2



Figura 3

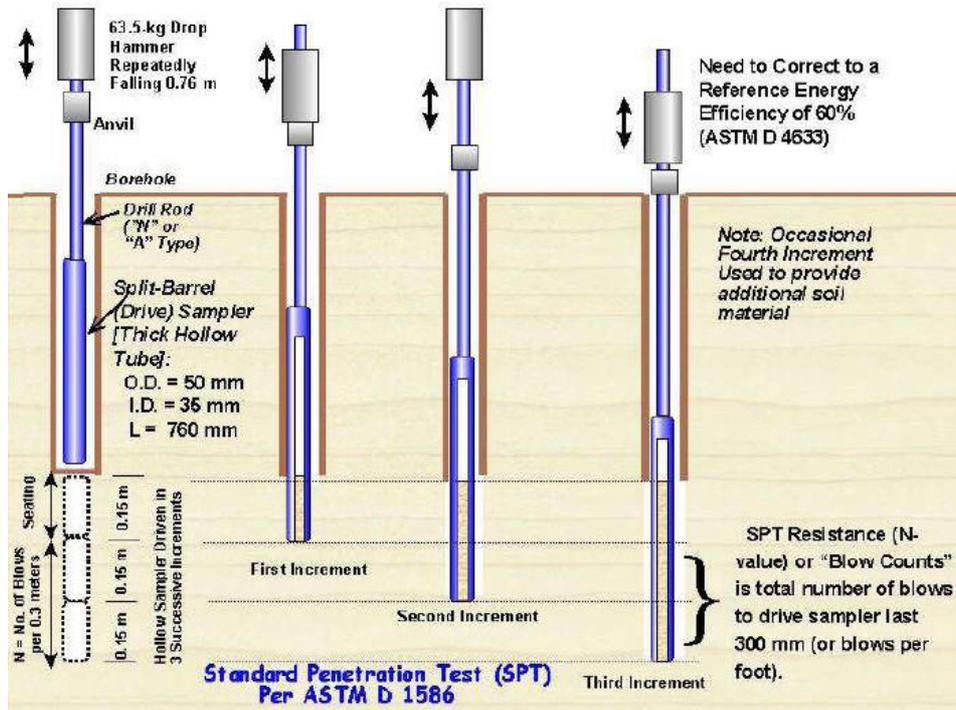


Figura 4

C.3. Métodos Semi diretos

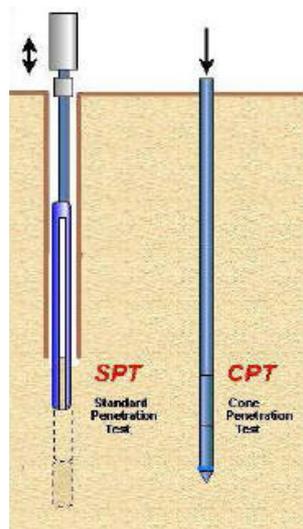
Fornecem propriedades de engenharia como compressibilidade e resistência dos solos e rochas *'in situ'*.

Não indicam o tipo de solo e não *'recolhem'* amostras. Em muitos casos são também conhecidos como métodos complementares aos Métodos Diretos.

Um exemplo típico é o Ensaio CPT (Cone Penetration Test)

É um ensaio recente no Brasil, e iniciou-se a partir dos anos 90. É mais oneroso do que o direto, porém mais preciso, pois *'elimina'* a influência do operador na obtenção dos dados do ensaio.

Tem por objetivo a obtenção de parâmetros geotécnicos de correlação direta com o comportamento de estacas (fundações profundas). Classifica e estratigrafia dos solos. É muito interessante para fundações profundas – estacas – pois permite a determinação de parâmetros como a Resistência de Ponta e Resistência Lateral.



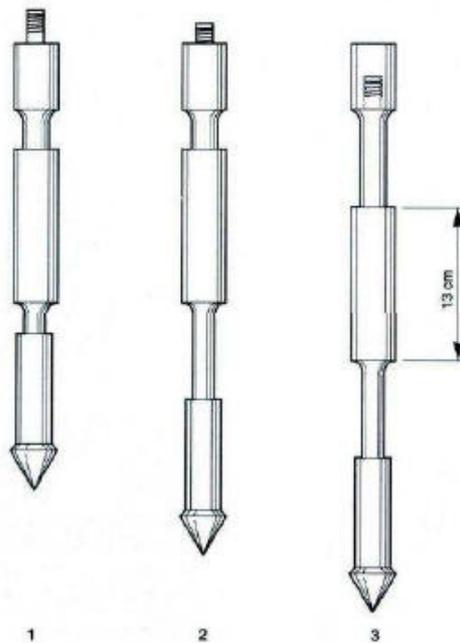


Figura 5

Comparação SPT/CPT		
Item	SPT	CPT
Solos	Praticamente todos	Evita-se cascalhos ou argilas muito duras
Correlações empíricas	Farta disponibilidade	Ainda em crescimento
Repetitividade	Questionável	Excelente
Precisão	Muitas fontes de erros	Preciso
Resolução	Intermitente (m/m)	Contínua
Amostras de solo	Proporciona	Não proporciona
Padronização do equipamento	Variável	Padronizado
Custo	RS 35,00/m	RS65,00/m

Figura 6

D. CAPACIDADE DE CARGA DOS SOLOS

Capacidade de carga é a tensão limite que uma fundação impõe à superfície em que se assenta, a partir da qual a estrutura não mais se comporta adequadamente.

Tal limite, conforme pode estar associado a duas condições: limite último (condição de colapso ou ruptura do terreno) e limite de utilização (condição de deformação inaceitável e que compromete a funcionalidade da estrutura).

De acordo com a NBR 6122/94 – Projeto e Execução de Fundações, a tensão admissível pode ser estimada segundo métodos teóricos, semi-empíricos, e empíricos.

Os métodos semi-empíricos são os mais usados e são aqueles em que as propriedades dos solos seriam estimadas com base em correlações, para, em seguida, serem aplicadas fórmulas teóricas, adaptadas ou não. Na maioria dos casos, a estimativa de parâmetros (resistência e compressibilidade) é feita com base na resistência à penetração medida em sondagem, N (STP), ou na resistência de ponta do ensaio de penetração estática do cone.

Foi em forma de tabelas que apareceram as primeiras recomendações para a estimativa da tensão admissível. Estas tabelas, em geral, constavam em códigos de obras de grandes cidades ou em normas como a DIN, por exemplo.

A aplicação dos valores das tabelas estaria sujeita a uma série de limitações envolvendo profundidade de apoio, tipo de solo, existência ou não de camadas compressivas, etc. Com a evolução, veio o advento das Normas Brasileiras para Projeto de Fundações (NBR 6122/94), e as tabelas de tensões admissíveis passaram a fazer parte das recomendações para projeto. Reproduz-se na Tabela abaixo o quadro constante na última revisão da NBR 6122/94. Convém destacar que a norma brasileira não determina tensões admissíveis, mas tensões básicas com as quais é possível determinar a tensão admissível.

De acordo com a norma, as tensões básicas apresentadas na tabela 10 servem como uma orientação inicial, uma vez que, devido à imensa variedade de solos existente no país, valores mais adequados poderão ser obtidos em cada região, mediante investigações de campo e laboratório acopladas ao acompanhamento do desempenho da fundação.

Estimativa das tensões admissíveis básicas (NBR 6122/94).

Tensões Básicas - σ_0		
Classe	Descrição*	Valores (MPa)
1	Rocha sã, maciça, sem laminações ou sinal de decomposição	3
2	Rochas laminadas, com pequenas fissuras, estratificadas	1,5
3	Rochas alteradas ou em decomposição	**
4	Solos granulares concrecionados, conglomerados	1
5	Solos pedregulhosos, compactos a muito compactos	0,6
6	Solos pedregulhosos fofos	0,3
7	Areias muito compactas	0,5
8	Areias compactas	0,4
9	Areias medianamente compactas	0,2
10	Argilas duras	0,3
11	Argilas rijas	0,2
12	Argilas médias	0,1
13	Slites duros (muito compactos)	0,3
14	Slites rijos (compactos)	0,2
15	Slites médios (medianamente compactos)	0,1

* Para a descrição dos diferentes tipos de solo, devem-se seguir as definições da NBR 6502.

** Para rochas alteradas ou em decomposição, tem que se levar em conta a natureza da rocha matriz e o grau de decomposição ou alteração.

Para calcular as tensões admissíveis a partir das tensões básicas é necessário adequar geometricamente cada caso analisado.

O ensaio de prova de carga direta no terreno de fundação, também conhecido como “ensaio de placa”, consiste em uma prova de carga em modelo reduzido (ou não) de uma sapata. É o único método experimental que permite determinar a carga de ruptura e também o comportamento tensão-recalque do sistema solo-fundação.

A origem do ensaio é muito antiga, anterior aos conceitos clássicos da mecânica dos solos. O ensaio de placa é de rápida execução e de baixo custo, mas estranhamente o seu emprego na prática corrente de obras de engenharia é muito raro. O seu emprego tem se pautado em estudos acadêmicos, quando se deseja testar correlações entre outros ensaios de campo e as propriedades do terreno.

II. FUNDAÇÕES

A. CONCEITO

Em uma edificação, a fundação é o elemento que faz a ligação entre a estrutura e o solo que a sustenta.

Uma fundação corretamente projetada tem como função suportar todas as cargas que atuam sobre ela e distribuí-las de maneira satisfatória sobre as superfícies que fazem contato com o solo sobre o qual se apóia. Para que cumpra sua função de maneira eficaz, essa distribuição não deve produzir tensões excessivas ou não homogêneas no solo a qualquer profundidade sob a fundação.

Considera-se excessiva qualquer tensão que possa provocar uma ruptura na massa de solo em que a fundação se apóia, bem como inclinações e recalques apreciáveis do conjunto estrutural. Também se considera excessiva aquela tensão que produz recalques desiguais na estrutura, de sorte que esta venha a apresentar fissuras ou avarias.

Torna-se evidente a importância do adequado emprego das fundações, uma vez que nenhuma estrutura pode subsistir sem uma base apropriada. O emprego de fundações inadequadas pode causar danos devido a rupturas no solo, escorregamentos de terraplenos, fissuras e avarias na edificação e, por fim, em casos extremos, até mesmo desabamentos de toda a edificação. Assim, as fundações – como qualquer outra parte da estrutura – devem ser projetadas e executadas para garantir, sob a ação das cargas em serviço, as condições mínimas de segurança, funcionalidade e durabilidade necessárias à obra.

Com relação à segurança, uma fundação deve atender aos coeficientes de segurança contra rupturas, fixados por normas técnicas, tanto no que diz respeito à resistência dos elementos estruturais que a compõem, quanto às do solo que lhe dá suporte. Quanto à funcionalidade, deve garantir deslocamentos compatíveis com o tipo e finalidade a que se destina a estrutura. Os recalques devem ser estimados, na fase do projeto, num trabalho conjunto entre as equipes que calculam a estrutura e a fundação.

No que se refere à durabilidade, uma fundação deve apresentar vida útil no mínimo igual à da estrutura. Torna-se necessário, no que se refere a esse aspecto, um estudo minucioso das variações de resistência dos materiais constituintes da fundação, do solo e das cargas atuantes ao longo do tempo.

Existem, basicamente, dois tipos de fundações: as fundações rasas ou superficiais e as fundações profundas.

Tem-se o primeiro tipo quando o mecanismo de ruptura prolonga-se até a superfície do terreno, conforme mostra a figura 7(a).

Ocorrem fundações profundas quando o mecanismo de ruptura não atinge a superfície, como mostra a figura 7(b).

Admitindo o embutimento da fundação no terreno como a distância “D” e a menor dimensão da fundação como “B”, os autores postulam que uma fundação poderá ser considerada profunda quando:

$$\frac{D}{B} \geq 2,5 \quad \text{e} \quad D \geq 3\text{m}$$

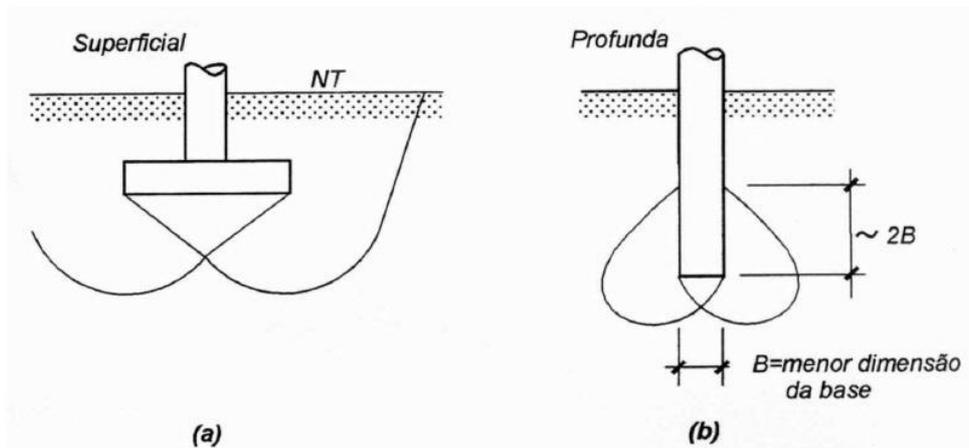


Figura 7

III. FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Com relação às fundações superficiais, sua classificação se dá conforme sua forma e característica morfológica e de distribuição de tensões. Reproduzindo a classificação proposta pela NBR-6122, tem-se:

- **blocos** – elemento de concreto simples tronco-cônico ou piramidal, dimensionado de forma a resistir tensões de tração sem auxílio de armaduras;
- **sapatas** – elemento de menor altura relativa que o bloco, utilizando-se de armaduras para resistir às tensões de tração;
- **vigas de fundação** – elemento que recebe pilares alinhados no seu plano;
- **grelhas** – conjunto de vigas de fundação que se cruzam na intersecção com os pilares – e
- **radier** – elemento de fundação que recebe todos os pilares da obra.

A figura 8 apresenta uma seqüência de ilustrações da tipologia de fundações superficiais.

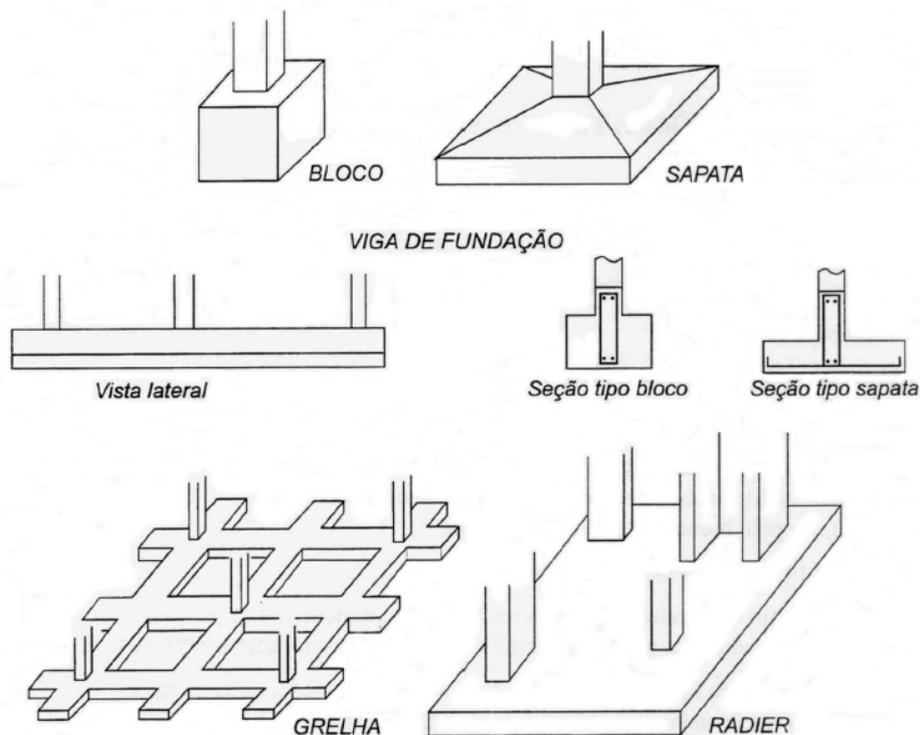


Figura 8

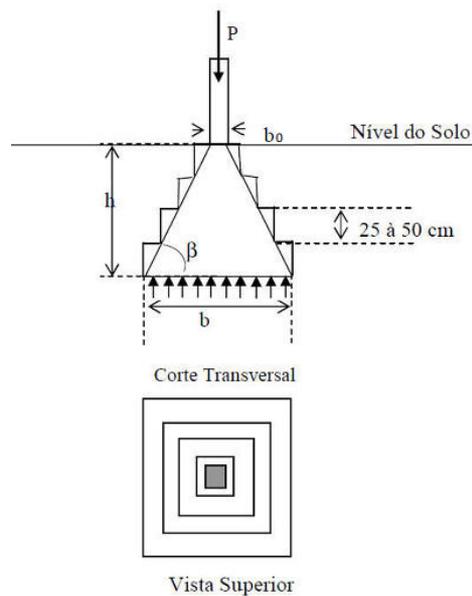
A. BLOCOS

As sapatas e os blocos são os elementos de fundações superficiais mais simples, bem como os mais econômicos, desde que seja possível sua adoção.

Blocos são elementos de apoio construídos de concreto simples e caracterizados por uma altura relativamente grande, necessária para que trabalhem essencialmente à compressão. Servem de fundação à pilares.

Normalmente os blocos assumem a forma de um bloco escalonado ou de um tronco de cone. A altura h de um bloco de fundação é calculada de tal forma que as tensões de tração atuantes no concreto possam ser absorvidas pelo mesmo sem a necessidade de armar o piso da base.

Bloco Escalonado:



Bloco Tronco de Cone:

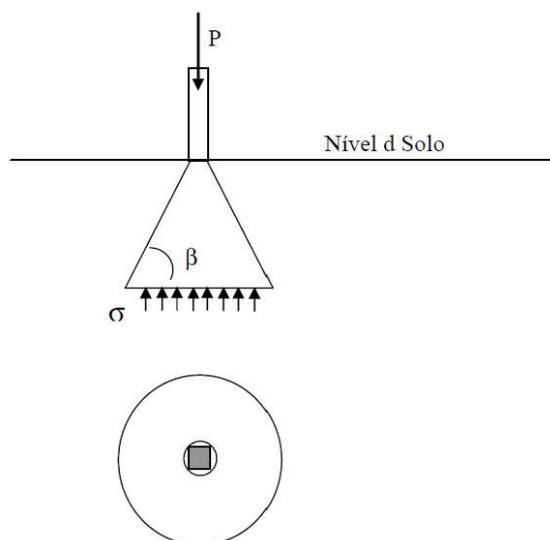


Figura 9

Onde:

P – Carga do pilar da supra estrutura

b_0 – largura do pilar

b – Largura do bloco

Para cargas reduzidas, os blocos são mais econômicos que as sapatas, pois o consumo de concreto é pequeno e não há necessidade de armação. Entretanto, não há restrições de seu emprego também para cargas elevadas.

B. SAPATAS

As sapatas têm altura reduzida e relação aos blocos e trabalham principalmente resistindo à flexão. O fato de ter flexão na sapata implica na necessidade de armadura, ou seja, é construída em concreto armado.

Podem assumir qualquer forma em planta, sendo mais comuns as quadradas, retangulares e contínuas (comprimento maior do que cinco vezes a largura).

Além dos tipos acima se deve citar as sapatas associadas, pois em caso de proximidade de pilares não é possível projetar-se uma sapata isolada para cada pilar.

No caso de pilares de divisa ou junto ao alinhamento de uma calçada, não é possível projetar-se a sapata centrada no pilar, recorrendo-se então à uma viga de equilíbrio a fim de corrigir a excentricidade existente.

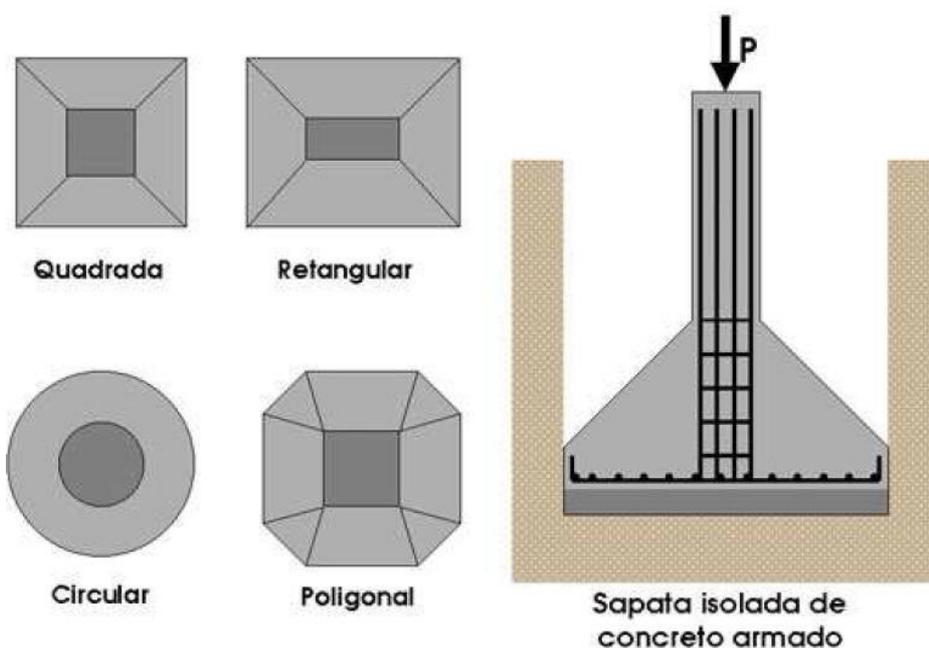


Figura 10



Figura 11

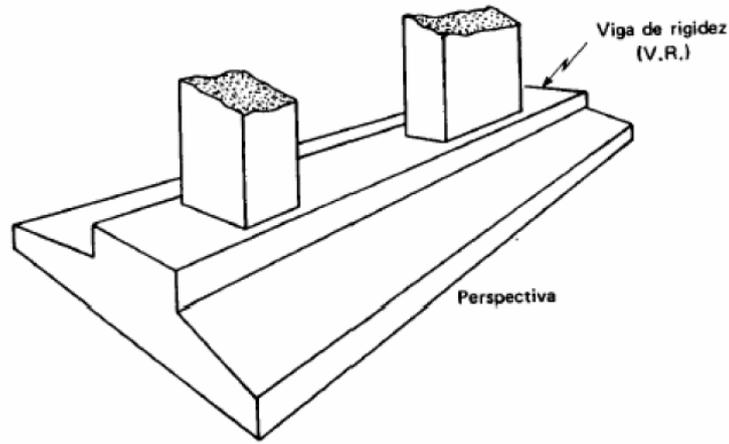


Figura 12

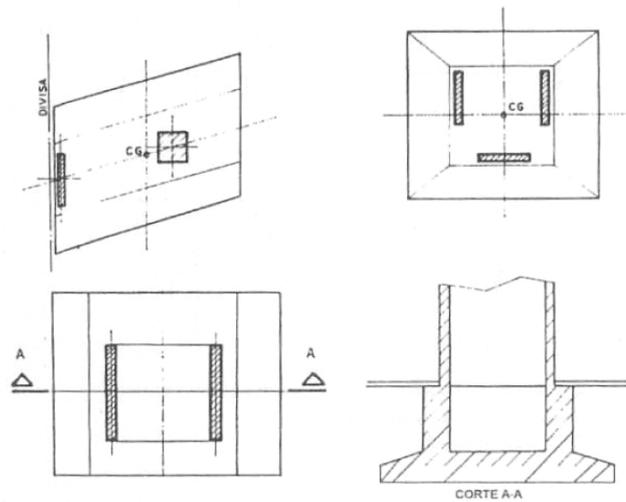


Figura 13

De fato, na maioria das construções de pequeno porte, as fundações mais comuns são as sapatas contínuas e as sapatas isoladas. A Figura 14a exibe uma ilustração da construção de sapata contínua em edificações residenciais de alvenaria portante e a Figura 14b apresenta uma ilustração de construção de um pequeno edifício comercial sobre pilotis.



Figura 14a



Figura 14b

Figura 15– Seqüência construtiva de uma sapata contínua para uma edificação residencial em alvenaria portante. Observa-se que no procedimento construtivo não foram empregadas formas laterais para a concretagem

(fonte: Azambuja, 2005).



Figura 15 – Seqüência construtiva de uma sapata isolada.

C. RADIERS

De todas as fundações superficiais, as menos frequentes são as placas ou radiers. Isto decorre de duas razões: uma técnica e outra econômica.

A razão técnica é que os radiers são geralmente flexíveis, e por isso, mais complexos de serem dimensionados do que sapatas. A razão econômica surge na necessidade de aumentar a espessura do radier para torná-lo rígido, o que implica em custos maiores.

A figura 16 ilustra os diferentes tipos de radiers empregados em construções de edifícios, ressaltando as estratégias para aumentar a rigidez da peça nos locais de concentração de cargas.

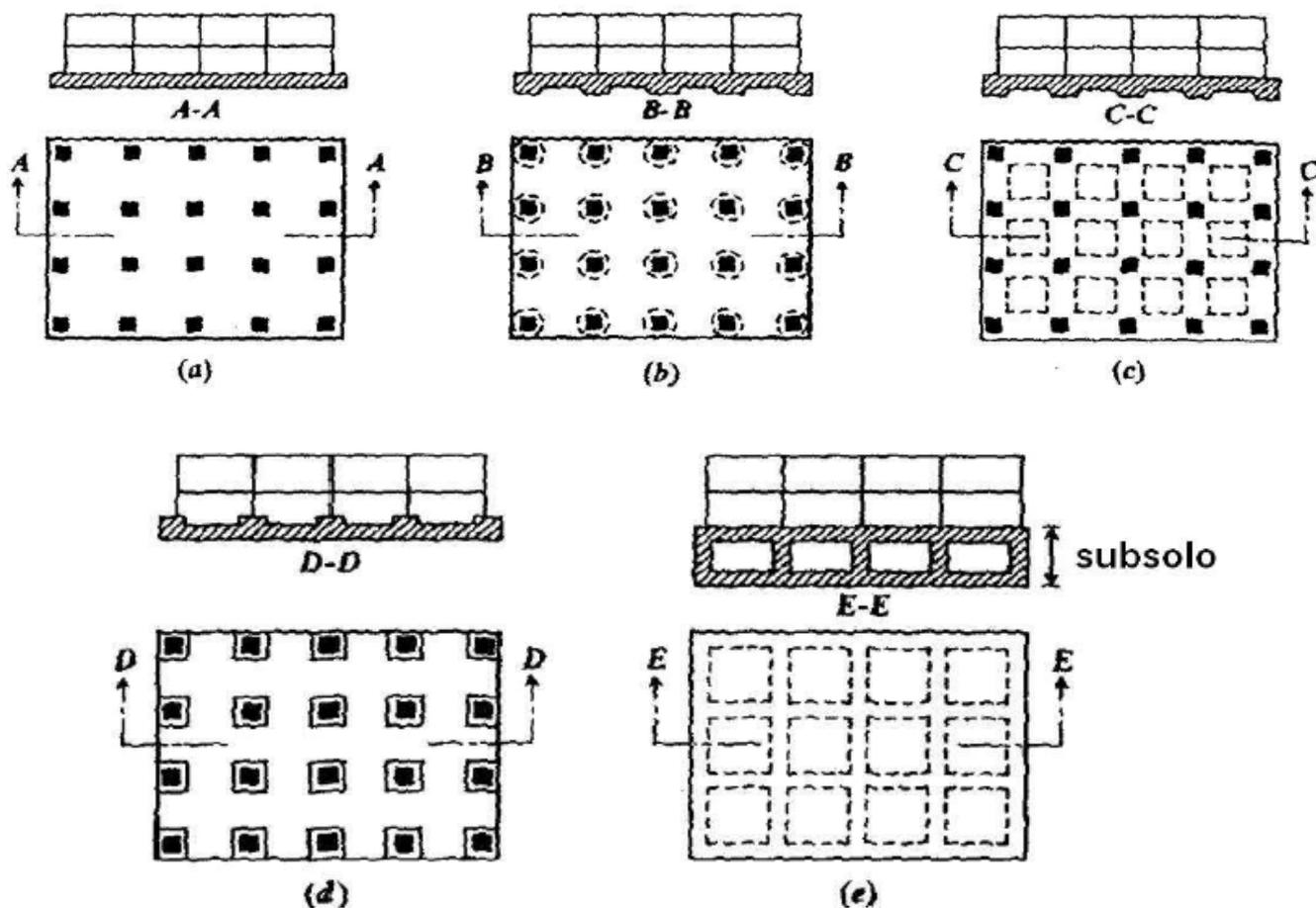
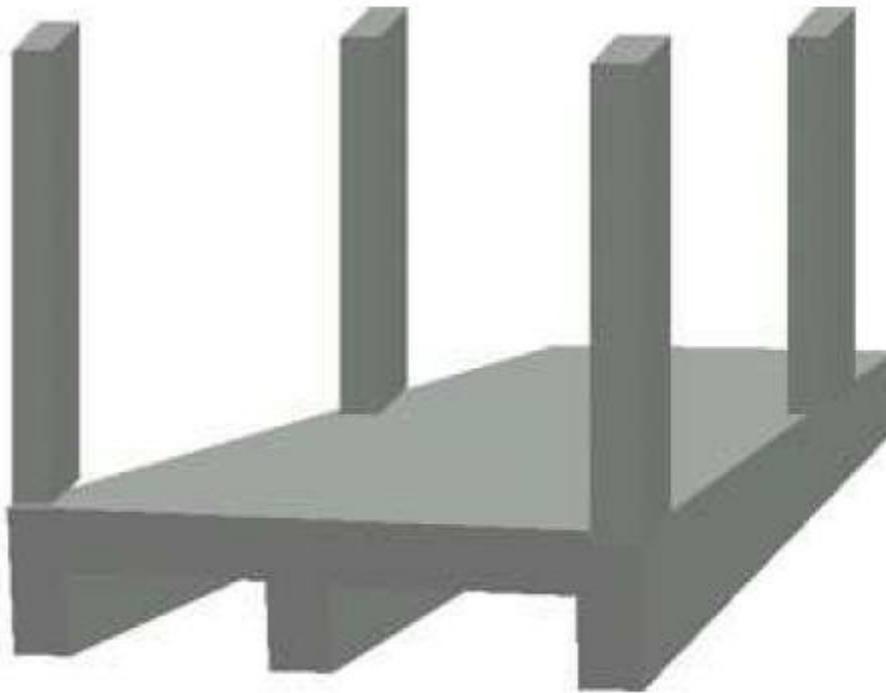


Figura 16 – Tipos comuns de radiers: (a) placa lisa sem nervuras; (b) placa cogumelo com espessamento apenas sob os pilares; (c) placa nervurada; (d) placa com capitéis; (e) radier tipo caixaão

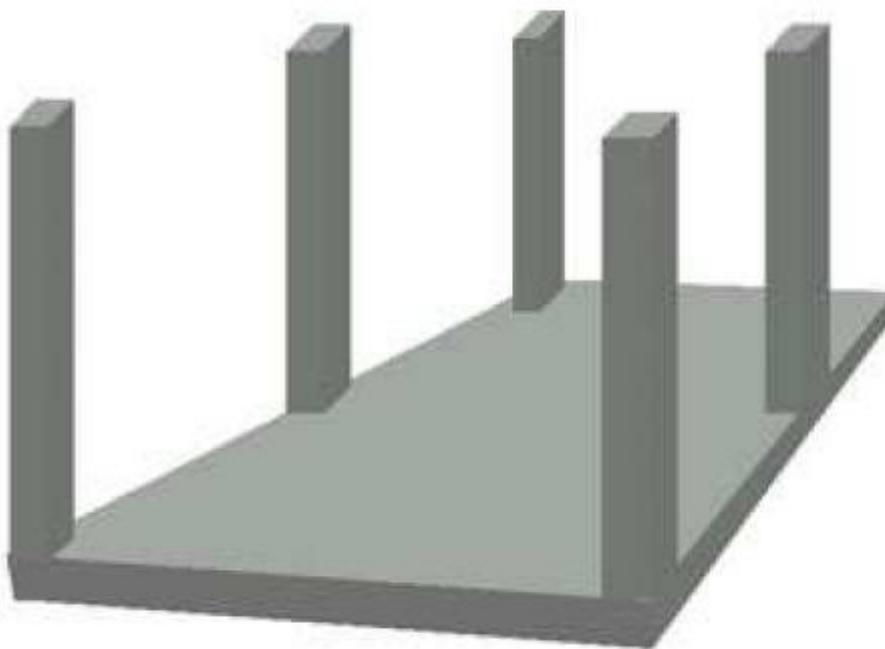
Recentemente, passou-se a adotar radiers flexíveis para fundações de casas populares. O exemplo mais significativo desta opção está no “Programa de Valorização da Entrada da Cidade” que, entre outras iniciativas, prevêem a implantação de um conjunto de aproximadamente 3.000 casas populares, todas com fundações tipo placa nervuradas.

A escolha desse tipo de fundação foi fundamentada em razões econômicas, pois as fundações profundas em solos de várzea chegariam a 20 metros de comprimento, inviabilizando a implantação do programa. A figura 19 exhibe as fases construtivas desses radiers.



Radier rígido

Figura 17



Radier flexível

Figura 18



Figura 19 – Detalhes da construção de radiers flexíveis na Vila dos Papeleiros – Porto Alegre (fonte: Azambuja, 2005).

D. VIGA DE FUNDAÇÃO OU BALDRAMES

São vigas normalmente construídas em concreto armado e que apóiam de maneira contínua as paredes de uma edificação. São normalmente usadas nos pavimentos térreos de prédios totalmente estruturados e se apóiam em blocos de fundação (com ou sem estacas) ou sapatas. São calculadas como vigas comuns e desprezam a capacidade resistente do solo. O único cuidado que deve ser tomado é quanto ao recobrimento deste concreto, pois estando parte enterrada está sujeita à corrosão da armadura.

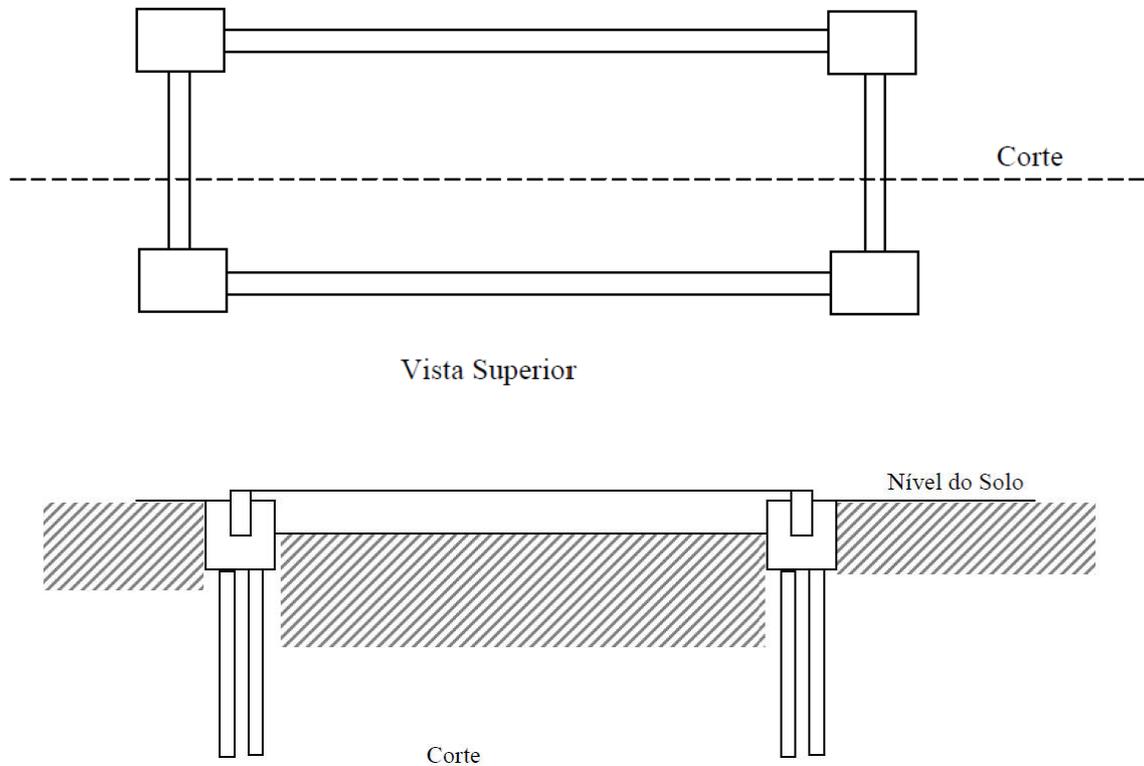


Figura 20

Em edificações de pequeno porte é muito comum o uso de vigas de fundação associadas à micro estacas ao longo do seu comprimento.

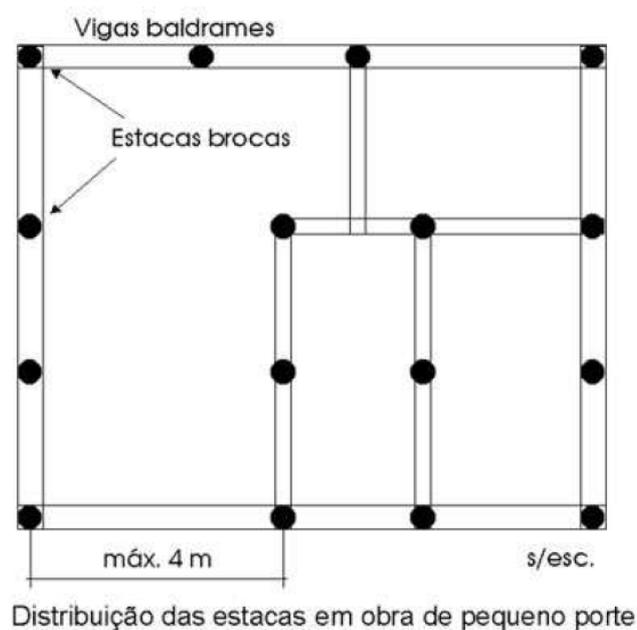


Figura 21

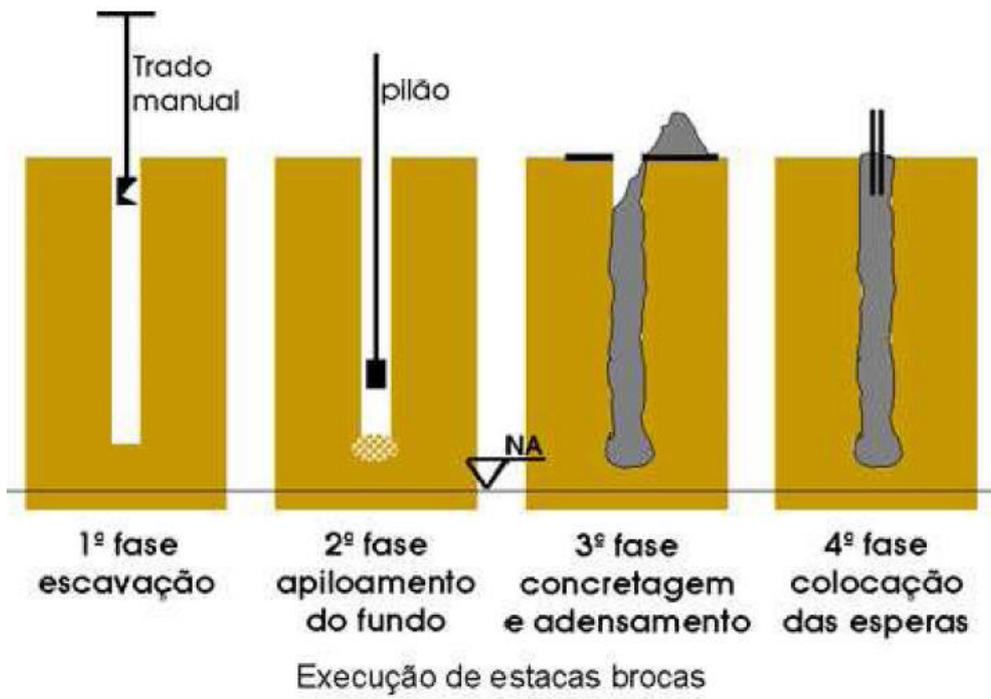


Figura 22

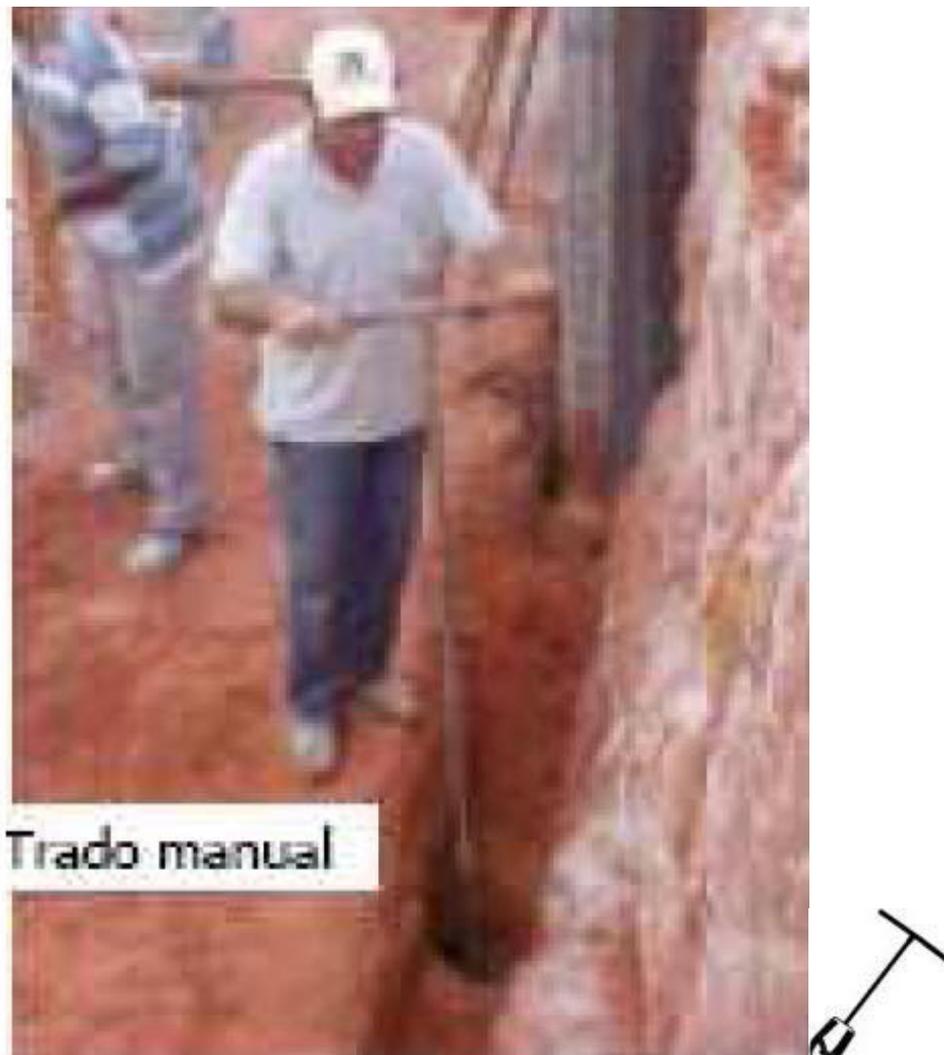


Figura 23



Figura 24

Vigas contínuas de fundação associadas à micro estacas

E. SAPATA CONTÍNUA EM PEDRA

Muito utilizada em edificações de pequeno porte onde encontramos solo com razoável resistência a pouca profundidade.

É feita em alvenaria de pedra, granito ou grez, com no mínimo de duas camadas contrafiadas e é aconselhável o seu coroamento com uma cinta preventiva aos pequenos recalques.

Nestes casos a sapata deve alcançar um solo que apresente resistência razoável e compatível com a carga transmitida. É importante que a sapata se assente em solo uniforme, livre de matações etc.

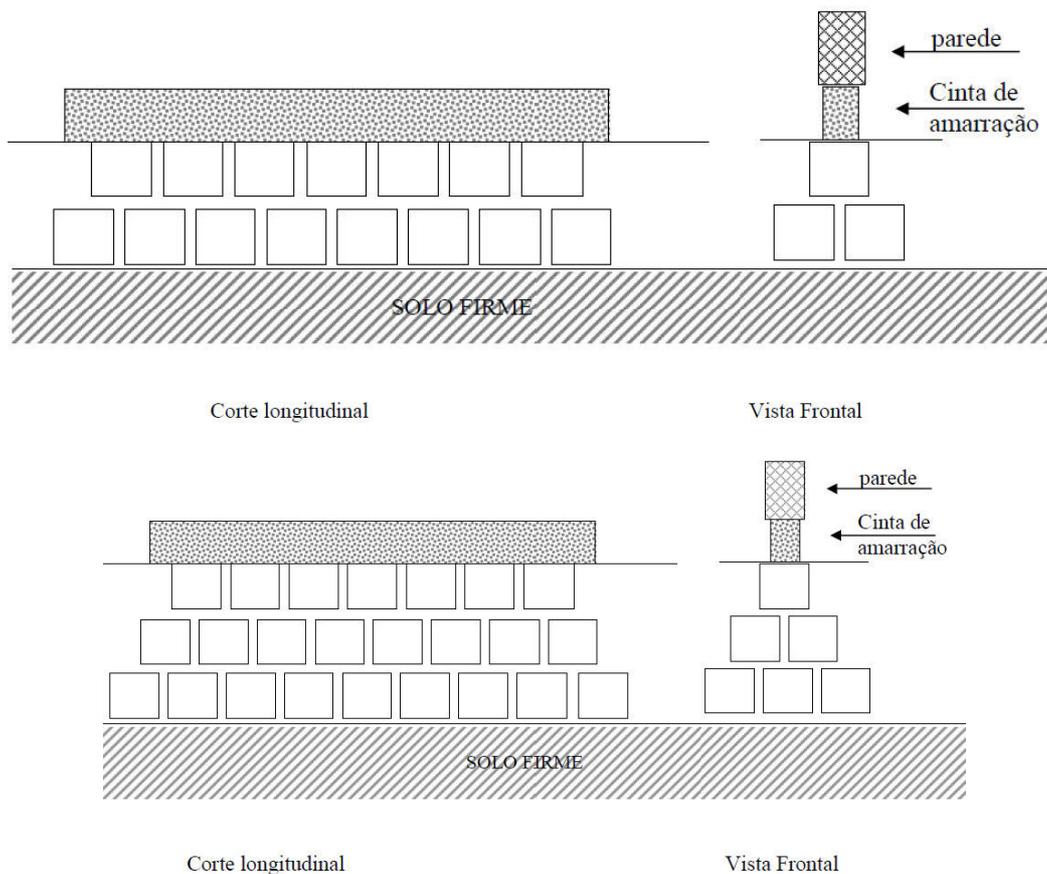


Figura 25

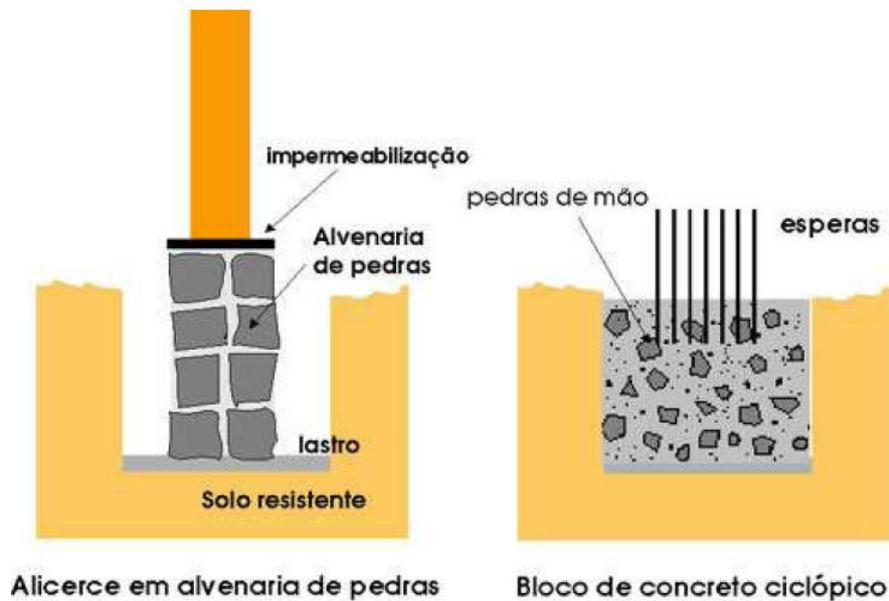


Figura 26

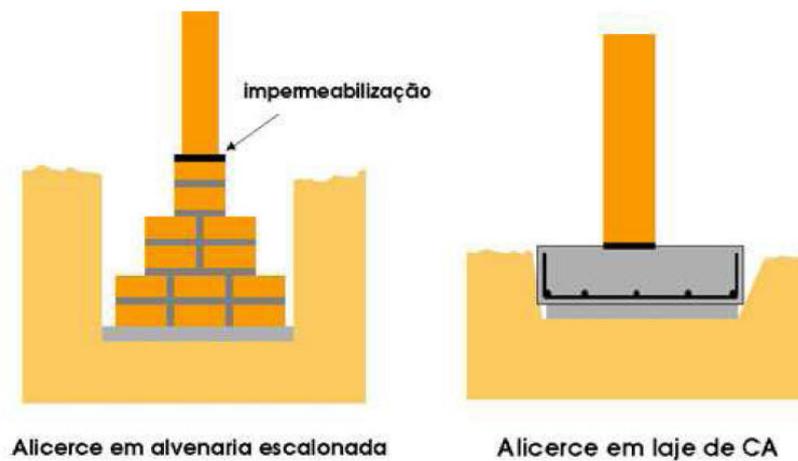


Figura 27

IV. FUNDAÇÕES PROFUNDAS

São as fundações em que em caso de ruptura do solo, esta se dará abaixo da superfície do mesmo.

A capacidade de carga de fundações profundas, com o objetivo de evitar o seu colapso é definida pela resistência do material que compõe o elemento de fundação e a resistência do solo que lhe confere suporte. Normalmente a situação mais frágil é aquela que envolve a resistência do solo.

Desta maneira pode-se dizer que a capacidade de carga dos elementos de uma fundação profunda depende da qualidade do solo, tipo e material da estaca e ainda a profundidade de sua implantação

A. CLASSIFICAÇÃO

As fundações profundas ou estacas se classificam de acordo com o método construtivo adotado para a sua locação em:

1. Estacas de grande deslocamento de solo que são executadas por cravação, o que resulta em uma grande compactação do solo.
2. Estacas de pequeno deslocamento de solo que são executadas por cravação com pequena compactação do solo ou escavação.
3. Estacas sem deslocamento que são executadas por escavação e que não compactam o solo.

B. ESTACAS DE DESLOCAMENTO (CRAVAÇÃO)

São aquelas introduzidas no terreno sem a retirada do solo.

Podem ser construídas em madeira, concreto pré-moldado protendido ou convencional, concreto moldado em situ.

Provoca grande deslocamento de solo durante a sua cravação, capaz de elevar o nível de terreno ao seu redor e causar danos às edificações vizinhas. É essencial a verificação das edificações e fundações vizinhas.

São coroados por blocos em concreto armado depois de seu arrasamento (remoção da extremidade superior das estacas nivelando-as e retirando material contaminado por barro).

Vantagens:

1. Versatilidade de comprimento, forma, seção e inclinações.
2. Controle de qualidade dos materiais e da integridade.
3. Prova de carga dinâmica durante a cravação.
4. Custo reduzido e velocidade construtiva.

Desvantagens

1. Capacidade de carga moderada.
2. Profundidade limitada para solos coesivos.
3. Cravação com auxílio de jato d'água para areias compactas.
4. Grande densidade de estacas gera super compactação do solo e pode provocar o levantamento de estacas vizinhas.
5. Surpresas na cravação da estaca.

A capacidade de carga de uma estaca se compõe da absorção de esforço pelo atrito lateral e absorção de esforço pela área da ponta, portanto a profundidade de implantação e as camadas de solo que atravessa são definitivas neste cálculo.

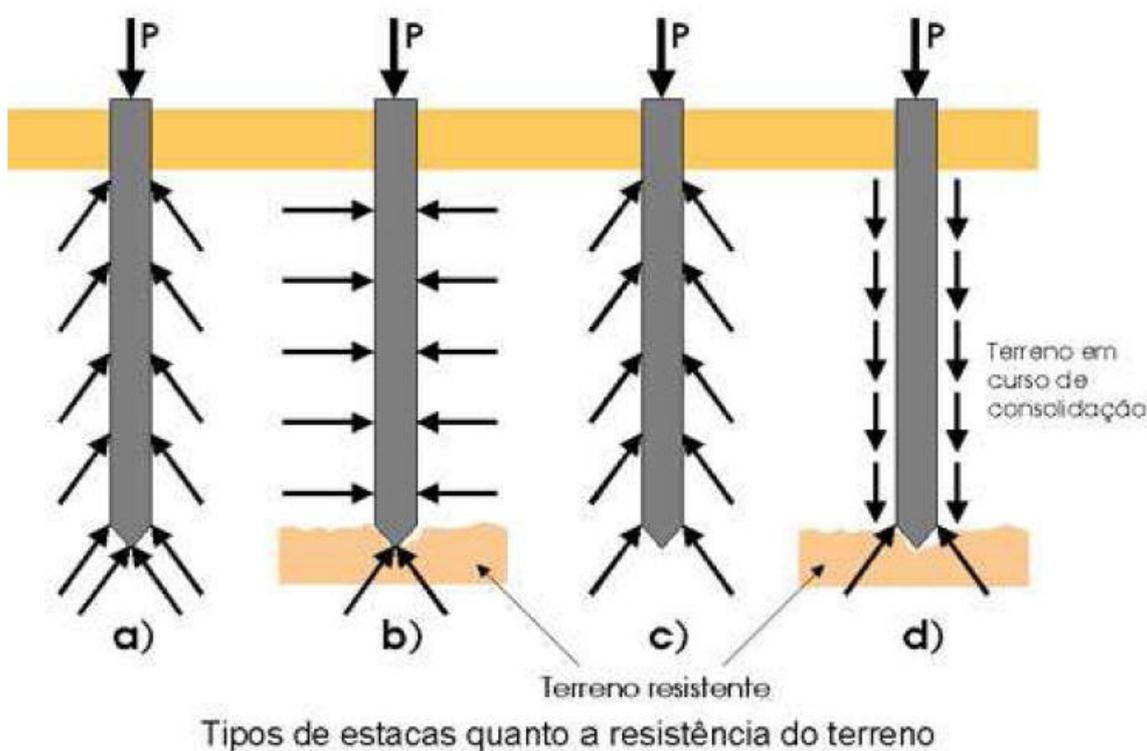


Figura 28

B.1. Estacas FRANKI

As estacas Franki são de concreto armado e moldadas “in loco”. Caracterizam-se por uma base alargada obtida pela intrusão de material granular ou concreto com auxílio de um pilão ou tubo de aço. A base alargada tem a finalidade de aumentar a resistência de ponta da estaca.

Após a locação, o tubo da estaca é cravado mediante a percussão de um martelo ou pilão. São estacas armadas longitudinal e transversalmente e estas armaduras devem atingir o interior do bloco de coroamento.

Muitas vezes o tubo de cravação pode não ser recuperado.

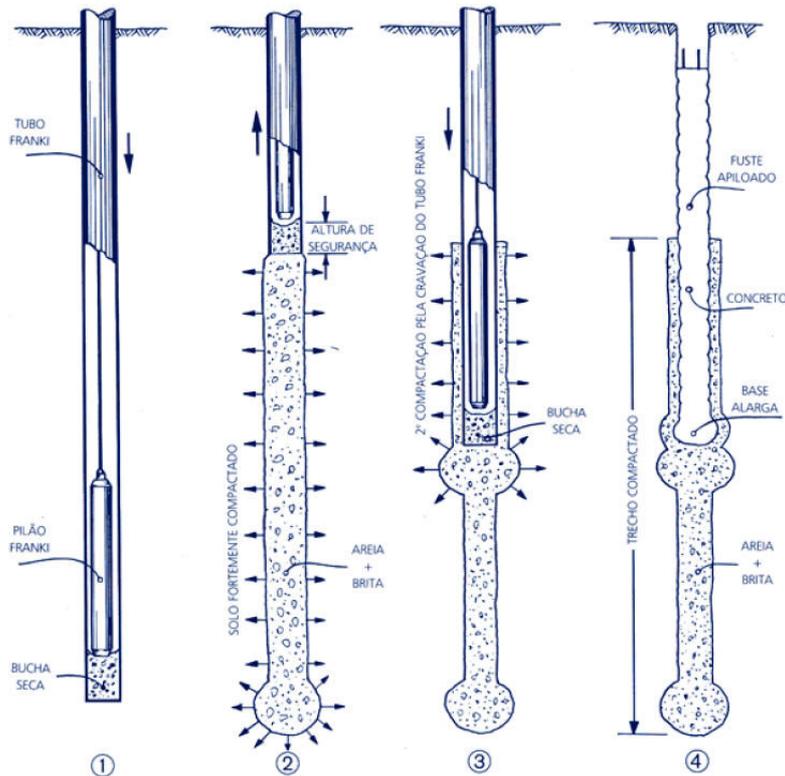


Figura 29 – Cravamento da Estaca Franki



Figura 30 - Tubos de cravação de estacas submersas.

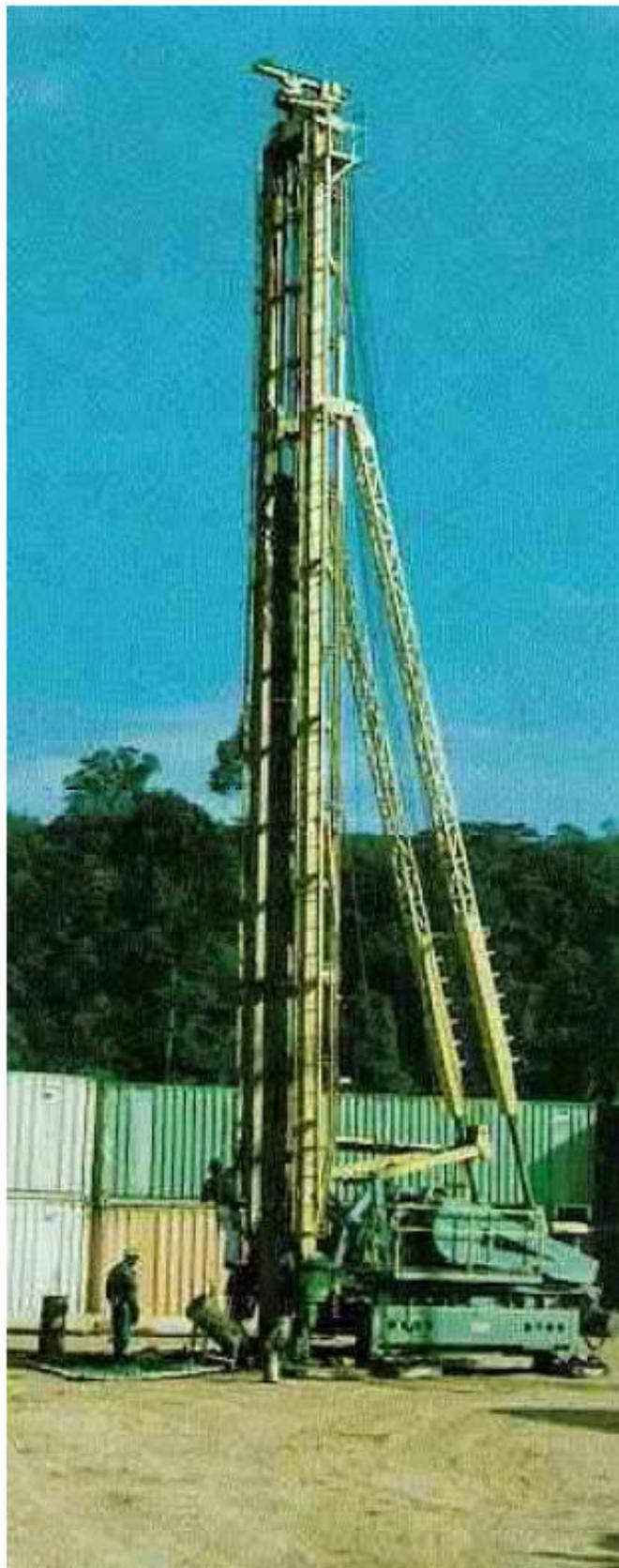


Figura 31

Equipamento de cravação de estacas Franki

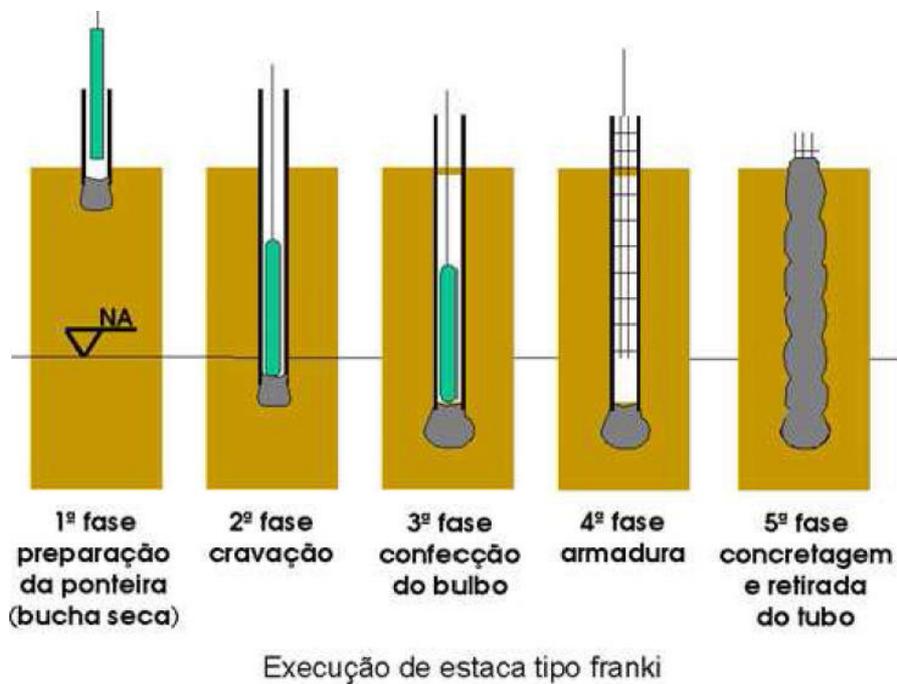


Figura 32

B.2. Estacas STRAUSS

Trabalha basicamente por atrito lateral.

Este tipo de estaca é de concreto não necessariamente armado e moldada “in loco”. É executada com revestimento metálico recuperável. Na sua cravação é utilizado um soquete até que se faça um furo de 1 a 2 metros no terreno para a colocação do primeiro tubo, dentado na extremidade inferior. Em seguida aprofunda-se o tubo com golpes sucessivos, sempre retirando o material interno a este tubo. Quando necessário é rosqueado o tubo seguinte, ou quantos se fizerem necessários até se atingir a profundidade determinada.

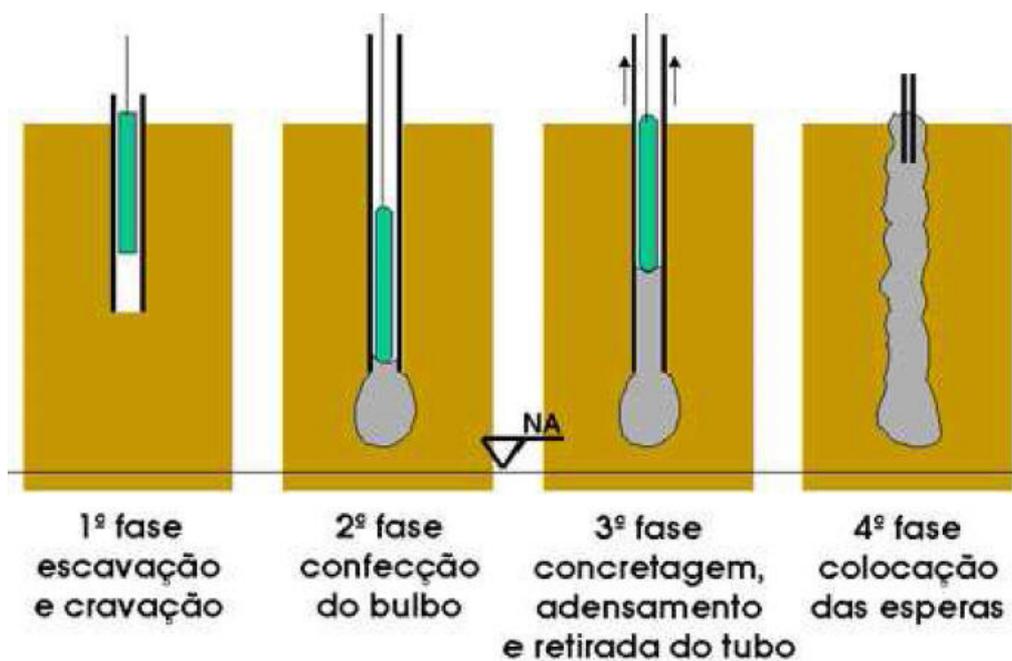
Em centros urbanos evita-se o seu cravamento, pois pode afetar edificações vizinhas.



Figura 33

Cravação de Estaca STRAUSS

Durante a concretagem o material é apilado com soquete durante a extração das camisas metálicas, formando bulbos que auxiliam na aderência.



Execução de estacas Strauss

Figura 34

B.3. Estacas Cravadas

São estacas que podem ser construídas em material metálico, concreto armado ou madeira.

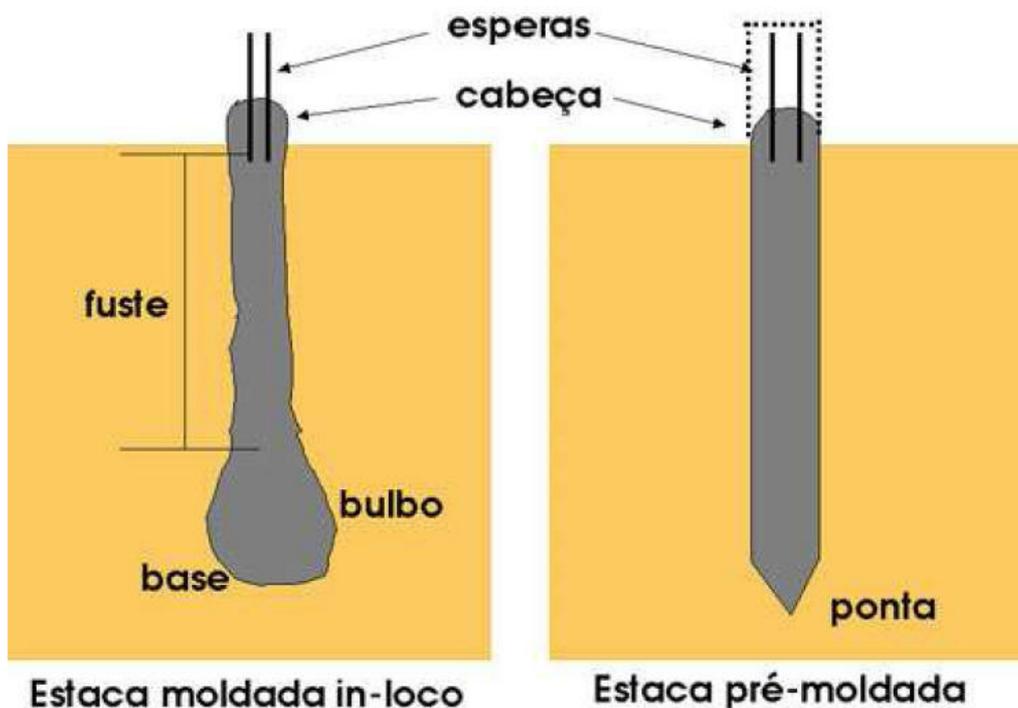


Figura 35

B.3.1 Estacas de madeira

As estacas de madeiras devem ser de madeira dura, resistente, em peças retas, roliças e descascadas. O diâmetro da seção pode variar de 18 a 35 cm e o comprimento de 5 a 8 metros, geralmente limitado a 12 metros com emendas.

No caso da necessidade de comprimentos maiores as emendas deverão ser providenciadas com talas de chapas metálicas e parafusos, devidamente dimensionados.

Durante a cravação, as cabeças das estacas devem ser protegidas por um anel cilíndrico de aço, destinado a evitar seu rompimento sob os golpes do pilão, assim como é recomendável o emprego de uma ponteira metálica, a fim de facilitar a penetração e proteger a madeira.

A vida útil de uma estaca de madeira é praticamente ilimitada, quando mantida permanentemente sob lençol freático (água). Caso esteja sujeita a variação de umidade apodrecerá rapidamente. De qualquer maneira a estaca deve receber tratamento de preservação para evitar o apodrecimento precoce e contra ataques de insetos xilófagos.

As madeiras mais utilizadas são: eucaliptos, peroba do campo, maçaranduba, arueira etc.

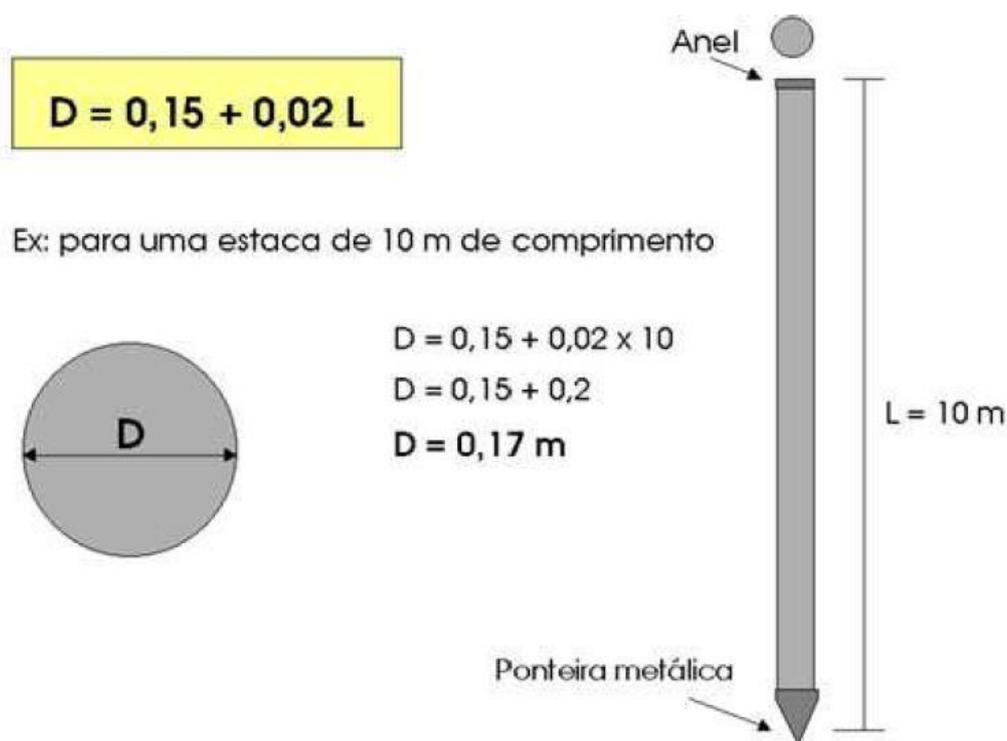


Figura 36

Estaca de madeira

B.3.2 Estacas Metálicas

As estacas metálicas são particularmente indicadas pela sua grande capacidades de suporte de cargas e em terrenos onde a profundidade do plano de fundação é muito variável, sem problemas quanto ao transporte e manuseio, permitindo aproveitamento de peças cortadas e a combinação de perfis, desde que devidamente soldados.

A principal vantagem é a rapidez na cravação, podendo ser utilizadas em solos duros e a desvantagem particular é a dificuldade em avaliar a nega.

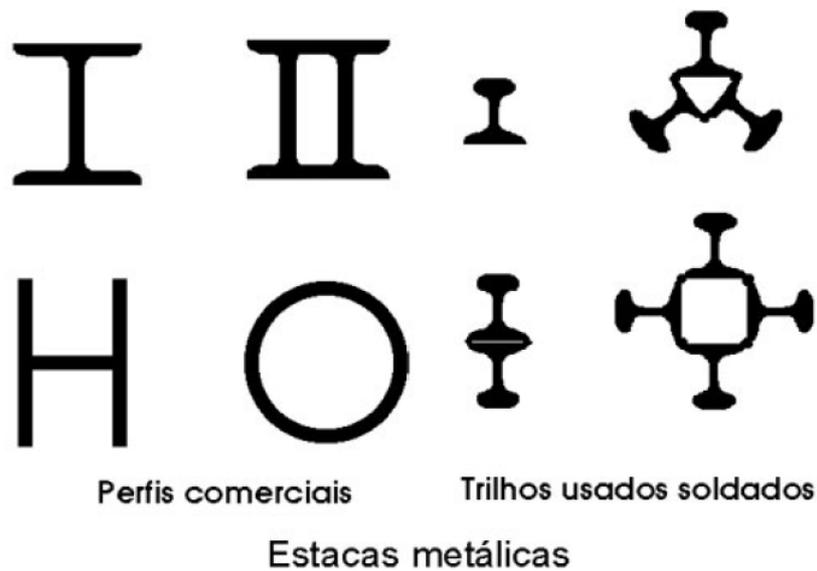


Figura 37

B.3.3. Estacas pré moldadas de concreto

As estacas de concreto são indicadas para transpor camadas extensas de solo mole e em terrenos onde o plano de fundação se encontra a uma profundidade homogênea, sem restrição ao seu uso abaixo do lençol freático.

As estacas podem ser de concreto centrifugado ou receber protensão e exigem controle tecnológico na sua fabricação.

A principal desvantagem é a relacionadas ao transporte, que exige cuidado redobrado no manuseio e verificação de sua integridade momentos antes da sua cravação.

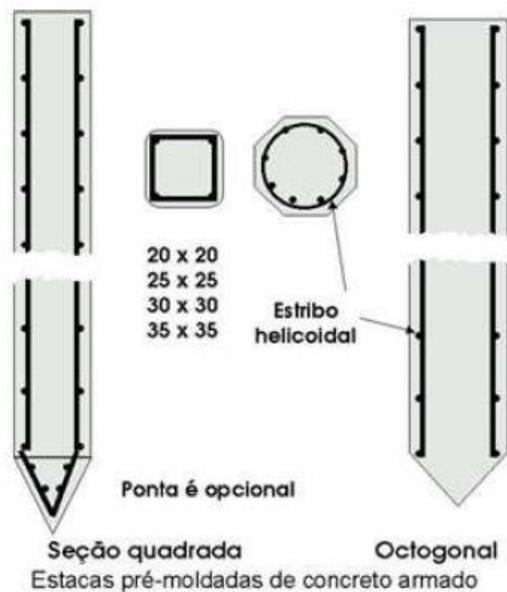


Figura 38



Figura 39

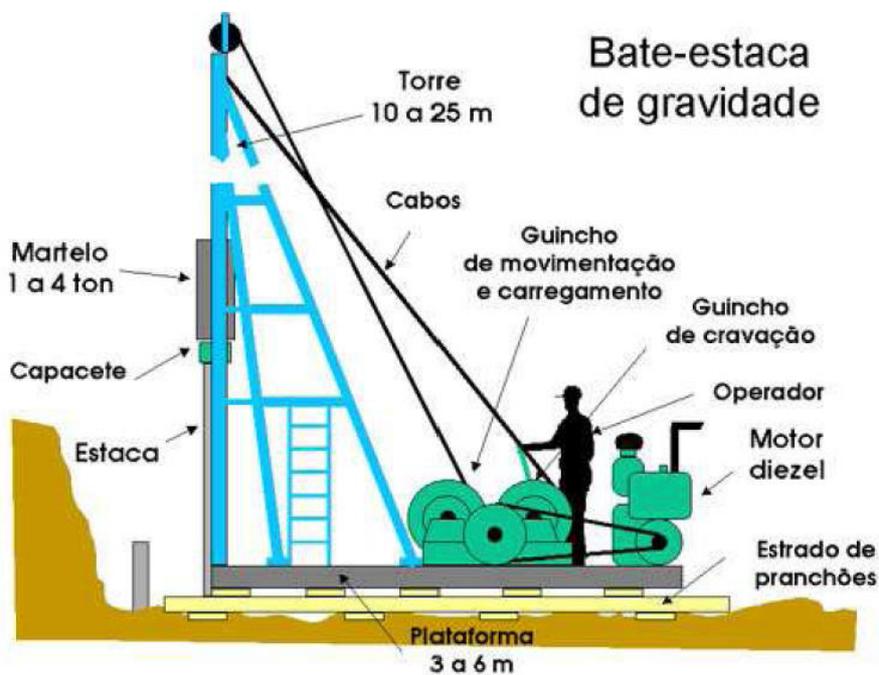


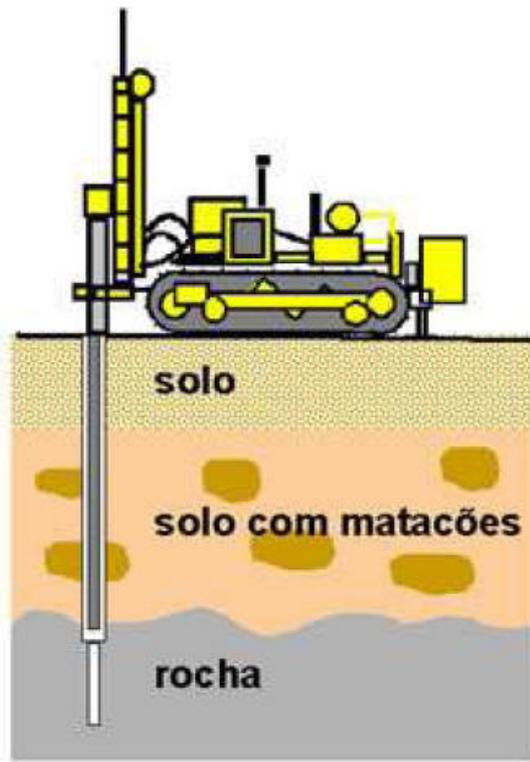
Figura 40

B.3.4 Estacas Raiz

São estacas moldadas in loco perfuradas com circulação de água ou método rotativo ou rotativo-percussivo em diâmetros variando de 130 a 450 mm e executadas com injeção de argamassa ou calda de cimento sob baixa pressão.

No caso de estacas raiz perfuradas exclusivamente em solos, a perfuração é revestida com tubo metálico recuperável para garantir a integridade do fuste. Se ocorrer perfuração em trecho de rocha (passagem de matacões ou engastamento em rochas sãs), isso se dará pelo processo rotativo-percussivo sem a necessidade de revestimento metálico.

A estaca raiz é indicada para reforços de fundação, complementação de obras (ampliações), locais de difícil acesso e em obras onde é necessário ultrapassar camadas rochosas, fundações de obras com vizinhança sensível a vibrações ou poluição sonora, ou ainda, para obras de contenções de taludes.



Equipamento de perfuração de estacas raiz

Figura 41

C. ESTACAS SEM DESLOCAMENTO (ESCAVADAS)

São estacas que por serem escavadas não deslocam muito o solo ao seu redor, não provocando alterações em edificações vizinhas.

C.1. Tubulões

Tubulões a céu aberto são indicados onde são necessárias fundações com alta capacidade de cargas (superiores a 500 kN) podendo ser executados acima do nível do lençol freático (escavação a céu aberto) ou até abaixo do nível de água (ambientes submersos), nos casos em que é possível bombear a água ou utilizar ar comprimido.

C.1.1 Tubulões a céu aberto

Este tipo de tubulão é o de execução mais simples e consiste na escavação manual de um poço com diâmetro variando de 0,70 a 1,20 metro, cujo emprego fica restrito a solos coesivos e acima de nível d'água. Na medida em que vai sendo escavado o tubo de concreto pré-moldado ou metálico vai descendo até a cota necessária, tem sua base alargada em forma de tronco de cone circular ou elíptico, sendo então totalmente preenchido de concreto simples ou armado.

C.1.2 Tubulões encamisados a ar comprimido

Quando a especificação para a execução do tubulão exige cotas de assentamento abaixo do lençol freático ou submersos a indicação é para a utilização de tubulões executados sob pressão hiperbárica a fim de expulsar a água e permitir a escavação manual ou com o uso de martelos e até explosivos, se for o caso.

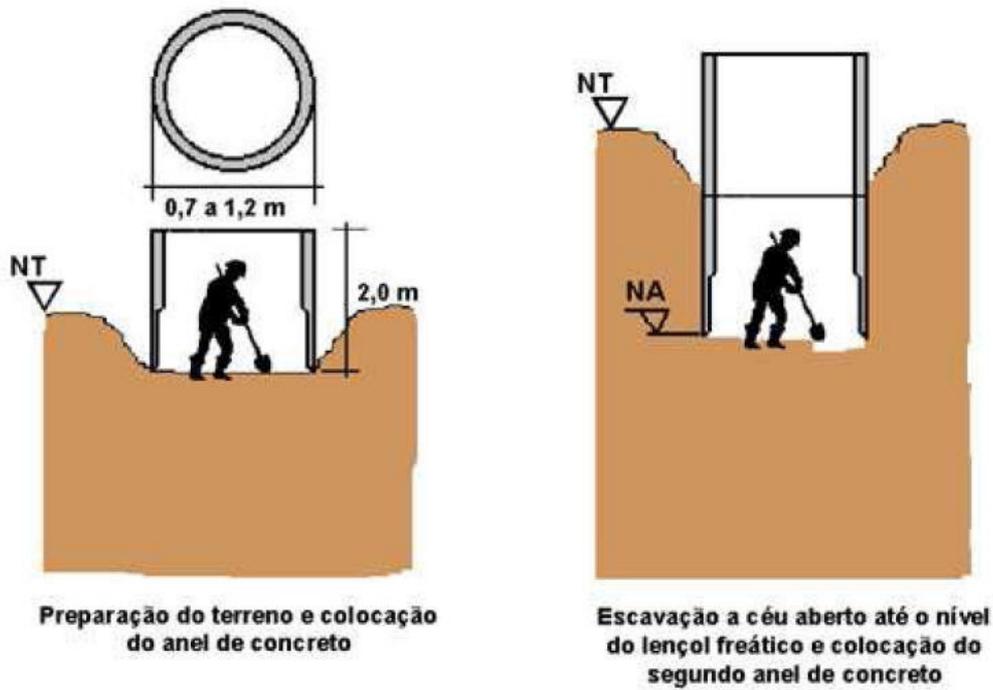


Figura 42

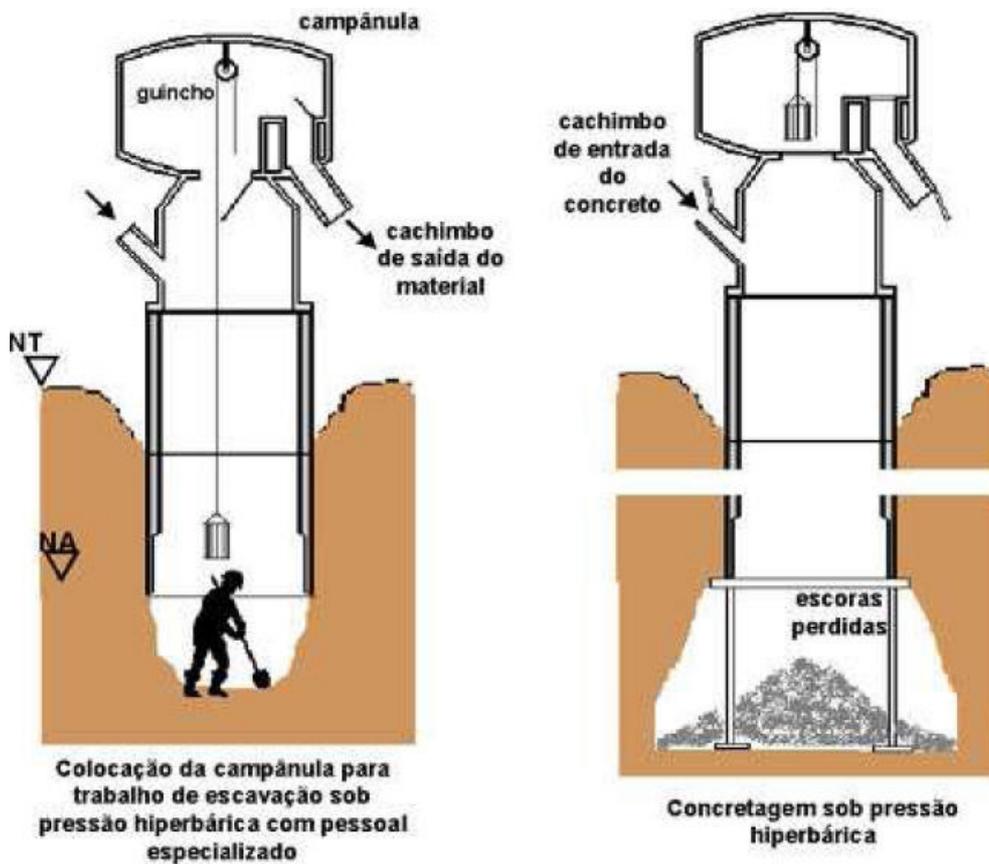


Figura 43

C.2 Estacas de hélices contínuas

As estacas tipo hélice contínua caracterizam-se por serem moldadas no local após a introdução do trado contínuo no solo e concretagem através da haste central simultaneamente à sua retirada.



Figura 44



Figura 45



Figura 46

VI. CONCLUSÃO

Como uma orientação inicial para o pré lançamento de estruturas de fundação algumas estimativas agrupadas. Convém lembrar que o projeto definitivo deve ser feito a partir da investigação geotécnica do terreno e da planta de cargas da supra estrutura.

TABELAS GERAIS

Quadro da capacidade máxima das estacas						
Tipo de estaca		Dimensões (cm)	Carga útil (ton)	Distância entre eixos (cm)	Distância das divisas (cm)	
Madeira	Eucáipto Ipê	30	33	80	45	
		35	38	90	50	
Perfis metálicos	I	25x11,5 (10"x45/8")	40	70	30	
		25x11,5 (10"x45/8")	60	80	35	
	II	30x13,5 (12"x51/4")	60	70	30	
		30x13,5 (12"x51/4")	120	80	35	
Modadas <i>in loco</i>	Diâmetro interno do tubo (cm)	Diâmetro aproximado da estaca (cm)	Carga útil (ton)	Distância entre eixos (cm)	Distância das divisas (cm)	
		42	47	75	130	75
Franki (bucha seca)		47	53	100	140	80
		52	58	130	150	85
		60	67	170	180	85
Strauss (tubo recuperável)		22	25	20	80	40
		26	32	30	90	45
		30	38	40	100	50
Pré-moldadas Concreto	Seção	Dimensões (cm)	Carga útil (ton)	Distância entre eixos (cm)	Distância das divisas (cm)	
		quadrada	20x20	20	60	30
Concreto armado		25x25	30	70	30	
		30x30	40	80	35	
		35x35	50	90	40	
		35x35	50	90	40	
Protendido	octogonal	25	30	70	40	
		35	60	90	55	
		40	80	110	65	
		45	100	130	70	

Quadro resumo para escolha da fundação em função do subsolo		
Condição do subsolo	Opções para estrutura de fundação	
	Estruturas leves, flexíveis	Estruturas pesadas, rígidas
Camada resistente a pouca profundidade	Blocos Sapatas	Blocos Sapatas Radier raso
Camada compressível com grande espessura	Sapata após compactação Radier raso Estacas flutuantes	Radier profundo Estacas de ponta Estacas flutuantes
Camadas fracas sobre camada resistente	Estacas de ponta Bloco após compactação Sapata após compactação Radier raso	Estacas de ponta Tubulões Radier profundo
Camada resistente sobre camada fraca	Blocos Sapatas Radier raso	Radier profundo Estacas de ponta tubulões
Camadas fracas e resistentes alternadas	Blocos Sapatas Radier raso	Radier profundo Estacas de ponta tubulões

Fonte: adaptado de Goodman e Karel (1977)