
TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

1. PROJETO

O projetista (engenheiro ou arquiteto) que concebe um prédio precisa transmitir suas idéias ao seu cliente (para que este as aprove) e ao construtor (para que este o construa). Para tanto, o projetista fixa sua concepção numa série de documentos que constituem o projeto.

O projeto é, então, o conjunto de documentos gráficos (desenhos) e escritos que o projetista utiliza para comunicar suas idéias. Segundo a NBR 5679, o projeto é "a definição qualitativa e quantitativa dos atributos técnicos, econômicos e financeiros de uma obra de engenharia e arquitetura, com base em dados, elementos, informações, estudos, discriminações técnicas, cálculos, desenhos, normas, projetos e disposições especiais.

1.1 DETALHAMENTO DO PROJETO

O engenheiro ou arquiteto começa seu trabalho fazendo estudos preliminares, que ele analisa sob os pontos de vista técnico, artístico, e econômico até chegar a uma solução, a seu ver, satisfatória. Essa solução ele passa a limpo, de forma ainda singela e em escala reduzida, e a apresenta à aprovação do cliente: é o **anteprojeto**, que, se aprovado, servirá de base à execução do projeto básico.

O **projeto básico** é o projeto que reúne todos os elementos necessários à contratação da execução da obra. É um projeto completo, incluindo os projetos de arquitetura, estruturais, de instalações, detalhes de esquadrias, de serralheria, discriminações técnicas, etc. Seria, assim, a reunião de todos os dados necessários ao orçamento da obra.

De posse do projeto básico, o cliente escolhe (por contratação direta ou por licitação) uma empresa construtora que irá executar a obra. O próximo passo é a firmação do contrato entre ambos. Pode ocorrer de o projeto básico passar por pequenas alterações e detalhamentos após firmado o contrato. Assim, o projeto que o construtor vai receber não é mais o projeto básico, mas o que se denomina de projeto executivo (projeto de execução).

O **projeto executivo** é então o projeto que reúne todos os elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, detalhando o projeto básico. Um projeto básico idealizado já consiste no projeto executivo. Entretanto, é possível que sejam feitas alterações no momento de execução dos serviços, por variados motivos. Assim, ao concluir a obra, esta não é exatamente o que consta do projeto executivo. Para que o projeto represente a realidade - o que é muito importante para os trabalhos de manutenção da edificação e para eventuais futuras reformas e ampliações - é indispensável corrigir o projeto executivo, transformando-o no projeto como construído.

O **projeto como construído** ('*as built*') é, então, a definição qualitativa de todos os serviços executados, resultante do projeto executivo com as alterações e modificações havidas durante a execução da obra. O projeto como construído é conhecido também como *projeto final de engenharia*.

1.2 ELABORAÇÃO DOS PROJETOS

Os projetos devem ser elaborados a partir de entendimentos entre o PROJETISTA, o CLIENTE e o CONSTRUTOR, levando-se em consideração três pontos fundamentais: i) as **características do terreno** (localização, metragem, acessos, serviços públicos existentes, orientação NS, prédios vizinhos); ii) as **necessidades do cliente** (tipo de construção: residencial, comercial, industrial ou mista; número de pavimentos; características da edificação: número de cômodos, tamanho dos cômodos, distribuição, etc.; características dos acabamentos; verba disponível para a obra); e iii) a **técnica construtiva** a ser adotada.

1.2.1 Estudos preliminares

Nesta fase, o projetista deve ir ao lote e identificá-lo, medindo sua testada e seu perímetro. Deverá ser feita também uma verificação da área de localização e situação do lote dentro da quadra (distâncias do lote às esquinas), e medidas de ângulos através de levantamentos expeditos ou topográficos (se for o caso), comparando-se os dados assim levantados com as informações contidas na escritura do lote.

O projetista deve verificar também a existência de serviços públicos no local: rede de água, rede elétrica, rede de esgoto, rede de gás, cabos telefônicos na rua, existência de pavimentação, drenagem, e largura da rua. No caso de não existir rede de água, devem ser tomadas informações com os vizinhos e empresas especializadas sobre a possibilidade de abertura de poços artesianos.

Deve ser feita uma avaliação sobre a inclinação do lote, se este não for plano. A verificação da existência de materiais naturais como areia, pedra, tijolo, madeira, etc., e a verificação da disponibilidade de mão-de-obra no local também são tarefas que cabem ao projetista da obra.

Devem ser tomadas as seguintes providências imediatas:

1.2.1.1 Limpeza do terreno: a limpeza do terreno compreende os serviços de capinagem, limpeza do roçado, destocamento, queima e remoção da vegetação retirada, permitindo que o lote fique livre de raízes e tocos de árvores. Assim, facilitaM-se os trabalhos de topografia, obtendo-se um retrato fiel de todos os acidentes do terreno, e os trabalhos de investigação do subsolo necessários para o projeto de fundações.

A capinagem é feita quando a vegetação é rasteira e com pequenos arbustos, e o instrumento necessário para esse serviço é a enxada.

O roçado é necessário quando existirem também árvores de pequeno porte, que podem ser cortadas com foice.

O destocamento é realizado quando houver árvores de grande porte, sendo necessário desgalhar, cortar ou serrar o tronco e remover partes da raiz. Esse serviço pode ser feito com máquinas de grande porte ou manualmente com machado, serrote ou enxada.

Toda a vegetação removida deve então ser retirada ou queimada no próprio lote.

No caso de existirem edificações ou outras benfeitorias no lote, deve-se decidir pela sua manutenção ou demolição, sempre verificando antes se não se trata de patrimônio tombado pela União. Caso seja confirmada a demolição, esta poderá ser feita por processo manual ou mecânico. A demolição manual visa o reaproveitamento de materiais e componentes, como tijolos, esquadrias, louças, revestimentos, etc. A demolição mecânica pode ser feita por meio de martelo pneumático ou por equipamentos maiores.

As demolições são regulamentadas pelas normas NB-19 (aspecto de segurança e medicina do trabalho) e NBR 5682/77 - "Contratação, execução e supervisão de demolições" (aspecto técnico). Os principais cuidados citados por essas normas são:

- ⇒ os edifícios vizinhos à obra de demolição devem ser examinados, prévia e periodicamente, no sentido de ser preservada sua estabilidade;
- ⇒ quando o prédio a ser demolido tiver sido danificado por incêndio ou outras causas, deverá ser feita análise da estrutura antes de iniciada a demolição;
- ⇒ a demolição das paredes e pisos deverá ser iniciada pelo último pavimento. A demolição de qualquer pavimento somente será iniciada quando terminada a do pavimento imediatamente superior e removido todo o entulho;

- ⇒ na demolição de prédio de mais de dois pavimentos, ou de altura equivalente, distando menos de 3 metros da divisa do terreno, deve ser construída uma galeria coberta sobre o passeio, com bordas protegidas por tapume com no mínimo 1 metro de altura;
- ⇒ a remoção dos materiais por gravidade deve ser feita em calhas fechadas, de madeira ou metal;
- ⇒ os materiais a serem demolidos ou removidos devem ser previamente umedecidos, para reduzir a formação de poeira;
- ⇒ nos edifícios de 4 ou mais pavimentos, ou de 12 metros ou mais de altura, devem ser instaladas plataformas de proteção ao longo das paredes externas.

1.2.1.2 Levantamento topográfico: os levantamentos topográficos são feitos para se obter dados fundamentais à elaboração do projeto, como: dimensões exatas do lote, ângulos formados entre os lados adjacentes, perfil do terreno, existência de acidentes geológicos, afloramento de rochas, etc.

Os levantamentos topográficos geralmente são feitos com teodolito e níveis. Entretanto, em certas circunstâncias pode haver a necessidade de se fazer um levantamento expedito com trenas, metros, nível de pedreiro, nível de mangueira e fio de prumo.

Devem constar do levantamento topográfico:

- * a poligonal, ou seja, o contorno do terreno;
- * curvas de nível de 50 em 50 centímetros, de acordo com a inclinação do terreno;
- * inclinação do terreno;
- * dimensões perimetrais (lados da poligonal);
- * ângulos formados entre lados adjacentes da poligonal;
- * área do terreno;
- * RN (referência de nível);
- * construções já existentes no terreno;
- * localização de árvores com indicação do diâmetro e da altura aproximada;
- * galerias de águas pluviais ou esgoto;
- * postes de energia mais próximos ao lote, e seus respectivos números;
- * ruas adjacentes;
- * croqui de situação, onde deve aparecer a via de maior importância do bairro ou loteamento onde se localiza o lote;
- * orientação NS, através de bússola ou plantas da cidade.

1.2.1.3 Reconhecimento do subsolo: a elaboração de projetos de fundações exige um conhecimento adequado do solo no local onde será executada a obra, com definição da profundidade, espessura e características de cada uma das camadas que compõem o subsolo, como também do nível da água e respectiva pressão. A obtenção de amostras ou a utilização de algum outro processo para a identificação e classificação dos solos exige a execução de ensaios de campo, ou seja, ensaios realizados no próprio local onde será edificado o prédio. A determinação das propriedades do subsolo que importam ao projeto de fundações poderia ser tanto feita por ensaios de laboratório como ensaios de campo. Entretanto, na prática das construções, são realizados na grande maioria dos casos ensaios de campo, ficando a investigação laboratorial restrita a alguns poucos casos especiais em solos coesivos.

Dentre os ensaios de campo existentes em todo o mundo, os que mais se destacam são:

- * SPT - Standard Penetration Test

- * SPT-T - SPT complementado com medidas de torque
- * CPT - Cone Penetration Test
- * CPT-U - CPT com medida das pressões neutras
- * Vane-test - ensaio da palheta
- * Pressiômetros (de Ménard e auto-perfurantes)
- * Dilatômetro de Marchetti
- * Provas de carga através de ensaios de carregamento de placa
- * ensaios geofísicos (cross-hole)

O SPT é, de longe, o ensaio mais executado na maioria dos países do mundo e também no Brasil. Entretanto, há uma certa tendência de substituí-lo pelo SPT-T, mais completo e praticamente com o mesmo custo. O CPT e o CPT-U possibilitam uma análise mais detalhada do terreno.

A sondagem à percussão é um método de ensaio de campo que possibilita a retirada de amostras para análise em laboratório. Quando associada ao ensaio de penetração dinâmica (SPT), mede a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada. Para a execução das sondagens, determina-se em planta, na área a ser investigada, a posição dos pontos a serem sondados. No caso de edificações, procura-se dispor as sondagens em posições próximas às extremidades e nos pontos de maior concentração de carga. Deve-se evitar a locação de pontos alinhados, para que se tenha o reconhecimento em diversas regiões do lote. Como regra, nunca se deve realizar apenas um furo de sondagem, pois são comuns variações de resistência e tipo de solo em áreas não necessariamente grandes.

Marcados os pontos em planta, os mesmos devem ser locados e nivelados no terreno, ou seja, todos deverão iniciar à mesma profundidade. O nivelamento deve ser feito em relação a um RN fixo e bem determinado para toda a obra, mas fora da zona de influência desta (ex.: meio-fio de passeio, tampa de poço de visita de serviços públicos como água, esgoto, energia elétrica, gás, telefone, etc.). Para se iniciar uma sondagem, monta-se sobre o terreno, na posição de cada perfuração, um cavalete chamado de *tripé* (figura 1.1). Inicia-se o furo, e com auxílio de um *trado cavadeira* (figura 1.2), perfura-se até 1 metro de profundidade. Acopla-se então o *amostrador padrão* (ou *barrilete amostrador*, com diâmetros interno e externo de 1 3/8" e 2", respectivamente, mostrado na figura 1.3), e é apoiado no fundo do furo aberto com o trado cavadeira. Ergue-se um *martelo* ou *pilão* (peso de 65 Kg), preso ao tripé por meio de corda e roldanas, até uma altura de 75cm, e deixa-se cair sobre a haste do amostrador em queda livre. Esse procedimento é realizado até que o amostrador penetre 45cm no solo, contando-se o número de quedas do martelo necessário para a cravação de cada segmento de 15cm do total de 45cm.

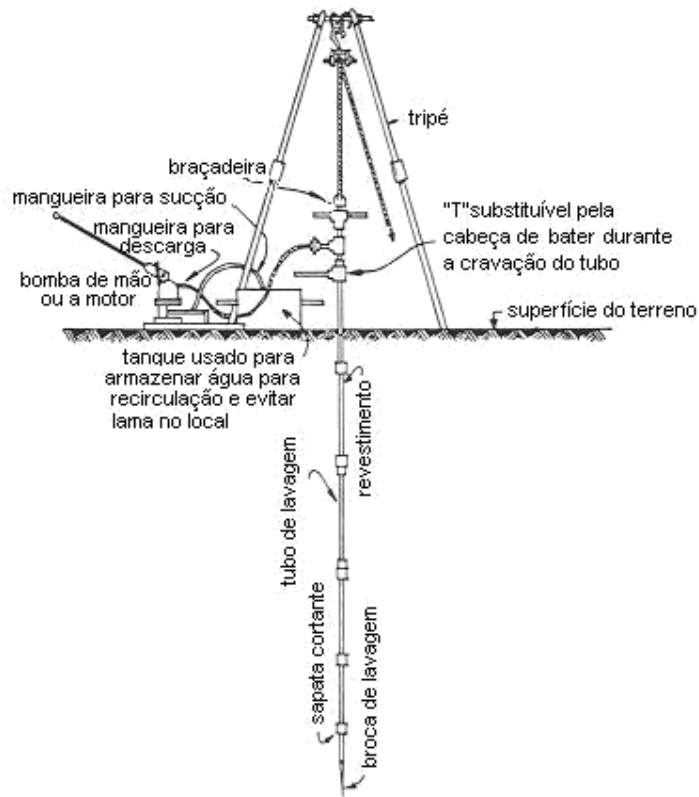


Figura 1.1 - Tripé para sondagem

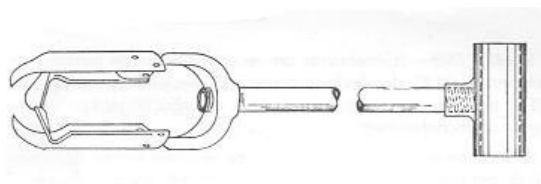


Figura 1.2 - Trado cavadeira ou concha

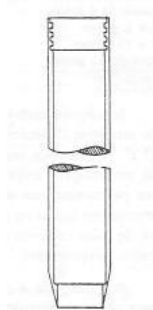


Figura 1.3 - Amostrador padrão

A soma do número de golpes necessários à penetração dos últimos 30cm do amostrador é designada por N , e é esta a informação que é correlacionada com as propriedades do solo para a elaboração dos projetos de fundações. A descrição de cada camada é feita pela análise do solo retirado da ponta do amostrador padrão.

Prossegue-se a perfuração por mais meio metro até que a próxima cota de amostragem seja alcançada (ou seja, a 2 metros de profundidade), por meio do *trado espiral* ou *helicoidal* (figura 1.4), que remove solos de certa coesão e acima do nível

do lençol freático. Quando o solo for muito resistente ou quando houver água do lençol freático, não é mais possível o avanço do trado. Parte-se então para a perfuração com auxílio de circulação de água. A circulação de água é feita com o auxílio de um motor-bomba, uma caixa d'água para decantação e um dispositivo que é acoplado na extremidade da haste, chamado *trépano*. A haste é então submetida a movimentos de percussão e rotação. Esses movimentos, juntamente com a pressão da água, fazem com que o trépano rompa a estrutura do solo que, misturado à água, sobe à superfície e é despejado no reservatório. O material mais pesado decanta (solo), e a água é novamente injetada no furo, criando um circuito fechado de circulação. Quando, por qualquer motivo, as paredes da perfuração não permanecerem estáveis, auxilia-se o processo com a cravação de tubos de revestimento, trabalhando-se internamente a eles.



Figura 1.4 - Trado espiral

Dessa maneira, a sondagem avança em profundidade, medindo a resistência a cada metro e retirando com o amostrador amostras do tipo de solo atravessado.

Os resultados de uma sondagem são sempre acompanhados de um relatório com as seguintes indicações: planta de situação dos furos; perfil de cada sondagem com as cotas de onde foram retiradas as amostras; classificação das diversas camadas e os ensaios que permitiram classificá-las; nível do terreno e nível da água; resistência à penetração do amostrador padrão, indicando as condições em que a mesma foi tomada (diâmetro do amostrador, peso do martelo e altura de queda). O ensaio é normalizado pela NBR 6484/80 - "Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos".

1.2.2 Anteprojeto

Para a elaboração do anteprojeto, os seguintes elementos são necessários:

- a) estudos preliminares (item 1.1.1)
- b) uso do edifício conforme o plano diretor (residencial, comercial, industrial, recreativo, religioso, outros);
- c) densidade habitacional no local, recuos, taxa de ocupação do lote, índice de aproveitamento do lote;
- d) gabarito permitido (altura do prédio);
- e) área construída prevista;
- f) elementos geográficos naturais do lote (orientação NS, regime de ventos predominante, regime pluvial, regime de temperaturas, etc.)

Os itens *b*, *c* e *d* são obtidos através de **consulta de viabilidade** encaminhada junto à prefeitura municipal.

São preenchidas pelo projetista as informações referentes à localização (endereço) do lote, juntamente com uma planta simplificada de localização. As informações prestadas pela Prefeitura Municipal a partir dessa consulta baseiam-se no código de obras do município e plano diretor.

Com base nessas informações, o projetista elabora então o anteprojeto, de acordo com as necessidades do cliente. O anteprojeto deve ser feito em planta com escala 1:100 e eventualmente pode ser apresentada fachada em escala 1:50, todos em papel vegetal. Na planta, deverão aparecer paredes, portas e janelas, ainda sem dimensões exatas. Não costumam aparecer nos anteprojeto: o sentido de abertura de portas, as posições dos pontos de luz, interruptores e tomadas, posição dos aparelhos sanitários, etc.

Geralmente, são apresentadas no mínimo duas opções de anteprojeto ao cliente.

1.2.3 Projeto arquitetônico definitivo

O projeto definitivo é uma consequência direta do anteprojeto, escolhido pelo cliente e ajustado por este e pelo projetista. O projeto compõe-se de duas partes distintas: a parte gráfica e a parte escrita.

1.2.3.1 PARTE GRÁFICA DO PROJETO: devem fazer parte do projeto definitivo:

- Planta de situação: a planta de situação informa a localização do terreno na quadra com nomes de três ruas e a distância até a esquina mais próxima, dimensões do lote, orientação NS, posição do meio-fio (guia), localização de árvores com indicação se serão ou não removidas, localização de postes e hidrantes (se existirem). A planta pode ser desenhada em escala 1:150, 1:500 ou 1:1000.
- Planta de localização: mostra a posição do edifício a ser construído sobre o terreno, com indicação dos recuos até as extremidades do lote. No caso de haver outras edificações já construídas sobre o lote, deverão constar da planta, com indicação se serão ou não removidas. A planta de localização geralmente é desenhada na escala 1:250.
- Planta baixa: para o desenho da planta baixa, imagina-se um corte horizontal em toda a edificação a ser construída na altura de suas janelas (acima do peitoril). Geralmente, esse desenho é feito nas escalas 1:50 ou 1:100. Os principais registros que devem constar dessa planta são: dimensões e área de cada cômodo, espessura das paredes, tipo e dimensões de aberturas (portas, janelas), divisão funcional (nome de cada cômodo), tipos de revestimentos de pisos, disposição e dimensões dos aparelhos sanitários, etc. Todos os elementos da planta baixa devem ser cotados, como pisos e altura do peitoril de janelas.
- Planta baixa de cobertura: representa a projeção horizontal dos diversos planos inclinados (águas) do telhado da edificação a ser construída, cujas interseções são desenhadas com traços contínuos. O sentido do escoamento (declividade) dessas águas deve ser indicado por meio de pequenas setas. Deve constar também da planta de cobertura o detalhe da coleta de águas pluviais. A planta geralmente é feita em escala 1:50 ou 1:100.
- Cortes: são projeções verticais de cortes feitos no prédio a ser construído por planos também verticais, de modo a representar as partes internas mais importantes. Assim, os cortes (longitudinais e transversais) devem ser feitos onde houver maior número de detalhes relativos principalmente à altura de componentes. São feitos no mínimo dois cortes, um longitudinal e um transversal. Pelo menos um deles deve passar pelas escadas, e devem ser indicadas: altura de peitoris, janelas, portas, vigas, espessura de lajes de piso e escadas, espessura de forros, altura dos telhados, espessura e profundidade das fundações. Deve também ser indicado o perfil do terreno. A posição dos cortes deve ser indicada na planta baixa, e geralmente são desenhados nas escalas 1:50 ou 1:100.
- Fachadas: as fachadas são projeções verticais das faces externas do prédio a ser construído. Não são indicadas cotas, e podem ser desenhadas nas escalas 1:50 e 1:100.
- Detalhes: são desenhos de dimensões ampliadas (geralmente em escala 1:1, 1:5 ou 1:10) de certos elementos do edifício, para melhor interpretação no momento da execução.
- Projetos complementares: fundações, locação de pilares, fôrmas dos pavimentos, estrutural (vigas, lajes, pilares, escadas, reservatórios), cobertura, instalações (elétricas, telefônicas, hidrossanitárias, incêndio, gás, ar condicionado, elevadores, alarme, etc.)

1.2.3.2 PARTE ESCRITA DO PROJETO: O documento escrito do projeto consiste nas **discriminações técnicas**, que de forma precisa, completa e ordenada, descreve os materiais de construção a utilizar, indica os locais onde esses materiais serão empregados e determina as técnicas exigidas para o seu emprego. Em outras palavras, as discriminações técnicas consistem no conjunto de prescrições normativas que definem e caracterizam os materiais, equipamentos, instalações e técnicas de execução de um determinado serviço ou obra. Assim, a finalidade das discriminações técnicas é complementar os desenhos do projeto, dando ao construtor e ao fiscal da obra todos os dados que os desenhos não incluem, como: traço das argamassas; tipo e cor da louça sanitária; marca, cor e técnicas de aplicação das tintas; marca e tipo das fechaduras, etc.

Descrevendo de forma ordenada os materiais de construção a empregar e indicando onde e como devem ser utilizados, as discriminações técnicas tornam-se um guia para a elaboração do orçamento da obra, evitando omissões na relação dos serviços.

As discriminações técnicas devem ser sempre redigidas de uma forma padronizada, para facilitar seu manuseio e para que possam ser efetivamente utilizadas como a base do orçamento exato e da programação da obra. A forma usual e aconselhável de redigi-las é dividi-la em três partes (cadernos ou volumes): 1) Generalidades (ou: Condições Técnicas gerais, Normas gerais, Introdução); 2) Materiais de Construção (ou: Especificações Gerais de Materiais, Discriminação de Materiais ou Materiais a Empregar); e 3) Discriminação de Serviços (Discriminações Técnicas de Serviços, Condições Especiais, Serviços a Executar ou Execução dos Trabalhos).

Na primeira parte devem ser expostos os objetivos das discriminações técnicas, identificação do proprietário, do contratante, a localização da obra, etc. Devem ser também expostos alguns itens do contrato, como, por exemplo, providências a serem tomadas no caso de divergências entre projeto e execução e no caso de desejo de alteração do projeto por uma das partes.

A segunda parte é composta por uma série de normas que definem os processos de extração, fabricação, métodos de ensaio, condições de recebimento, desempenho, etc., dos materiais básicos a serem utilizados na obra.

Na terceira parte, a mais importante, são descritos todos os serviços a serem executados na obra. Os itens devem ser obrigatoriamente numerados (codificados) de acordo com a norma de classificação de serviços adotada (informada na primeira parte das DT). Esse mesmo sistema de classificação deve ser adotado em todos os diferentes serviços de programação da obra, orçamento, planilhas, cronogramas, etc.

2. CANTEIRO DE OBRAS

2.1 PREPARAÇÃO DO TERRENO

Após concluídas e devidamente aprovadas as etapas anteriores (estudos preliminares, anteprojeto e projeto), passa-se a preparar o terreno para a construção. Na grande maioria das vezes, são necessárias operações de escavação e aterro no intuito de criar um perfil do terreno que seja adequado à obra a ser executada.

Tanto em obras com desenvolvimento horizontal (como no caso de indústrias), em obras do porte de estradas e barragens, como no caso de obras com desenvolvimento vertical (ex.: edifícios), concentradas em pequenas áreas, geralmente é necessária a execução de serviços de terraplenagem prévios, regularizando o terreno natural em obediência ao projeto que se deseja implantar. Assim, a terraplenagem, ou movimento de terras, pode ser entendida como o conjunto de operações (escavação, carga, transporte, bota-fora ou aterro) necessárias para remover a terra dos locais onde se encontra em excesso para aqueles onde há falta, tendo em vista um determinado projeto a ser implantado.

Nas operações de corte e aterro, deve ser considerado o *empolamento* do solo, ou seja, o aumento de volume quando o solo é retirado do seu lugar natural e removido para outro. A proporção do aumento depende do tipo de solo escavado. A tabela 2.1 a seguir fornece a percentagem de empolamento (aumento de volume expresso em %) para alguns tipos de solo.

Tabela 2.1 - Percentagem de empolamento para alguns tipos de solo

SOLO	EMPOLAMENTO (%)
Argila	40
Argila com pedregulho, seca	40
Argilacom pedregulho, molhada	40
Terra comum seca	25
Terra comum molhada	25
Areia seca solta	12
Areia molhada compacta	12
Pedregulho $\varnothing_{\max}$ 10 a 50 mm	35 a 50
Rochas duras (granito)	30 a 35
Rochas brandas (arenito)	

Após o desmonte, o solo assume, portanto, volume solto (V_s) maior do que aquele em que se encontrava em seu estado natural (V_n), e conseqüentemente com peso específico solto (γ_s) menor que o peso específico natural (γ_n).

Por exemplo, se o fator de empolamento de uma argila for de 40%, significa que 1m^3 dessa argila no estado natural (antes da escavação) torna-se $1,40\text{m}^3$ no estado solto (após a escavação).

Os movimentos de terra podem ser feitos manual ou mecanicamente, dependendo da importância dos trabalhos, das possibilidades da empresa, das exigências impostas pela própria situação do canteiro e dos prazos estabelecidos para a duração das atividades.

Quando o volume de terras a movimentar for grande, será mais econômica a utilização de aparelhos mecânicos, que apresentam rendimento variado entre 25 e $400\text{ m}^3/\text{hora}$. Assim, convém conhecer as possibilidades dos diversos equipamentos disponíveis e sua eficiência, para adotar o tipo mais adequado a cada caso. Alguns

desses mecanismos são montados em tratores de pneus e outros em tratores de esteiras.

Dentre os instrumentos conhecidos de escavação, o que apresenta maior variedade de emprego é a **pá mecânica**, podendo ser equipada de modos diferentes, correspondendo a diferentes tipos de trabalho:

- **Escavadeira**: ilustrada na figura 2.1, é um equipamento cuja capacidade varia de 0,2 a 3 m³ que permite escavar desde solos moles até rochas desagregadas por explosão. É utilizada também em dragagens. Como os movimentos de rotação, de transporte e de posicionamento dos braços absorvem cerca de 60% da duração do ciclo de trabalho, é preciso procurar dispô-la de maneira a reduzir movimentos inúteis, poupando assim tempo na execução do serviço. O equipamento é utilizado de preferência para os trabalhos em que a escavação é acima do nível de assentamento da máquina, como mostra a figura 2.2.

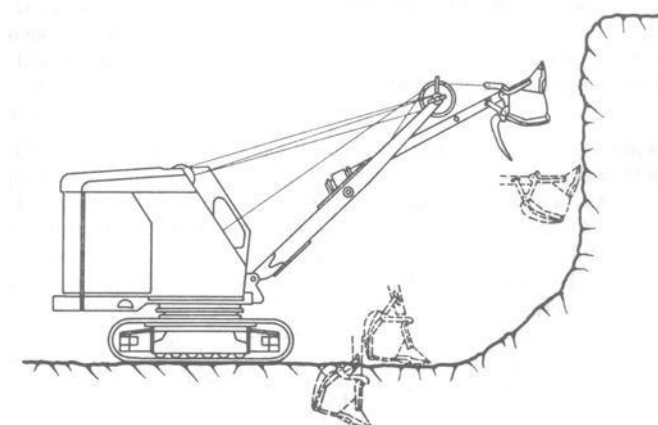


Figura 2.1 - Escavadeira

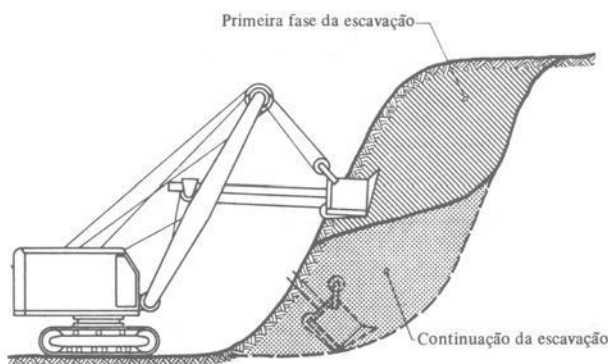


Figura 2.2 - Esquema de trabalho da escavadeira

- **Retro-escavadeira**: Ilustrado na figura 2.3, esse equipamento permite uma execução precisa e rápida, podendo ser utilizada para a escavação em terrenos relativamente duros. São muito utilizados para a escavação de valas para tubulações enterradas e também para fundações corridas, sendo que a largura da concha determina a largura da vala. Atualmente, são chamadas apenas de escavadeiras.

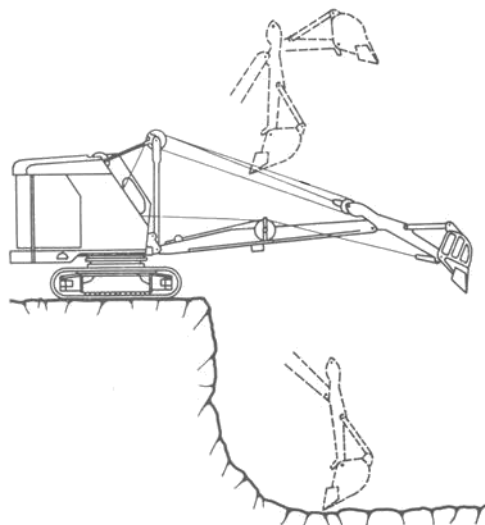


Figura 2.3 - Retro-escavadeira

- Caçamba de garras ("clam-shell"): permite maior movimento de solos moles e rochas desagregadas (figura 2.4). É um equipamento largamente utilizado na execução de paredes-diafragma (vide capítulo 3 desta apostila).

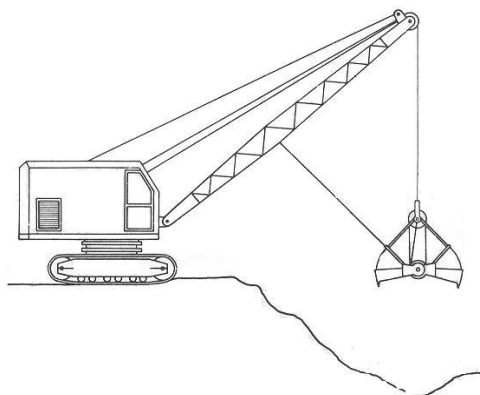


Figura 2.4 - Clam-shell

Outro equipamento também utilizado em movimento de terras é a chamada **pá carregadeira**, existindo três tipos característicos: a) com caçamba de movimento vertical (figura 2.5); b) com caçamba de descarregamento para trás; e c) com caçamba de movimentos combinados horizontais e verticais. Os equipamentos citados nos itens a e c precisam ser deslocados para trás para a descarga do material escavado, como ilustra a figura 2.6, manobra desnecessária quando é utilizada a caçamba de descarregamento para trás. Entretanto, esse equipamento, bem como a caçamba de movimento vertical (item a), devem ser deslocadas para o carregamento.

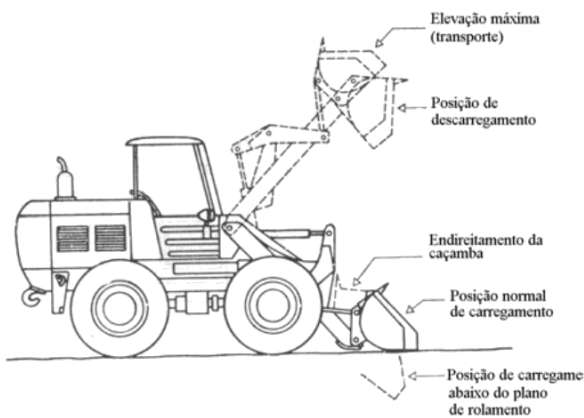


Figura 2.5 - Pá carregadeira sobre pneus



Figura 2.6 - Manobras da pá carregadeira

O número e a diversidade das manobras necessárias influenciam desfavoravelmente o rendimento das pás carregadeiras. O gráfico da figura 2.7 indica o volume de material que a pá carregadeira pode carregar um 1 hora, levando em conta as manobras ilustradas na figura 2.6.

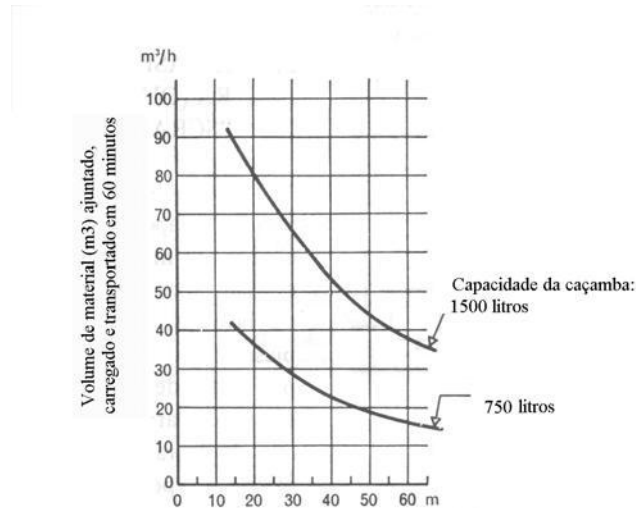


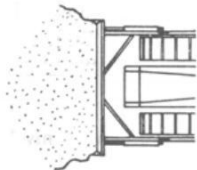
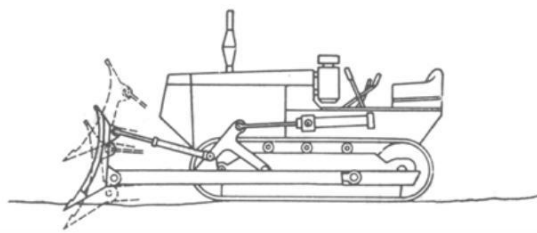
Figura 2.7 - Rendimento aproximado da pá carregadeira (m^3/h)

O **bulldozer** (figura 2.8) é um trator que possui uma lâmina de aço reta ou ligeiramente curva, fixada à sua frente. Serve para deslocar tanto rochas desagregadas como terra e troncos de árvores, e é empregada tanto para operações de escavação como de aterro.

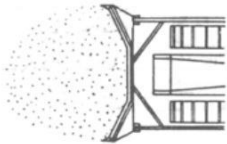
O **angledozer** (figura 2.9) é muito semelhante ao bulldozer, com a diferença de que a lâmina revolvedora pode ser orientada para ângulos diversos com relação ao eixo do equipamento. Permite escavação e aterro simultâneos.

A **niveladora** (ou "**grader**" - figura 2.10) também é um mecanismo revolvedor, que cava, desloca e nivela a superfície do terreno. A lâmina, que apresenta curvatura, pode operar em todas as angulações em relação ao eixo do equipamento. É utilizada para deslocar grandes quantidades de material, para o

nivelamento de superfícies horizontais ou inclinadas, e também para o alinhamento de taludes.



Lâmina ou escudo reto
(rendimento = 1)



Lâmina ou escudo em V
(rendimento = 1,3)

Figura 2.8 - Bulldozer

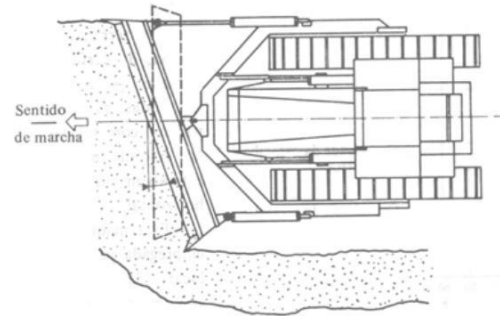


Figura 2.9 - Angledozer

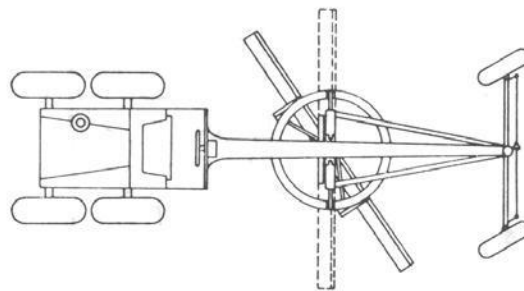
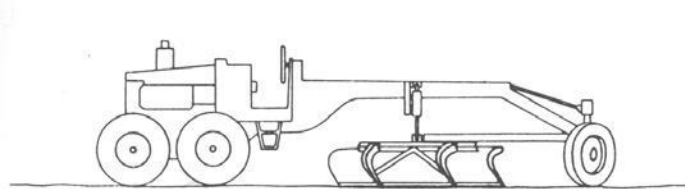


Figura 2.10 - Niveladora ou "grader"

O **escarificador** (ou "**ripper**" - figura 2.11) é um equipamento dotado de um rastelo (espécie de ancinho em grandes dimensões) com dentes espaçados, que serve para desagregar o terreno. Costuma ser montado nas pás carregadeiras, bulldozers ou nas niveladoras.

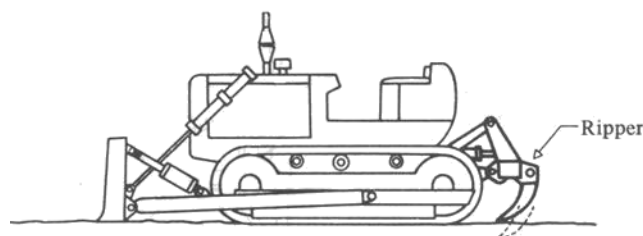


Figura 2.11 - Escarificador ou "ripper"

A **raspadeira** (ou "**scraper**" - figura 2.12) é usada para extração de terra em camadas pequenas. Permite a terraplenagem e carregamento das terras em uma só operação, podendo transportar e descarregar o material sem interrupção. Em alguns tipos de terreno pode ser necessário um impulsor (trator de esteiras, por exemplo).

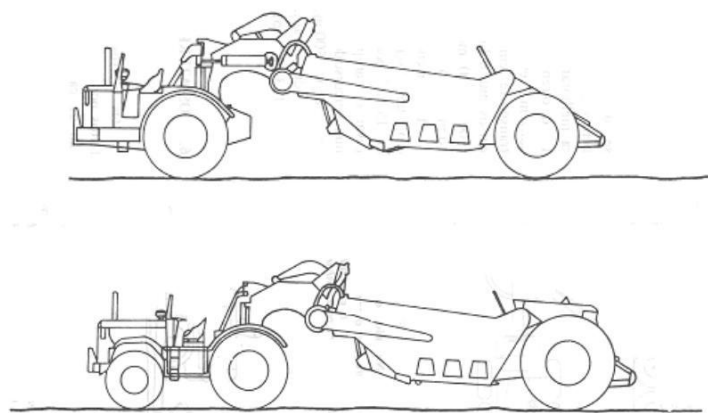


Figura 2.12 - Scraper

2.2 INSTALAÇÃO DO CANTEIRO

2.2.1 Introdução

Com o terreno limpo e movimento de terra executado, passa-se à preparação do canteiro prevendo-se todas as necessidades futuras da obra. A distribuição do espaço disponível deve ser adequada. As instalações poderão ser executadas de uma só vez ou em etapas independentes, de acordo com o desenvolvimento da obra.

No canteiro, deve-se considerar:

- ⇒ ligações de água, energia elétrica e meios de comunicação;
- ⇒ áreas para materiais a granel não perecíveis;
- ⇒ construções (almoxarifado, escritório, alojamento);
- ⇒ sanitários;
- ⇒ circulação (acessos);
- ⇒ áreas para trabalhos diversos (carpintaria, armação, etc.);
- ⇒ equipamentos de segurança
- ⇒ andaimes, andaimes suspensos (jaú), passarelas, rampas, plataformas, tapumes e bandejas;
- ⇒ placas dos profissionais/responsáveis técnicos.

O canteiro de obras é o local onde desenvolver-se-ão os serviços de construção. Se bem organizado e administrado, possibilita menores tempos de preparo e execução, melhor aproveitamento da mão-de-obra e de materiais, e melhor qualidade, resultando, no final, menores custos. Deve-se prever um bom acesso à obra para o fornecimento de materiais e equipamentos até os locais de armazenagem, transitável até nos dias de chuva. Os caminhos internos (dentro do canteiro) devem ser curtos, lisos e com pouca inclinação.

Os componentes básicos de um canteiro de obras são:

1. Acessos
2. Setor administrativo
 - * escritórios
3. Setor social
 - * vestiários, sanitários, refeitórios, alojamentos
4. Setor técnico
 - * depósito de ferramentas e equipamentos
 - * almoxarifado
5. Setor de materiais
 - * depósitos fechados e abertos
 - * agregados
 - * cimento
 - * cal
 - * tijolos
 - * madeira
 - * ferro
 - * material hidráulico
 - * material elétrico
 - * concreto pronto
 - * argamassa pronta
6. Locais de preparo ou transformação (postos de trabalho)
 - * concreto
 - * argamassas
 - * formas
 - * armaduras
 - * pré-moldados
7. Meios e vias de transporte horizontal e vertical
 - * caminhões (carroceria, caçamba, etc.)
 - * carregadeiras
 - * carrinhos, giricas
 - * guincho
 - * guincho de torre
 - * guas
 - * correias transportadoras
 - * calhas
8. Locais de aplicação

2.2.2 Providências imediatas

A primeira providência a ser tomada para o início dos trabalhos é a **obtenção de água** para o consumo da obra. Se o local já for servido por rede de água, deve-se requerer à Companhia de Abastecimento (CASAN, no caso de Santa Catarina) a *ligação provisória* para a utilização na obra. Será então instalado pela companhia um *cavalete* num ponto do terreno previamente determinado. Se o local não for servido

por rede de água, deve-se imediatamente providenciar a perfuração de um poço no local definitivo.

O poço deve ser localizado no fundo da obra, pois na frente geralmente é construída posteriormente a fossa séptica. A água é conduzida ao canteiro por meio de tubulação provisória ou mangueira de borracha. O diâmetro dos poços pode variar de 0,80 a 2,00 metros, de acordo com o consumo previsto. A capacidade do poço é calculada pelo produto da área com a altura de água armazenada. Depois de bombeada, a água é armazenada em uma caixa d'água colocada sobre uma torre de madeira devidamente dimensionada. A partir daí, a água seguirá por tubulação aos pontos necessários (vestiários, refeitórios, obra, etc.).

Outra providência a ser tomada nos primeiros momentos é a **ligação elétrica**. Ao lado da entrada da rede pública ou no ponto fornecido pelo proprietário, monta-se um poste de madeira com medidor e disjuntores para os diversos ramais. A distribuição de energia no canteiro é feita por linhas aéreas fixadas em postes de madeira ou concreto a cada 15 ou 20 metros. A rede deve ser de baixa tensão e trifásica, se possível (os motores mais comuns funcionam em corrente trifásica de 220/380V).

2.2.3 Construções

Após solicitadas as ligações elétrica e hidráulica, deve ser iniciada a construção do tapume e dos **barracões**, que devem ter dimensões que satisfaçam às necessidades da obra. Deverão ser construídos:

- * depósitos de cimento e cal (para estoque em quantidades suficientes para, no mínimo, 1 semana de obra). A disposição das portas deve ser tal que facilite a retirada dos estoques em ordem contrária aos fornecimentos;

- * almoxarifado para ferramentas e materiais miúdos, equipados com prateleiras de diversas larguras e alturas, facilitando o manuseio das ferramentas;

- * escritório da obra, cujo tamanho depende do porte da obra. Para obras de grande porte, deve ter as seguintes salas: uma peça para o engenheiro residente e eventuais engenheiros auxiliares; uma sala menor para o mestre geral; uma sala para os apontadores ou encarregado administrativo e eventuais auxiliares; uma sala para o cliente ou sua fiscalização (se necessário for); sanitários; copa para o café.

- * alojamento para os operários;

- * refeitório;

- * vestiários;

- * sanitários.

O tapume deve ser feito em todo o perímetro da obra, com altura mínima de 2,20 metros. Pode ser feito com chapas de compensado com espessura de 12 ou 14mm (dimensões 2,20 x 1,10m), fixados a caibros, como mostra a figura 2.13. Na parte superior dos caibros podem ser fixadas as placas da obra. Além de compensados, podem ser utilizados para o fechamento dos tapumes: chapas galvanizadas, telhas de fibrocimento ou tábuas.

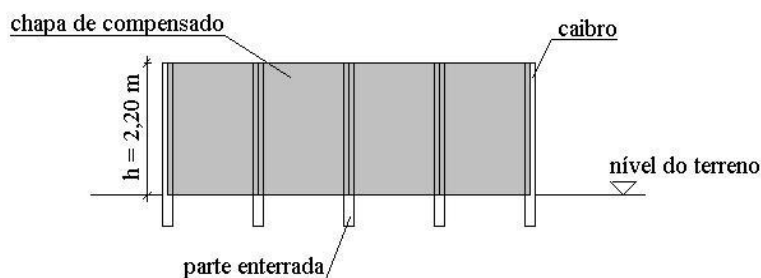


Figura 2.13 - Tapume de obra

Para o dimensionamento do canteiro de obras, devem ser observadas as regulamentações impostas pela recente alteração na NR-18, a norma que regulamenta os canteiros de obras que pertence à Portaria 3.214 do Ministério do Trabalho. Alguns exemplos das mudanças impostas por essa norma são:

- * deve haver 1 chuveiro para cada 10 operários (ou fração) no alojamento, e não mais 1 para 20;
- * a obrigatoriedade de elevador de passageiros para obras de edifícios com 12 pavimentos ou mais passa para sete pavimentos;
- * a alimentação dos trabalhadores deverá ser orientada por nutricionistas;
- * os canteiros com mais de 50 funcionários devem ter, obrigatoriamente, um técnico em segurança do trabalho;

Passa a ser obrigatória também a comunicação de acidentes ocorridos no canteiro aos sindicatos e órgãos competentes, permitindo o controle estatístico dos acidentes do trabalho.

2.2.4 Postos de trabalho

Os materiais de grande utilização nas obras e que necessitem de preparo prévio para a utilização deverão ter sua produção centralizada em áreas do canteiro pré-determinadas para isso. É o caso do concreto, argamassa, fôrmas, armaduras e elementos pré-moldados.

2.2.4.1 Posto de produção de concreto: o armazenamento dos agregados pode ser feito em depósitos dispostos em forma de leque, com pranchas divisórias entre eles (figura 2.14). No vértice do leque fica a betoneira, e do outro lado o acesso para os caminhões. O tamanho do compartimento de cada agregado deve ser tal que possibilite o armazenamento de quantidade suficiente para uma semana, devendo cada compartimento ser preenchido a cada 3 dias. Assim, não existe o risco de falta de material e conseqüente paralisação na execução dos serviços, o que resultaria em atraso da obra.

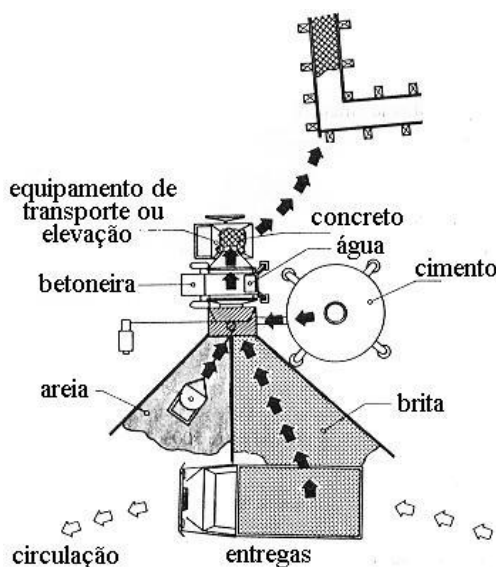


Figura 2.14 - Exemplo de posto de produção de concreto

2.2.4.2 Posto de carpintaria: o posto de carpintaria deve ser coberto para proteger as serras, plainas e bancas de trabalho. Essa instalação tem por objetivo a execução das fôrmas para servirem de molde às estruturas de concreto. Uma central de carpintaria compreende basicamente os seguintes setores:

- a) área para o estoque de madeira bruta (próxima às bancadas de trabalho e de fácil acesso para a descarga de caminhões de entrega);
- b) oficina de beneficiamento da madeira (onde ficam as serras, plainas e desempenadeira);
- c) pranchetas de pré-montagem (bancada de trabalho);
- d) área de estoque de fôrmas prontas (deve ficar entre a carpintaria e a obra);
- e) área para recuperação de fôrmas após a utilização;
- f) área para estoque de material complementar e acessórios.

Entretanto, antes de iniciar a produção da carpintaria, deve-se fazer a previsão dos equipamentos necessários em função do volume e ritmo previsto para a execução da obra. Os equipamentos comumente utilizados numa central de carpintaria são:

- desempenadeira: tem a função de aparelhar a madeira que vem das serrarias. A produção é elevada: pode chegar a 300 metros de madeira aparelhada por dia.
- serra circular: corta a madeira com um disco de aço dentado que gira em alta velocidade. A produção também é elevada.
- plaina desengrossadeira: acerta as arestas das madeiras cortadas com a serra circular. A produção pode chegar a 120 metros por hora.
- furadeira horizontal, furadeira vertical.

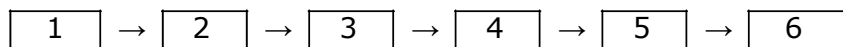
2.2.4.3 Posto das armaduras: o posto das armaduras deve abrigar máquinas, equipamentos e ferramentas que permitam a confecção das armaduras para concreto armado. O depósito das barras de aço deve se localizar num ponto de fácil acesso para as carretas (caminhões), sendo que a descarga deve ser feita lateralmente, de preferência paralelamente ao meio-fio da rua de acesso. As barras devem ser separadas por diâmetro (bitola), para facilitar no momento da montagem das armaduras. É importante que se preveja um depósito para as sobras, que devem também ser separadas conforme seu diâmetro e comprimento, para melhor reaproveitamento.

A área destinada ao corte e dobramento das barras deve ser ampla. As armaduras já montadas devem ser armazenadas em área separada e numeradas conforme o elemento estrutural a que se destinarem. Eventuais trocas podem ter consequências desastrosas para a estrutura. A central de dobramento é de extrema importância, não devendo ser improvisada para que não prejudique o desenvolvimento dos trabalhos. Utilizando de forma racional a mão-de-obra e a mecanização, esse posto de trabalho pode apresentar produtividade de 2 a 3 vezes maior, se comparada com a executada manualmente. Atualmente, é comum nas grandes cidades o fornecimento de armaduras já montadas entregues diretamente no canteiro de obras, aumentando a produtividade. Certos canteiros permitem a centralização e boa organização do trabalho, com operações em série, possibilitando uma redução nas perdas dos materiais e oferecendo boas condições de higiene e segurança do trabalho.

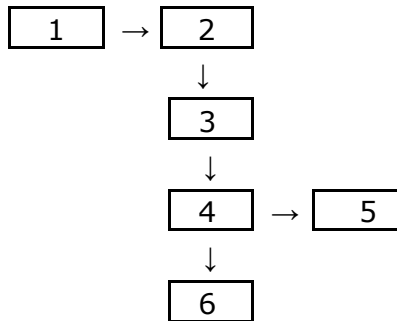
O ferro de construção oxida-se, mas como a sua utilização no canteiro é relativamente rápida, não é necessária a construção de abrigo para armazenamento dos mesmos.

A seguir, são dadas algumas sugestões para a disposição da central de dobramento:

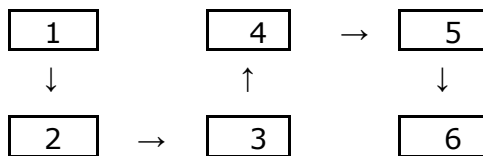
SUGESTÃO A:



SUGESTÃO B



SUGESTÃO C



onde:

1 - estoque das barras como fornecidas

2 - corte

3 - emendas

4 - dobra

5 - estoque de ferro dobrado

6 - pré-montagem (a montagem final é feita dentro da fôrma)

→ caminho da barra de aço

2.3 TRANSPORTES INTERNOS

Deve-se planejar o canteiro de tal modo que facilite os caminhos de transportes internos, que devem ser o mais curtos possível, com boas condições de trânsito, e de preferência planos. O transporte interno representa parcela ponderável no custo da obra, mas é bem possível a melhoria do fluxo dos materiais e componentes.

O transporte interno pode ser realizado através de equipamento de operação manual ou equipamento motorizado, indo desde o carrinho de mão até o guindaste motorizado de lança telescópica, conforme o porte da obra e a cultura da empresa. É normal um confronto econômico entre a utilização de um determinado equipamento para transporte dos materiais e a mão-de-obra que eventualmente possa realizar esse mesmo transporte, pois o custo de aquisição do equipamento é alto e os salários são baixos. Uma análise da produtividade global da obra indicará o melhor método de trabalho do ponto de vista econômico.

As características dos equipamentos de transporte devem ser avaliadas quando da escolha dos mais adequados para cada caso. O equipamento pode ser: portátil; fixo; móvel; com deslocamento na horizontal; com deslocamento na vertical; de posição inclinada; com deslocamento de carga ao nível do solo, abaixo do solo ou acima do solo; com atuação em área limitada, com circulação limitada ou ilimitada; de produção contínua; de produção ocasional; com motor elétrico ou a diesel (combustão).

A seguir, são descritos alguns tipos de transportadores.

2.3.1 Transportes horizontais de pequena carga

Os meios de transporte horizontal mais empregado nas obras de construção civil de edifícios são os carrinhos e as giricas, e são utilizadas para transportar tanto materiais e produtos, como argamassas e concretos. O transporte de argamassa e concreto será discutido com maiores detalhes no capítulo que trata sobre a Produção do Concreto.

Para o transporte de cargas maiores, podem ser utilizados pequenos carros motorizados dotados de caçamba, denominados "dumper".

2.3.2 Transportadores de correia

São usados para transporte horizontal ou inclinado de materiais, geralmente a granel (areia, brita, argila, concreto). Atualmente, os transportadores portáteis de correia são de grande utilidade para o transporte e aplicação de concreto, com produção que pode chegar a 100 toneladas por hora. Dentre as vantagens desse tipo de transporte, destacam-se a facilidade de operação, custo relativamente baixo de aquisição e grande durabilidade. Entretanto, nas obras pesadas esse tipo de transporte tem maior aplicação, por ser de operação contínua e ter alta capacidade de produção. São utilizados também em centrais de britagem, centrais de concreto, sistemas de refrigeração, transporte de materiais de escavação de túneis, etc.

2.3.3 Equipamentos de elevação

Existem diversos equipamentos mecânicos disponíveis para o transporte de materiais ou produtos suspensos acima do solo. Os pontos de partida e chegada podem estar situados num mesmo plano horizontal ou em planos diferentes. Esse tipo de equipamento reduz o número de pessoas, o cansaço, e aumenta a produtividade.

- grua em torre ou guindaste (figuras 2.15 e 2.16).
- grua sobre caminhões-pneus: (figura 2.17) é um bom equipamento para obras horizontais, como barragens e estradas. Suas principais aplicações são: lançamento de concreto, movimentação das fôrmas, movimentação das armaduras, movimentação de pré-moldados, montagem de centrais de britagem e de concreto, movimentação de peças metálicas, etc.
- grua sobre chassis-esteira-sapatas (figura 2.18).

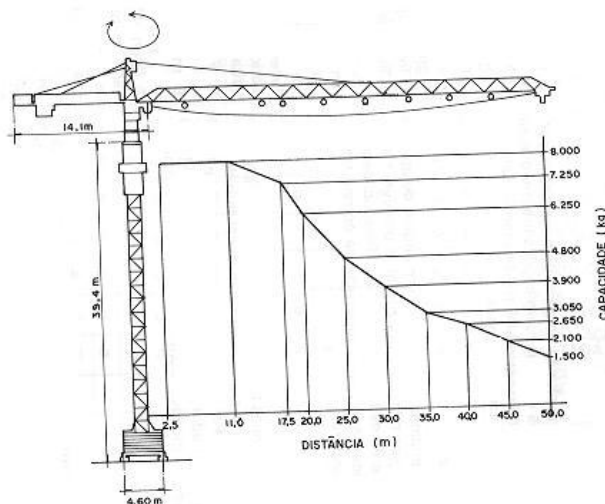


Figura 2.15 - Guindaste em torre

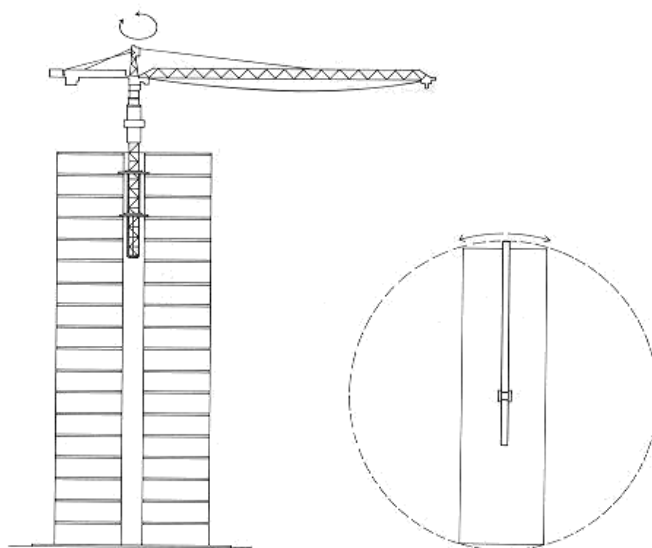


Figura 2.16 - Guindaste em torre apoiado em andares inferiores do edifício no poço do elevador

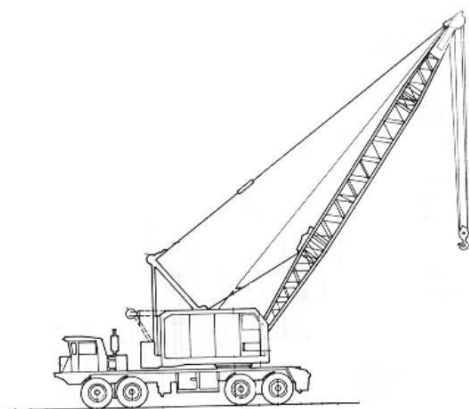


Figura 2.17 - Grua sobre caminhão de pneus

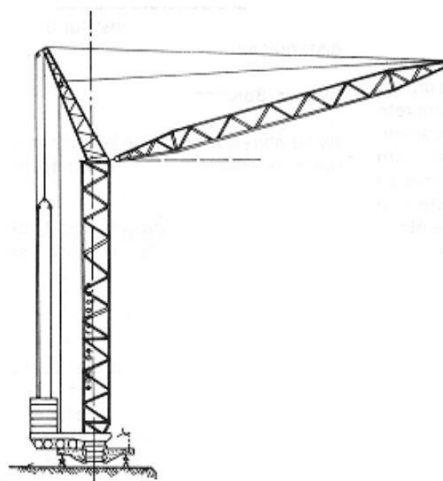


Figura 2.18 - Grua sobre sapatas

Para menor escala de transporte vertical, existem outros equipamentos mais simples e de menor porte, como os *guinchos* (figura 2.19), que podem transportar materiais ou mesmo pessoas em edifícios. O guincho é um elevador de obra acionado por motor elétrico e comandado manualmente por um operário. Os guinchos de torre, como mostrado na figura 18, são mais duradouros, podendo ser de madeira ou metálicos. O melhor ponto de instalação desse tipo de equipamento é próximo ao centro geométrico da obra, pois ficam minimizados os tempos gastos com transporte até o guincho. Deve-se evitar sua instalação em locais onde irão passar tubulações hidráulicas ou em locais com acabamento especial, pois pode resultar em muitas trocas de posição, com conseqüente atraso dos serviços. Dos meios de transporte vertical, os mais simples são aqueles feitos com auxílio de roldanas, que podem ser fixadas em uma estrutura simples de madeira, sendo operadas manualmente (figura 2.20) ou com auxílio de motor. São destinadas ao transporte de materiais e componentes leves, como peças de formas e armaduras.

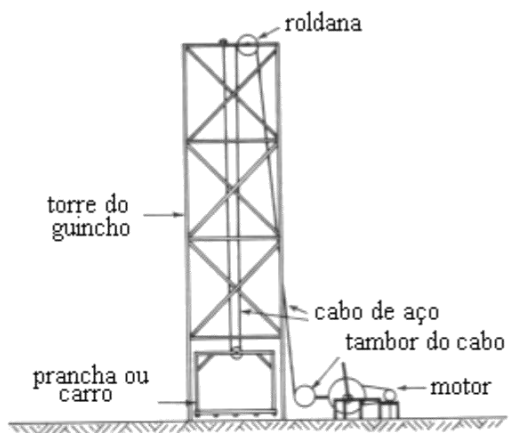


Figura 2.19 - Guincho de torre

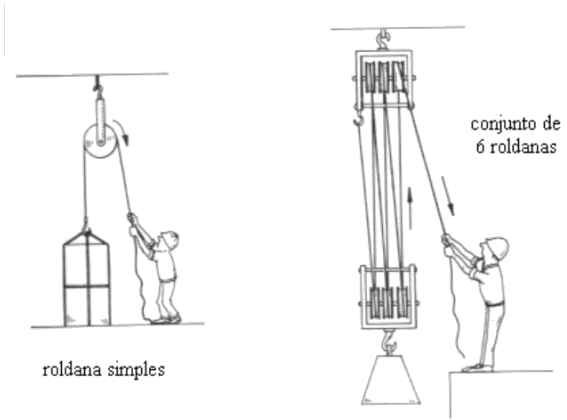


Figura 2.20 - Guincho manual

3. ESCAVAÇÕES E ESCORAMENTOS

Na execução de fundações e obras subterrâneas como metrô, galerias, tubulações enterradas, subsolos, etc., é freqüente a escavação em solos e/ou rochas a céu aberto. Nesse tipo de escavação, é sempre mais econômico prever a execução de taludes, escalonados ou não, do que paredes verticais escoradas ou ancoradas, desde que a natureza do solo e as condições locais permitam, ou seja, desde que não haja perigo de deslizamento que possa afetar a estabilidade das construções vizinhas.

Na escavação, os cuidados básicos dizem respeito à programação das ETAPAS da escavação e à execução de *banquetas*, *taludes*, *trincheiras*, *escoramentos*, *retomada de fundações* e *drenagem*. As etapas são estabelecidas em função dos volumes de terra a escavar ou remover. Em princípio, em lotes não muito grandes, a escavação geralmente avança do local de carregamento para o ponto mais afastado, e do centro para a periferia, como ilustra a figura 3.1.

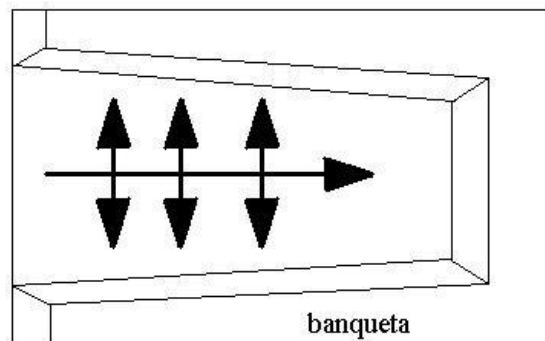


Figura 3.1 - Sequência aconselhável para a escavação em lotes não muito grandes

3.1 CONTENÇÃO COM TALUDES

As *banquetas* são maciços de terra que, durante a escavação, permanecem na periferia do lote para garantia da própria escavação e de edificações vizinhas. Normalmente, a largura no topo é de 50cm a 1 metro, sendo que o corte é feito com inclinação, denominada *talude* (figura 3.2). Dependendo das características do solo, será possível a execução de escavações em taludes com diferentes inclinações e profundidades.

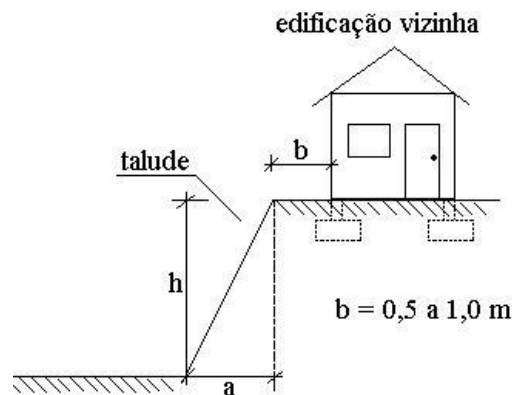


Figura 3.2 - Banqueta e talude

Quando houver fundações diretas a serem executadas junto às divisas, em nível mais baixo que as fundações vizinhas, além das precauções já citadas, devem

ser feitas escavações parciais e limitadas ao local das sapatas ou tubulações a executar, denominadas *trincheiras* (figura 3.3).

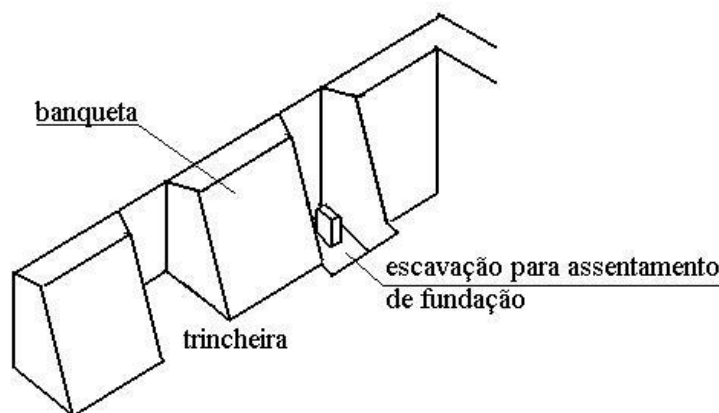


Figura 3.3 - Trincheiras nas escavações junto às divisas

Quando a edificação vizinha for apoiada em alicerces muito rasos em relação às escavações para sapatas, tubulações ou cortinas a executar na divisa, poderá haver necessidade de prolongar esse alicerce até um nível inferior ao da nova edificação. Esse prolongamento, chamado *retomada das fundações*, deve sempre ser executado em trechos alternados (trincheiras).

3.2 OBRAS DE CONTENÇÃO

3.2.1 ESCORAMENTOS

Quando a escavação não puder ser contida apenas com a presença de taludes, deve então ser previsto o escoramento da paredes do corte. Os escoramentos são estruturas provisórias executadas para possibilitar a construção de outras obras, sendo mais comumente utilizadas para permitir a execução de obras enterradas ou o assentamento de tubulações embutidas no terreno. De um modo geral, os escoramentos são compostos pelos seguintes elementos: *paredes*, *longarinas*, *estroncas* e *tirantes*. A figura 3.4 ilustra esses elementos.

- * **Parede:** é a parte em contato direto com o solo a ser contido. Na maioria dos casos, é vertical e formada de madeira (contínua ou descontínua), aço ou concreto.
- * **Longarina:** é um elemento linear e longitudinal que serve de apoio à parede. Geralmente, fica na posição horizontal e pode ser constituída de vigas de madeira, aço ou concreto armado.
- * **Estroncas** (ou escoras): são elementos que servem de apoio às longarinas, indo de um lado a outro da escavação, ou apoiando-se em estruturas vizinhas, mas com comprimento máximo de 12 metros. Assim, as estroncas são perpendiculares às longarinas, e podem ser de madeira ou aço. Em muitos casos, dependendo do comprimento da estronca, pode ser necessário o seu contraventamento ou até apoios intermediários (estacas metálicas cravadas) para suportar seu peso.
- * **Tirantes:** com a mesma função das estroncas (ou seja, suporte às longarinas), os tirantes são elementos lineares introduzidos no solo a ser contido, e ancorados no maciço por meio de um trecho alargado chamado de *bulbo*. Trabalham à tração, e podem ser escolhidas como suporte às estroncas se for julgada a solução mais adequada.

- * **Bermas:** são muitas vezes usados como único elemento de escoramento em contenções de pequena altura (até 6 metros) e em solos com boas características de resistência. Por permitirem deslocamento da parede da contenção, podem induzir recalques indesejáveis em edificações vizinhas. É comum sua utilização como escoramento auxiliar dos outros tipos, funcionando como escoramento provisório até a instalação destes.

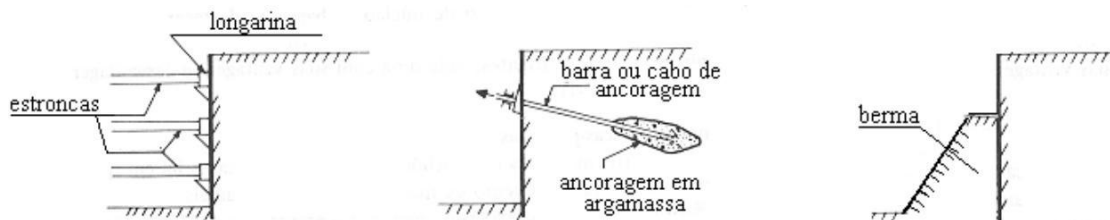


Figura 3.4 - Elementos que compõem os escoramentos

O tirante é um elemento linear capaz de transmitir esforços de tração entre suas extremidades: a extremidade que fica fora do terreno é a *cabeça*, e a que fica enterrada é conhecida como *bulbo de ancoragem*. A grande maioria dos tirantes é constituída por um ou mais elementos de aço, geralmente barras, fios ou cordoalhas. Atualmente, têm sido pesquisados tirantes em fibras químicas, mas com uso ainda restrito a casos especiais.

A cabeça do tirante é a parte que suporta a estrutura. É em geral constituída por peças metálicas que prendem o elemento tracionado através de porcas, clavetes, botões ou cunhas, como mostra a figura 3.5.

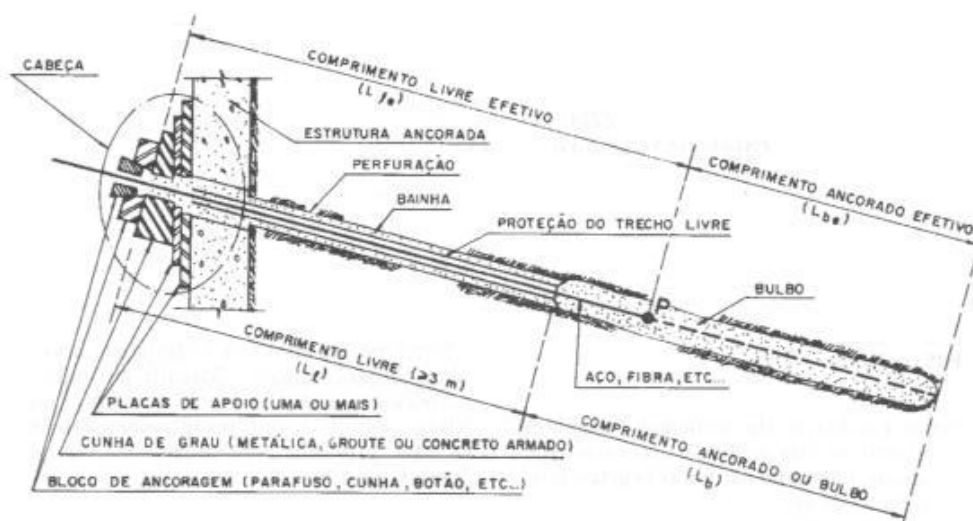


Figura 3.5 - Componentes de um tirante

O bulbo de ancoragem, na grande maioria das vezes, é constituído por nata de cimento, aderindo-se ao aço do tirante e ao solo, e possui comprimento muitas vezes superior a 5 metros. Ao longo do corpo do tirante - o chamado *trecho livre*, que possui comprimento não inferior a 3 metros - o aço não deve estar em contato com a nata de cimento. Por isso, é comum, antes da sua colocação, revesti-lo com graxa, com um tubo ou mangueira de plástico, ou com bandagem de material flexível. Uma grande vantagem do uso de tirantes é, além da alta capacidade de carga (até 850 kN), a simplicidade construtiva. Os elementos que o compõem são simples e de fácil manejo. Se comparados a um sistema de estroncamento, onde são necessários vários elementos de elevado peso (longarinas, estroncas, contraventamentos, apoios

intermediários, etc.), os tirantes são bem mais vantajosos, além de permitir trabalhos dentro da escavação sem a presença daqueles elementos, mantendo o terreno livre. Os tirantes oferecem também a vantagem de permitir fundações mais simples à obra de contenção. Por impedirem o deslocamento inicial do arrimo através da protensão, coisa que não acontece nas contenções tradicionais, reduzem o risco de prejuízo a edificações vizinhas. Nas obras de contenção, os tirantes são usados desde os casos mais simples, com apenas uma linha de tirantes, até casos mais complexos, como em obras de múltiplos subsolos em locais com os mais variados tipos de solo dispostos em camadas.

Dentre as limitações do uso de tirantes, citam-se: i) os tirantes penetram no terreno vizinho no mínimo 8 metros; ii) quando da injeção da nata de cimento para o bulbo de ancoragem, existe a possibilidade de levantamento da superfície do terreno sobre os tirantes em locais de solo argiloso, podendo resultar em danos em edificações vizinhas apoiadas sobre esse terreno; iii) existe a possibilidade de corrosão de tirantes de aço, que geralmente se desenvolve desde a cabeça até aproximadamente 1 metro dentro do trecho livre; iv) por ser um serviço especializado, é oneroso, devendo ser avaliado sob o ponto de vista custo/benefício.

A seguir, são descritas as técnicas de escoramento mais comuns, conforme o material empregado.

3.2.1.1 Escoramento de madeira

Os escoramentos de madeira podem ser construídos com pranchas verticais ou horizontais, dependendo do solo a ser contido e da profundidade do escoramento. Entretanto, são mais comumente empregados para contenção de escavações para o assentamento de tubulações de redes de água ou esgoto.

Os escoramentos de madeira podem ser feitos com pranchas verticais ou horizontais. Se cravadas no solo justapostas, constituem as chamadas *cortinas*. São pranchões de madeira de grande espessura, com a extremidade inferior cortada em forma de cunha para facilitar a cravação, e com encaixes laterais para justaposição (figura 3.6).

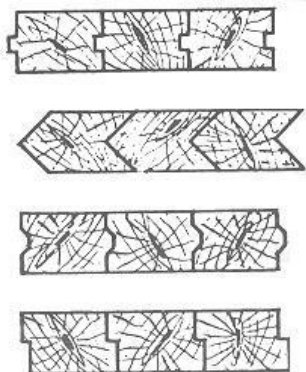


Figura 3.6 - Pranchas de madeira com encaixes laterais

À medida que a escavação avança, as pranchas vão sendo cravadas sempre até um nível inferior ao fundo da escavação. Quando as pranchas não forem capazes de suportar as paredes da escavação devido a esforços de flexão, são dispostas, com auxílio de cunhas, as longarinas e estroncas. As estroncas devem ser espaçadas o suficiente para permitir as operações de escavação, retirada do solo escavado e colocação de tubulação, se for o caso.

Os escoramentos assim descritos podem ser contínuos (pranchas justapostas formando cortinas) ou descontínuos (cravadas com espaçamento entre elas), em função das características do solo contido e do fluxo d'água do lençol freático.

3.2.1.2 Escoramentos mistos de metal e madeira

É um sistema de escoramento provisório, onde as paredes são formadas pelo encaixe de perfis **I** de aço, cravados verticalmente antes da escavação, com pranchas horizontais de madeira. Os perfis geralmente são cravados com espaçamento entre 1 e 2 metros, dependendo dos esforços atuantes, e as pranchas de madeira vão sendo posicionadas à medida que a escavação se aprofunda. Quando a profundidade da escavação não permitir que as paredes contenham o solo, deve-se dispor as longarinas e as estroncas, que suportarão os perfis **I** a partir da profundidade necessária (figura 3.7).

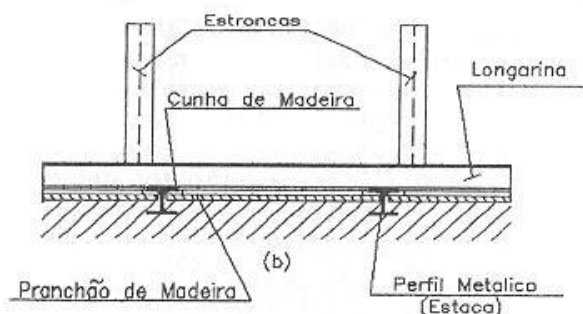


Figura 3.7 - Escoramento misto (perfis **I** metálicos e pranchas de madeira)

As pranchas devem sempre manter contato íntimo com o solo contido, e isso é garantido pela utilização de cunhas de madeira, como indicado na figura anterior. A não adoção dessa medida pode fazer com que existam vazios entre as pranchas de madeira e o solo, com conseqüente deslocamento e abatimento da superfície do terreno contido, como ilustra a figura 3.8. Se existirem edificações próximas à escavação, dentro de uma faixa de largura igual à metade da profundidade escavada, as mesmas podem sofrer recalques consideráveis.

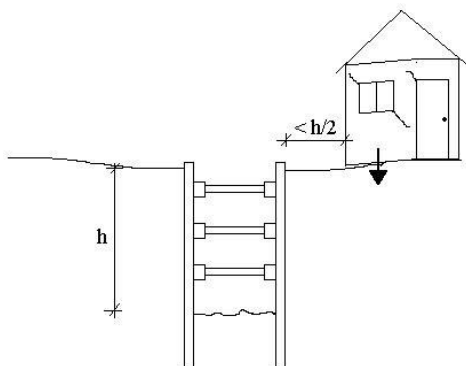


Figura 3.8 - Rebaixamento do terreno e recalque de edificação vizinha à escavação

3.2.1.3 Cortinas de estacas-prancha

As cortinas de estacas-prancha são estruturas planas ou curvas formadas pela cravação de estacas-prancha (de madeira, concreto armado ou metálicas) justapostas no solo. Esse tipo de obra de contenção tem larga aplicação em obras portuárias, proteção de taludes, proteção de fundações de construções vizinhas, etc.

As cortinas de estacas-prancha de madeira já foram descritas no item 3.2.1.

As estacas-prancha de concreto são estacas pré-moldadas de seção variada e com encaixes do tipo "macho-fêmea", conforme ilustra a figura 3.9. Em geral, são solidarizadas por meio de vigas de amarração ao longo de suas cabeças. Entretanto, causam vibrações danosas às edificações vizinhas durante sua cravação, e geralmente

a justaposição das estacas é precária, resultando em juntas abertas que permitem a passagem de água e de areia fina, causando danos às construções vizinhas.

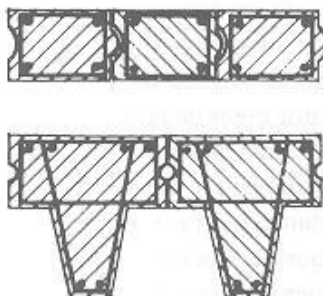


Figura 3.9 - Elementos pré-moldados de concreto para cortinas de estacas-prancha

Apesar de mais resistentes que as estacas-prancha de madeira, as de concreto são muito pesadas e de difícil cravação, pois sofrem danos sob a ação do martelo do bate-estacas.

As estacas-prancha metálicas são perfis de aço laminado com seção plana, ou em forma de "U" ou "Z", com encaixes longitudinais para justaposição (figura 3.10). As principais vantagens das estacas-prancha metálicas sobre as de madeira e de concreto são: maior facilidade de cravação e de retirada (no caso de escoramento temporário), maior regularidade, melhor estanqueidade, grande variedade de módulos de resistência, possibilidade de efetuar cortinas de grande altura e possibilidade de reutilização. Essa solução tem sido mais utilizada em obras marítimas onde é necessária a execução de enseadeira.

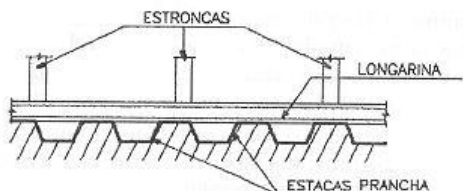


Figura 3.10 - Cortina de estacas-prancha metálicas

3.2.2 CORTINAS

As cortinas são contenções ancoradas ou apoiadas em outras estruturas, caracterizadas pela pequena deformabilidade, podendo fazer parte da estrutura a ser construída.

3.2.2.1 Paredes-Diafragma

As paredes-diafragma são cortinas verticais executadas pela escavação de trincheiras sucessivas ou intercaladas, de comprimento da ordem de 2 a 3 metros, e posterior preenchimento da trincheira com placas de concreto armado ou concreto preparado no local. Por produzir mínimas vibrações, mesmo em areias muito compactas ou argilas muito rijas, esse procedimento executivo reduz as perturbações no terreno, e conseqüentemente nos prédios vizinhos.

Existem vários tipos de paredes-diafragma, dentre os quais se destacam:

- paredes moldadas no local, de concreto armado ou simples;
- paredes pré-moldadas de concreto armado;
- paredes moldadas no local, a partir de uma mistura de cimento, bentonita e água em proporções convenientes conhecida como *coulis*;
- paredes mistas.

As paredes diafragma podem ser executadas em espessuras que variam de 30cm a 1,20 metros, e em profundidades que podem ultrapassar 50 metros. Apenas as paredes executadas com placas pré-moldadas apresentam limitação de dimensões, tendo em vista as técnicas executivas. Entretanto, já foram executadas paredes onde as placas pré-moldadas possuíam 15 metros de comprimento e 40 cm de espessura.

Dessa forma, as paredes-diafragma permitem realizar, com relativa facilidade, segurança e economia, escavações profundas junto a edificações já existentes. Podem ser implantadas em quase todos os tipos de terreno, mesmo em areias finas abaixo do nível do lençol freático. Como são estanques, evitam fluxo de água para o interior da escavação, permitindo, na maioria das vezes, que se trabalhe dentro da vala apenas com esgotamento superficial de água.

São paredes bem mais rígidas que as cortinas de estacas-prancha, podendo fazer parte da estrutura definitiva do edifício, recebendo não só a carga do solo, mas também cargas verticais do prédio.

O processo executivo das paredes diafragma exige a utilização de equipamentos pesados e de grande porte, não sendo possível executá-las em locais onde esses equipamentos não têm acesso. A presença de matacões (grandes blocos de rocha) é outro fator que pode inviabilizar a construção desse tipo de contenção.

A execução de paredes-diafragma torna necessária a estabilização das paredes da vala, já que a escavação é feita sem revestimento. Assim, deve ser utilizada durante a escavação a *lama bentonítica* (mistura de água com bentonita sódica em proporções convenientes). Essa lama é capaz de manter as paredes da escavação estáveis tanto pelo balanceamento entre sua pressão e a pressão do solo, quanto pela propriedade de *tixotropia* (aumento de viscosidade quando em repouso) que apresenta, responsável pela formação de uma película impermeável na superfície do solo denominada "cake". A lama bentonítica deve apresentar características mínimas de modo a serem garantidas as propriedades desejadas, e essas características são detalhadas na norma NBR 6122/86 ("Projeto e execução de fundações"), da ABNT. Durante o processo de escavação, a lama vai se misturando ao solo escavado, e para que mantenha suas características, deve passar por bacias de decantação para "desarenação". Para que a estabilidade da escavação esteja assegurada, o nível da lama dentro da escavação deve estar no mínimo 1,5 metros acima do lençol freático".

A execução desse tipo de parede começa pela construção de pequenas muretas-guias de concreto armado, com altura aproximada de 1 metro, ao longo de todo o trecho a ser escavado, com o objetivo de definir a posição da parede e garantir sua verticalidade (figura 3.11). A escavação, até a profundidade desejada, é feita com equipamento *clam-shell*, sendo que durante todo o período a trincheira permanece preenchida com a lama bentonítica. Atualmente, vêm sendo usado em países como o Japão outros equipamentos que, ao mesmo tempo em que escavam, retiram o solo misturado à lama e enviam a mistura canalizada para as bacias de decantação. Dessa forma, a escavação ocorre de forma mais rápida, sem a necessidade de descarga periódica do solo escavado.

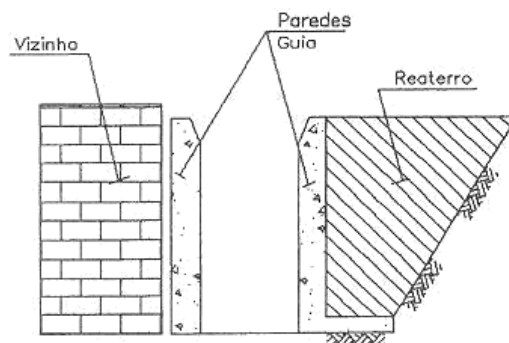


Figura 3.11 - Muretas-guias de concreto armado para escavação de parede diafragma

3.2.2.1.1 Paredes-diafragma moldadas no local: após pronta a escavação, um guindaste posiciona a armadura já montada, quando são dados retoques finais na mesma pelos operários. A armadura é então colocada na sua posição definitiva com auxílio do guindaste. Procede-se então ao lançamento do concreto através de uma espécie de funil que direciona o concreto diretamente para o fundo da escavação, chamado de *tremonha*. A concretagem se dá de baixo para cima. À medida que o concreto sobe, o tubo tremonha vai sendo levantado, tendo, entretanto, sempre sua extremidade mergulhada dentro do concreto. A lama vai sendo expulsa da escavação, por ser menos densa que o concreto.

A divisão entre os painéis sucessivos é feita com auxílio de uma *chapa-junta*, que é colocada logo após o término da escavação, sendo retirada logo após o início da pega do concreto. Essa chapa-junta permite que se forme um encaixe tipo macho-fêmea na extremidade de cada painel concretado.

A seqüência executiva das paredes diafragma de concreto armado moldadas no local é ilustrada na figura 3.12.

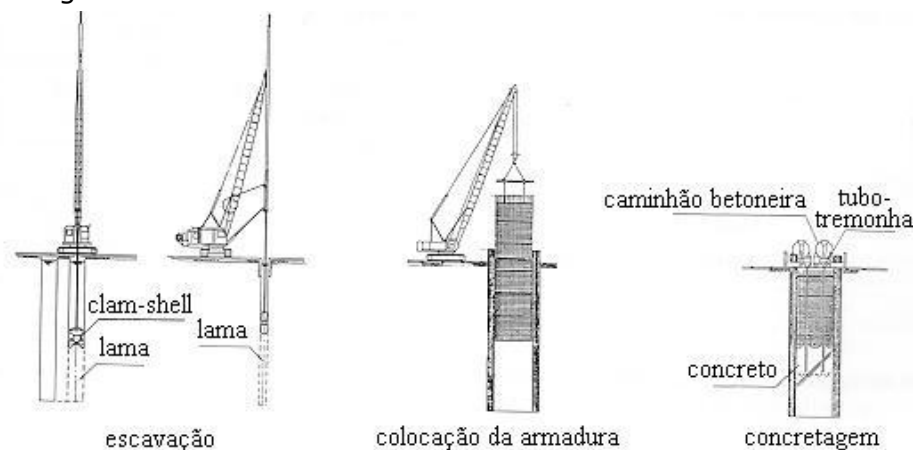


Figura 3.12 - Seqüência executiva das paredes-diafragma de concreto armado moldadas no local

3.2.2.1.2 Paredes-diafragma pré-moldadas: após a escavação, é colocada a placa de concreto armado ou protendido dentro das trincheiras preenchidas com a lama, sendo fixadas e incorporadas ao solo através de uma argamassa de cimento, água e bentonita conhecida como "coulis". A seqüência executiva é ilustrada na figura 3.13.

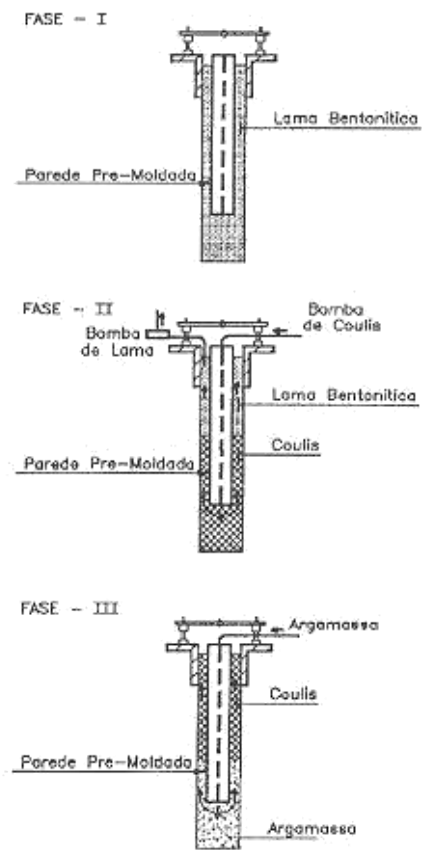


Figura 3.13 - Seqüência executiva das paredes-diafragma pré-moldadas

3.2.2.2 Cortina de concreto armado atirantada

A técnica construtiva desse tipo de contenção, descrita na figura 3.14, consiste na construção da cortina e atirantamento por linhas sucessivas, de cima para baixo. A execução de uma determinada linha só é iniciada quando a linha imediatamente acima estiver integralmente pronta. Dentro de uma mesma linha, o atirantamento é executado em trechos alternados, de maneira que os trechos não escavados (bermas) sirvam de suporte para aqueles em execução. Assim, o processo permite a execução segura, e evita a descompressão do terreno pelo efeito da protensão dos tirantes, reduzindo as deformações a um mínimo.

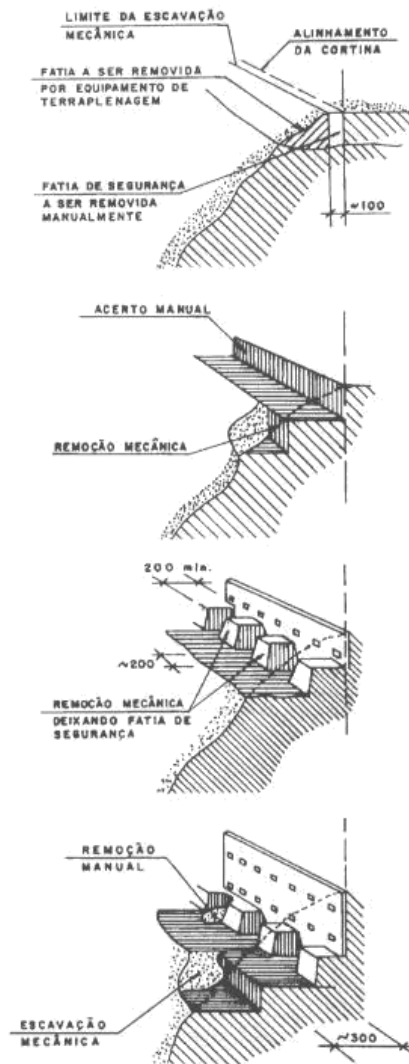


Figura 3.14 - Execução de cortina

atirantada **3.2.2.3 Cortina de estacas tipo "raiz"**

Em terrenos extremamente resistentes ou em locais onde existam matacões, onde as ferramentas dos sistemas tradicionais de contenção não conseguem atravessar, a solução normalmente utilizada é uma cortina de estacas-raiz justapostas (figura 3.15). A estaca tipo "raiz", cujo processo executivo será abordado no capítulo 5 desta apostila, é capaz de atravessar rocha, matacões ou material de consistência rochosa.

A execução das estacas ao longo do perímetro da obra se faz alternadamente, com posterior fechamento dos intervalos. Deve ser garantida a verticalidade das estacas, para que não existam espaços vazios entre estacas sucessivas, o que dificultaria o processo de escavação.

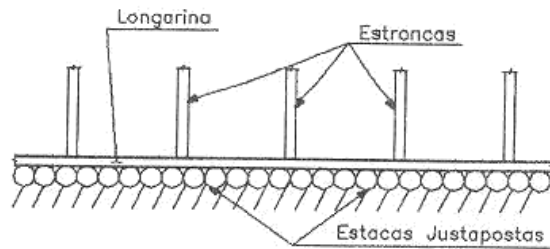


Figura 3.15 - Cortina de concreto com estacas raiz

3.2.2.4 Cortina com estacas escavadas e concreto projetado

É um tipo de contenção que vem sendo bastante utilizado, e consiste na execução de estacas escavadas espaçadas conforme os esforços atuantes no terreno. O processo executivo das estacas escavadas será descrito no capítulo 5 desta apostila. Executadas as estacas, inicia-se a escavação, e vai sendo colocada uma tela em forma de arco entre as mesmas, sendo então aplicado concreto projetado. A figura 3.16 ilustra esse tipo de contenção. A escavação do solo para a colocação das telas deve ser feita em etapas, para que não ocorra desmoronamento.

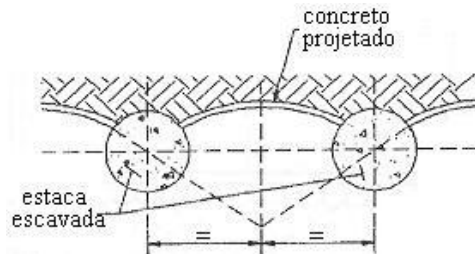


Figura 3.16- Cortina de estacas escavadas com concreto projetado

3.2.2.5 Cortina de estacões ou tubulões

É confeccionada através da execução de estacões (estacas rotativas) ou tubulões justapostos ou intercalados. No caso de intercalados, o espaço existente entre cada estação ou tubulão pode ser preenchido com concreto projetado, cortina de concreto armado ou alvenaria, sendo que a escavação para a execução desse preenchimento deve se dar por etapas, para afastar riscos de desmoronamento. No caso de serem executados justapostos, as juntas entre cada um deve ser preenchida por injeções químicas ou por colunas Jet Grout.

3.2.2.6 Jet Grouting

Também aplicado para reforço de subsolos, o jet grouting é um processo pelo qual água, ar e calda de cimento, numa combinação adequada, são injetados a pressões muito elevadas através de orifícios de alguns milímetros de diâmetro localizados na extremidade de uma haste composta de um ou mais tubos concêntricos (ou seja, haste telescópica), sendo esta haste introduzida no terreno e rotacionada. A mistura é bombeada sob grande impacto, a uma pressão de 200 a 500 vezes a pressão atmosférica, atingindo velocidades na saída do orifício entre 200 e 320 m/s. Isso causa desagregação do solo, que se mistura a esse líquido injetado e transforma o solo em um maciço resistente, formando uma "coluna" de solo-cimento que pode ter diâmetro de até 3 metros, dependendo das características do terreno e do método de execução.

A justaposição dessas colunas pode formar paredes para contenção de maciços ou para permitir a abertura de valas. A sequência executiva é ilustrada na figura 3.17.

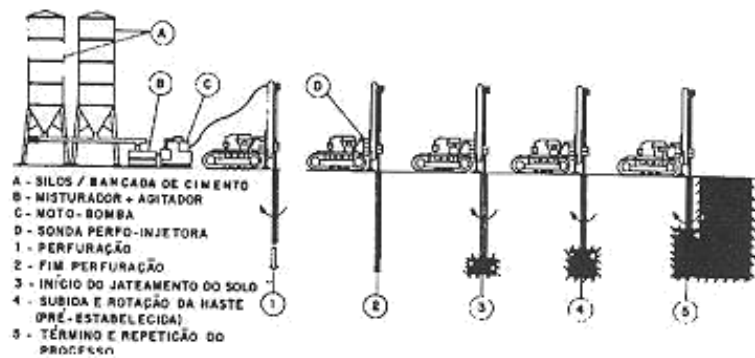


Figura 3.17 - Seqüência executiva de cortina formada por jet grouting

As características de resistência, deformabilidade e permeabilidade desejadas são obtidas pela composição da calda, pela variação da pressão do jato e pelas velocidades de rotação e translação da haste.

Um dos principais problemas relacionados com essa técnica é a irregularidade da parede da escavação formada pela justaposição das "colunas", podendo resultar na existência de solo natural entre as colunas.

3.2.3 MUROS DE ARRIMO

Os muros são estruturas corridas de contenção constituídas de parede vertical ou quase vertical, apoiada numa fundação rasa ou profunda. Podem ser construídos em alvenarias (de tijolos ou pedras) ou em concreto (simples ou armado), ou ainda de elementos especiais.

3.2.3.1 Muros de gravidade

São estruturas corridas (contínuas) que suportam os esforços (empuxos) pelo seu peso próprio. Geralmente são executados para conter desníveis pequenos ou médios, inferiores a cerca de 5 metros. São construídos quando se dispõe de espaço para acomodar sua seção transversal: a largura da base é da ordem de 40% da altura do solo a ser contido.

No caso de contenção em terrenos escavados, podem ser executados em trechos alternados, permitindo que a escavação se processe por etapas, evitando o desconfinamento total do terreno. O muro é então construído em trechos sucessivos até sua conclusão.

Os muros de gravidade podem, também, ser construídos para conter terraplenos (aterros). Nesse caso, o muro deve ser executado integralmente para receber o maciço somente ao final da sua construção, ou à medida que for sendo erguido.

Pelo fato de serem estruturas pesadas, são quase sempre escolhidos como contenção quando o terreno tem boa capacidade de carga, capaz de suportar as tensões máximas na fundação em sapata corrida.

Os muros de gravidade podem ser construídos com diversos tipos de materiais ou elementos:

Muro de pedra seca: são executados com pedras encaixadas manualmente, sem argamassa..

Muro de pedra argamassada: as pedras são assentadas com argamassa (alvenaria de pedra).

Muro de concreto ciclópico: são executados através da execução de fôrmas e lançamento de concreto com pedras de grande dimensão ("pedras de mão").

Muro de solo cimento ensacado: são confeccionados pelo empilhamento de sacos de aniagem preenchidos com mistura de solo, cimento e água.

Muro de gabiões: são construídos pela superposição de gaiolas prismáticas de arame galvanizado cheias de pedras com diâmetro mínimo superior à abertura da malha da gaiola (figura 3.18). Suas principais características são a flexibilidade (acomodam-se bem a recalques diferenciais) e a permeabilidade. O preenchimento com pedras é feito mecanicamente no local, após a disposição da gaiola.

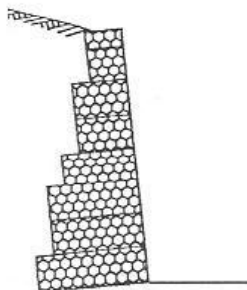


Figura 3.18 - Muro de gabiões

Crib-wall: também chamadas de “paredes de engradados”, são estruturas formadas por elementos pré-moldados de concreto armado, madeira ou aço, montados no local justapostos e interligados longitudinalmente (figura 3.19), cujo espaço interno é preenchido de preferência com material granular graúdo (brita grossa ou pedra de mão).

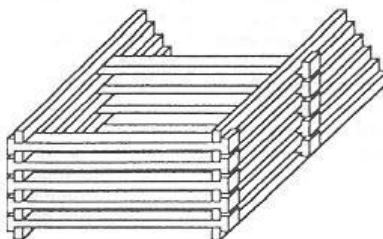


Figura 3.19 - Crib-wall

3.2.3.2 Muros atirantados

São estruturas mistas em concreto e alvenaria (de blocos de concreto ou tijolos) atirantadas ao maciço de solo que contém, por meio de barras ou vigas de concreto armado ligando o muro a blocos, vigas longitudinais ou estacas implantadas no maciço. Os muros assim descritos são estruturas de baixo custo, para pequenas alturas de contenção (até 3 metros), executados sempre que os tirantes não possam vir a tornar-se obstáculos para obras futuras. Dependendo das condições do solo de fundação e da altura do arrimo, podem apoiar-se em sapata corrida, em estacas ou mesmo em brocas (vide capítulo 5 da apostila).

3.2.3.3 Muros de flexão

São estruturas mais esbeltas, com seção transversal em forma de **L** (figura 3.20) que resistem aos empuxos por flexão. O peso do solo sobre a base do **L** auxilia na manutenção do equilíbrio. Na grande maioria dos casos, são construídos em concreto armado, tornando-se em geral antieconômicos para alturas acima de 5 a 7 metros. Os muros de flexão, quando de estrutura massiva, também auxiliam a manter o equilíbrio pelo seu peso próprio, sendo um misto de funcionamento entre os muros de gravidade e os de flexão.

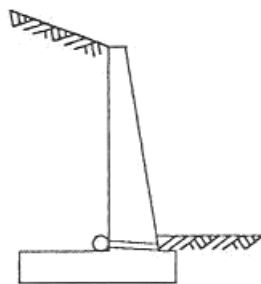


Figura 3.20 - Muro de flexão

3.2.3.4 Muros de contrafortes

Como ilustra a figura 3.21, possuem elementos verticais de maior porte (*contrafortes* ou *gigantes*) espaçados de alguns metros, e destinados a suportar os esforços de flexão pelo engastamento na fundação. Nesse caso, a parede do muro constitui-se de lajes verticais apoiadas nesses contrafortes.

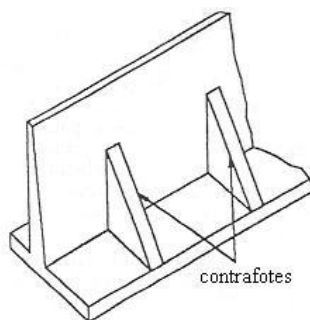


Figura 3.21 - Muro de flexão com contrafortes

Como nos muros de flexão, o equilíbrio é alcançado pelo peso do maciço de solo sobre a base do muro (sapata corrida ou laje de fundação). A diferença entre esse tipo de muro e o muro de flexão é essencialmente estrutural.

Os gigantes ou contrafortes podem ser construídos para o lado externo do muro ou embutidos no maciço. Os muros de contrafortes, assim como os de flexão, destinam-se a conter solos ou aterros que devem ser compactados adequadamente sobre a base, cuja largura é em média da ordem de 40% da altura do solo a ser contido, exigindo assim esse espaço para execução.

Se apoiados em fundações diretas (sapata corrida), a condição crítica de equilíbrio é relativa à translação, o que pode exigir a construção de um dente vertical na fundação para dificultar tal deslocamento. Podem ser apoiados em estacas verticais e/ou inclinadas, dependendo das características do solo no local.

3.3 ASPECTOS IMPORTANTES RELATIVOS ÀS OBRAS DE CONTENÇÃO

A influência da água é marcante na estabilidade dos muros de arrimo, já que o acúmulo de água por deficiência de drenagem pode duplicar o empuxo atuante sobre o muro. Assim, a execução de um sistema eficaz de drenagem é imprescindível.

A drenagem pode ser feita de diversas maneiras. Alguns tipos de contenção, como os muros de pedras secas, gabiões e crib-walls, são **autodrenantes**, tendo em vista o material que empregam. Entretanto, mesmo nesses muros, é indicada a execução de **canaletas** no topo e na base do talude, para captar águas superficiais e evitar o rompimento das fundações do muro. Também é indicada a execução de dreno de areia entre o solo e a estrutura para a coleta de água subterrânea, podendo ser acrescentada uma camada de manta geotêxtil para evitar o carreamento do solo. Em estruturas impermeáveis, como muros de concreto, pedra argamassada, concreto

ciclópico, cortinas atirantadas ou mesmo muros de solo-cimento, devem ser acrescentados a esse conjunto de medidas os **barbacãs**. Esses elementos são tubos horizontais curtos instalados na parte inferior da estrutura de contenção para evitar o acúmulo de água junto à base. O número e diâmetro dos barbacãs variam de acordo com a dimensão da estrutura de contenção. A durabilidade da obra depende ainda da manutenção para evitar colmatção (entupimento) dos drenos.

As valas escoradas com pranchas, sejam elas metálicas, de madeira ou de concreto, não são estanques, provocando o rebaixamento do lençol freático no local. Isso pode gerar um fluxo de água para dentro da escavação, dificultando os trabalhos dentro da vala e podendo causar o carreamento de solos finos, o que seria extremamente danoso para edificações vizinhas. Assim, a necessidade ou não de se prever um sistema de rebaixamento controlado do nível do lençol freático deve ser avaliada.

Também relativamente aos escoramentos, a demora na instalação das contenções e a deficiência no encunhamento das estroncas e pranchas levam a maiores deslocamentos horizontal e vertical do solo vizinho ao da escavação. Os deslocamentos verticais ocorrem com maior intensidade numa faixa de terreno adjacente à escavação igual à metade da altura escavada, diminuindo de intensidade para pontos mais afastados do bordo da escavação. Isso gera distorções em edificações vizinhas, como foi ilustrado na figura 3.8.

Uma das principais dificuldades comuns aos diversos tipos de escoramento de escavações é a possibilidade de não ser atingida a “ficha” necessária à contenção. Entende-se por “ficha” o comprimento do escoramento existente abaixo do nível da escavação, como ilustra a figura 3.22. Isso leva à necessidade de se criar um ou mais planos horizontais de escoramento (estroncas provisórias) para suporte aos empuxos atuantes nas várias frentes de execução.

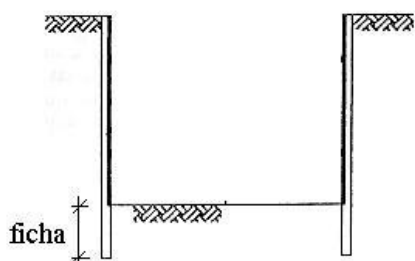


Figura 3.22- Ficha em escoramentos

Com relação às escavações, em solos moles pode ocorrer a ruptura do fundo da escavação quando for atingida a profundidade crítica, sendo que essa ruptura se assemelha à ruptura do solo sob fundações diretas (por cisalhamento). Além do efeito imediato de recalque acentuado da superfície lateral do terreno, há o perigo de deslocamento das estroncas inferiores pela elevação do solo mole no fundo da vala. Aliás, essa elevação pode ocorrer mesmo que não haja a ruptura do fundo, porém em menor intensidade.

Em locais onde existir camada de argila mole subterrânea, e quando o nível da escavação estiver abaixo do nível do lençol freático (figura 3.23), pode ocorrer ruptura súbita do fundo da escavação. Para evitar o problema, basta o uso de poços de alívio internos à vala, não havendo a necessidade de instalação e operação de um sistema de rebaixamento do lençol freático.

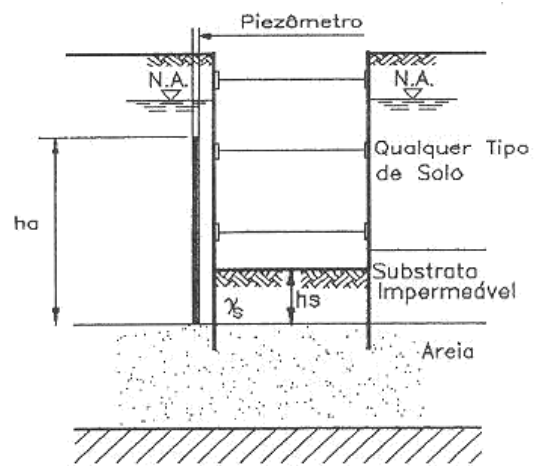


Figura 3.23 - Condição para ruptura do fundo de escavações

4. LOCAÇÃO DA OBRA

A locação da obra corresponde à operação de *transferir para o terreno, na escala NATURAL, as medidas em planta baixa de um projeto elaborado em escala reduzida*. Marcar ou locar a obra consiste em medir e assinalar no terreno a posição das fundações, paredes, colunas e outros detalhes fornecidos pelo projeto de arquitetura, marcando os principais pontos com *piquetes*. A locação é feita tomando-se como base as plantas de **situação** e **localização**, de **locação de pilares e fundações** e **planta baixa do pavimento térreo** (ou do subsolo, quando houver).

O terreno onde será feita a obra deve ser identificado, localizado e delimitado com precisão, e seus limites devem ser conferidos com a escritura pública de compra e venda. Para a locação de uma pequena residência basta apenas uma trena, um nível, um prumo e fios de náilon. Para locação de um prédio ou outra obra de grande porte pode ser necessário um teodolito ou outros instrumentos de topografia.

Para obras com fundações contínuas, são marcados os alinhamentos dessas fundações juntamente com o alinhamento das paredes. Para obras com fundações não contínuas (estacas, sapatas isoladas, tubulões), é marcada inicialmente a posição dos pilares. No caso de apenas um elemento de fundação por pilar, marca-se diretamente a posição da fundação.

4.1 LOCAÇÃO DE EDIFICAÇÕES COM FUNDAÇÕES NÃO CONTÍNUAS

Inicialmente, com o auxílio dos projetos, é recomendável marcar-se no terreno a posição dos vértices do prédio a ser construído. Isso pode ser feito com equipamentos topográficos para maior precisão. Após marcados os cantos do prédio, parte-se então para a construção do **gabarito** (ou “tabela” - figura 4.1), que é uma espécie de cercado formado por tábuas, que circunscreve a futura construção, podendo distar dela em torno de 1 metro. O gabarito pode ser feito com tábuas de pinho, pregadas a cutelo em pontaletes cravados no solo e distanciados cerca de 1,80 metros entre si. As tábuas devem ser colocadas inteiramente niveladas, pois sobre elas serão marcadas as distâncias indicadas nas plantas. Para terrenos com inclinação elevada, o gabarito deve ser feito em degraus, acompanhando o perfil do terreno, mas sempre em planos horizontais nivelados.

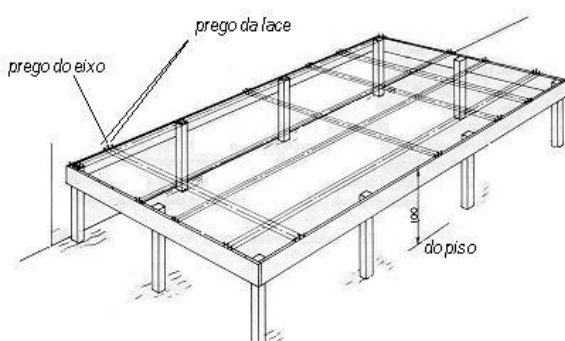


Figura 4.1 - Gabarito para locação da obra

Para a locação de pilares ou fundações isoladas, deve-se escolher um sistema de eixos com origem definida: todas as distâncias serão marcadas sobre os eixos, acumuladas desde a origem. Por exemplo, esse sistema de eixos poderia corresponder a duas linhas de pilares ortogonais do prédio. É recomendada a marcação da origem desse sistema de eixos com a cravação de uma pequena estaca de madeira no solo com um prego na posição exata da origem. Em caso de deslocamento do gabarito, o sistema de eixos permitirá o reposicionamento do mesmo.

Marcadas as distâncias indicadas na planta, fixa-se pregos nos dois lados opostos do gabarito. Assim, a locação de um pilar ou um elemento de fundação requer a fixação de quatro pregos sobre as tábuas, como mostra a figura 4.2. Se existirem elementos no mesmo alinhamento, o mesmo par de pregos servirá para todos eles. Após a fixação dos pregos, esticam-se as linhas de náilon, tomando-se o

cuidado de escrever o número do elemento (pilar ou fundação) no gabarito. Para marcar o local correspondente ao eixo do elemento locado, basta esticar um prumo de centro que passe pela interseção das linhas: no ponto indicado pelo prumo, crava-se um piquete de madeira (figura 4.3), nivelando-o com a superfície do terreno. Caso se trate de um prédio com pilares apoiados em estacas coroadas por blocos, a marcação das estacas geralmente é feita a partir da marcação do pilar, com auxílio de trena. O piquete que marcar a posição da estaca deve ter o seu número pintado de cor chamativa para fácil identificação.

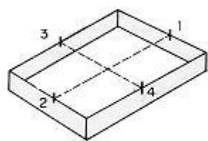


Figura 4.3 - Piquete de madeira para

Figura 4.2 - Locação de um pilar ou marcação da posição de uma estaca fundação isolada

4.2 LOCAÇÃO DE ALINHAMENTOS (PAREDES E FUNDAÇÕES CONTÍNUAS)

Para marcar as posições das paredes, deve-se fazê-lo pelo eixo e, em seguida, mede-se o tijolo que vai ser empregado na obra. A partir do eixo, marca-se as duas extremidades (faces do tijolo) que definem a espessura da parede. É importante a marcação da parede pelo seu eixo, tendo em vista a diferença nas espessuras das paredes entre a planta e o que realmente é executado. Por exemplo, é hábito nas plantas desenhar as paredes externas ("1 tijolo") com 25cm de espessura, quando sua espessura após receber o revestimento será de 27 a 28cm. Para paredes internas ("1/2 tijolo") acontece o mesmo: a planta indica espessura de 15cm, mas após concluídas apresentam cerca de 14cm de espessura. Essas diferenças isoladas são insignificantes, mas acumuladas representam modificação considerável entre projeto e execução caso não sejam distribuídas. Assim, a melhor forma de distribuição é a locação das paredes por eixo, e não por uma das faces. Além disso, é menor o risco de confusão por parte do pedreiro, que pode não saber qual das faces representa a linha se a marcação não for feita pelo eixo.

Processos de fixação dos alinhamentos no terreno

- Processo dos cavaletes: os cavaletes estão ilustrados na figura 4.4. Esse processo tem a desvantagem de haver o risco de deslocamento dos cavaletes por batidas de carrinhos ou mesmo dos operários, resultando em locação errônea da obra.

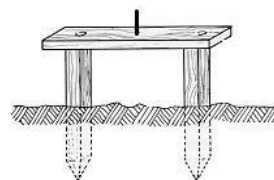


Figura 4.4 - Cavalete para locação de paredes

- Processo da tábua corrida: consiste na execução de um gabarito semelhante ao utilizado para a marcação das estacas, mas onde as tábuas distam aproximadamente 1,50m das futuras paredes. Dessa forma, as tábuas pregadas nos pontalões deverão estar niveladas, para que se possa estender a trena sobre elas. Colocam-se os pregos nas tábuas para definir os alinhamentos. Para que seja garantido o ângulo definido em projeto entre os alinhamentos, deve-se usar um teodolito. O aparelho pode ser usado apenas na demarcação de dois alinhamentos ortogonais, sendo que os outros podem ser marcados somente com a trena. A marcação do eixo da parede, espessura da parede, espessura do alicerce e largura da vala para a execução da fundação é feita com pregos cravados nas tábuas, como mostra a figura 4.5.

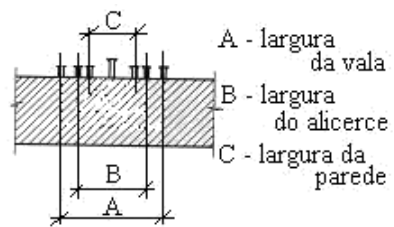


Figura 4.5 - Marcação através de pregos

5. FUNDAÇÕES

Todas as obras de engenharia (aterros, barragens, edificações, pontes, estradas, torres, etc.) constituem-se de duas partes: a *superestrutura* e a *infraestrutura* (fundações).

No sentido comum, o termo *fundação* é entendido como um elemento da estrutura encarregado de transmitir para o subsolo as cargas da superestrutura. São elementos que, em conjunto, constituirão o apoio da edificação sobre o solo. Podem ser definidos também como “elementos de transição entre a estrutura e o solo”.

A ciência ou a parte do conhecimento científico que define os tipos, posicionamento e dimensões das fundações chama-se *Engenharia de Fundações*. O conteúdo é abordado na disciplina FUNDAÇÕES (código ECV 5135) oferecida na 8ª fase, e engloba tanto a avaliação da capacidade do subsolo de suportar as cargas aplicadas quanto o projeto dos elementos estruturais utilizados. As soluções dadas pela Engenharia de Fundações, sob o ponto de vista geotécnico, baseiam-se nos conceitos de Mecânica dos Solos, e desde que não se firam estes conceitos, as formas e os processos construtivos nesse campo são inúmeros.

A presente disciplina irá abordar os métodos construtivos universalmente conhecidos e consagrados pela prática.

5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS FUNDAÇÕES

As fundações podem ser agrupadas em duas categorias, conforme o modo de transmissão da carga para o solo:

FUNDAÇÕES DIRETAS - a carga é transmitida ao solo por pressões sob a base da fundação. Do ponto de vista técnico, as fundações diretas seriam aquelas em que a largura (b) é maior que a profundidade de assentamento (d), ou seja, $b > d$. A carga obtida pelo dimensionamento da superestrutura (P) é transmitida ao solo pela base da fundação (de área A). Assim, a tensão no solo (σ) é dada pela equação $\sigma = P/A$.

FUNDAÇÕES INDIRETAS - a carga é transmitida ao solo pelas pressões sob a base da fundação e também por atrito ou adesão ao longo da sua superfície lateral. Tipicamente, tais fundações são chamadas de *estacas*. As estacas são elementos esbeltos ($l > d$) encarregados de transmitir as cargas da superestrutura para as camadas resistentes profundas do subsolo. Parte dessa carga é transmitida por ATRITO LATERAL entre a estaca e o solo, e parte pela RESISTÊNCIA DE PONTA.

As fundações também podem ser agrupadas conforme a profundidade de assentamento, em *superficiais* (ou *rasas*) e *profundas*. As primeiras são empregadas quando as camadas do subsolo imediatamente abaixo da edificação são capazes de suportar as cargas. As profundas são usadas quando se necessita recorrer a camadas resistentes mais profundas.

Os tipos de fundação universalmente empregados são:

• FUNDAÇÕES DIRETAS	• SUPERFICIAS	• BLOCOS DE FUNDAÇÃO • SAPATAS • RADIER	- isoladas - contínuas - combinadas - especiais
	• PROFUNDAS	• TUBULÕES • CAIXÕES	- a céu aberto - a ar comprimido
• FUNDAÇÕES INDIRETAS	• PRÉ-MOLDADAS	madeira aço concreto	
	• MOLDADAS NO LOCAL	Franki Strauss Escavadas Broca Injetadas	

5.2 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

A partir de agora serão descritos os métodos construtivos mais empregados para os diversos tipos de fundações citados anteriormente.

5.2.1 FUNDAÇÕES DIRETAS SUPERFICIAIS

5.2.1.1 BLOCOS DE FUNDAÇÃO: são elementos de grande rigidez executados em concreto simples, concreto ciclópico ou alvenaria de pedra (portanto, são NÃO ARMADOS), dimensionados de modo que as tensões nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto por compressão simples. A figura 5.1 ilustra esse tipo de fundação. Definidas as dimensões dos blocos em função da carga e da capacidade de suporte do solo na etapa de projeto, procede-se à abertura das cavas. O fundo da cava deverá, ao final dos trabalhos, estar nivelado. Após a escavação, deve-se proceder ao apiloamento do fundo da cava, com soquetes que pesem de 10 a 30 kg. O apiloamento não é feito com objetivo de aumentar a resistência do solo, mas sim compactar o material solto na escavação e uniformizar o fundo da cava. Concluído o trabalho de apiloamento, deve-se executar um lastro de concreto magro (consumo de cimento da ordem de 150 kg/m^3) na espessura de 5cm, com objetivo de regularizar o fundo da cava e não permitir o contato direto do material com o solo. Permitida a

secagem deste lastro, as formas poderão ser montadas conforme ilustra a figura 5.2, seguindo-se então a concretagem.

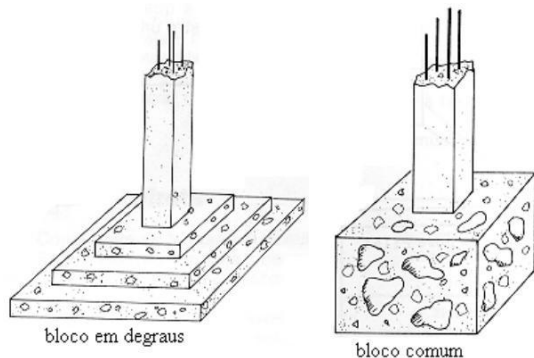


Figura 5.1 - Bloco de fundação

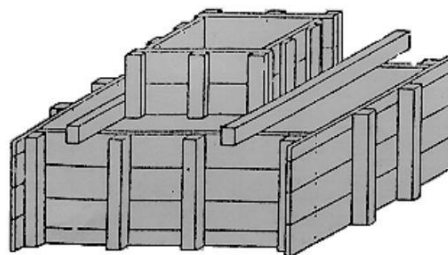


Figura 5.2 - Fôrmas para bloco de fundação

5.2.1.2 SAPATAS: as sapatas são fundações de pequena altura em relação às dimensões da base. São semiflexíveis, e trabalham à flexão. Podem ter base quadrada, retangular, circular ou octogonal (figura 5.3). Quando a sapata suporta apenas um pilar, é dita *sapata isolada* (figura 5.4). Se o pilar situar-se na divisa do lote, é dita *sapata de divisa* (figura 5.5), quando se faz necessário o uso de uma viga de equilíbrio ou viga-alavanca entre o pilar de divisa e o pilar interno adjacente. Quando a sapata suporta a carga de mais de um pilar, ela é dita *sapata associada* (figura 5.6). *Sapata corrida* ou *contínua* é aquela que suporta a carga de um muro, parede, ou de um alinhamento de pilares.

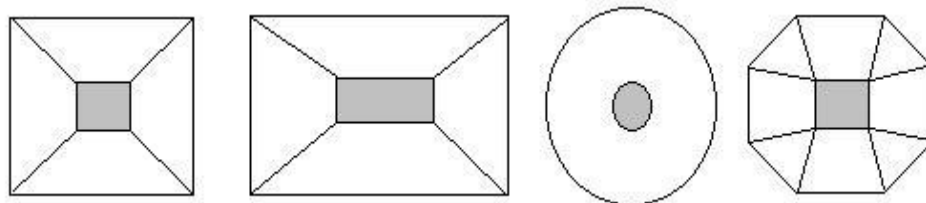


Figura 5.3 - Formatos de base de sapatas

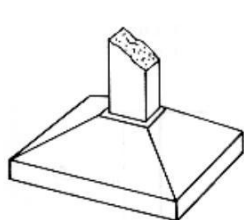


Figura 5.4 - Sapata isolada

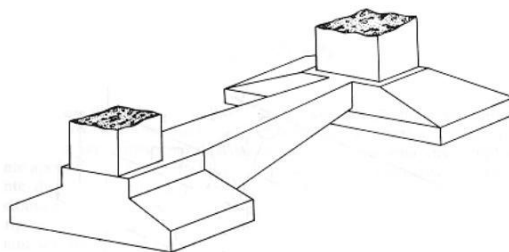


Figura 5.5 - Sapata de divisa

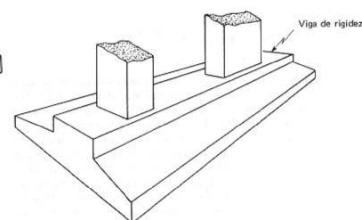


Figura 5.6 - Sapata associada

As sapatas podem ser executadas em alvenaria de tijolos, alvenaria de pedras, alvenaria de blocos ou em concreto. As sapatas em alvenaria de tijolos, também chamados *alicerces de alvenaria*, são maciços de alvenaria sob as paredes do pavimento inferior do prédio, ficando uma parte enterrada no solo. Sua face superior - *respaldo* - deve estar acima do nível do terreno, para que não haja contato da parede da edificação com o solo. É recomendável a execução de uma *cinta* (viga) de amarração no respaldo dos alicerces, para melhor distribuir os esforços.

O procedimento para execução dos alicerces em alvenaria de tijolos é idêntico ao exposto para construção de blocos de fundação. O assentamento dos tijolos deve

iniciar sobre o lastro de concreto magro, com argamassa de cimento e areia. Em terrenos muito úmidos, é desaconselhável o emprego de tijolos cerâmicos nas fundações, já que podem se decompor pela re-hidratação de seus compostos. Pode-se então empregar alicerces em alvenaria de pedras, que são encontradas no mercado local nas dimensões aproximadas de 22 x 22 x 28 cm, em granito. A preparação da vala para execução desse tipo de fundação é feita da mesma maneira que para alvenaria de tijolos, e o assentamento das pedras deve ser feito com argamassa de cimento e areia com espessura média de 3 centímetros.

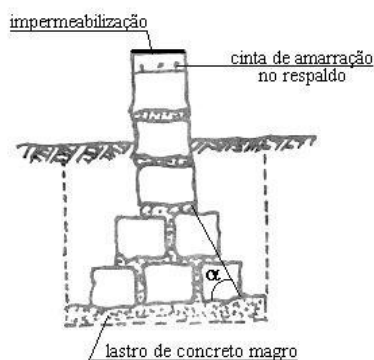


Figura 5.7 - Alargamento da base em sapatas corridas de alvenaria

Para redução do nível de tensões transmitidas ao solo, a base da sapata pode ser alargada, como ilustra a figura 5.7. O ângulo α deve ser maior que 45° , para garantir a atuação única de esforços de compressão no elemento de fundação. O assentamento das pedras deve se dar sobre colchão de areia ou concreto magro, e no respaldo da sapata deve ser executada uma cinta de amarração para reforço das ligações entre todos os elementos de fundação. A presença da cinta diminui o risco do aparecimento de fissuras nas paredes da edificação em caso de recalque diferencial, e distribui as cargas concentradas sobre o plano das fundações.

A cinta de amarração pode ser de argamassa armada, concreto armado, tijolo armado ou mista. A cinta de argamassa armada é obtida colocando-se duas a três barras de aço de diâmetro $1/4''$ a $3/8''$ no interior da argamassa de respaldo, devendo os mesmos serem cobertos por no mínimo 1 centímetro de argamassa 1:4, dispostos sem amarração entre si, com os traspasses fora dos cantos ou encontros de paredes. Para que essa cinta sirva de plano de apoio das alvenarias da edificação, a mesma deve ser nivelada perfeitamente com a horizontal, através da utilização de nível de mangueira ou nível de bolha. A execução é com guias (tábuas) pregadas em estacas escoradas ao longo das paredes externas e internas.

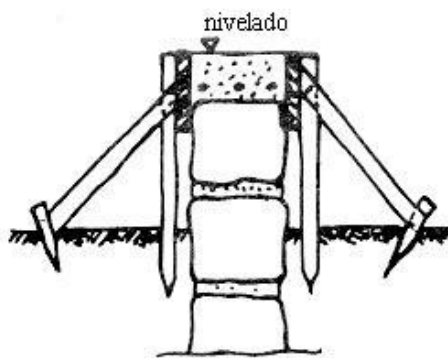


Figura 5.8 - Execução de cinta de concreto armado sobre respaldo do alicerce

A cinta de concreto armado é executada com a colocação de guias em ambos os lados da parede, pregadas em estacas cravadas no solo e nivelada como no caso anterior (figura 5.8). A boca da caixa é mantida na sua posição por meio de sarrafos pregados de metro em metro. Os ferros são dispostos também sem amarração no interior da caixa, que em seguida é preenchida com concreto. Deve-se ter o cuidado prévio de tapar as frestas entre a forma e a alvenaria com buchas de papel, para evitar fuga do concreto. A largura da cinta é a mesma da alvenaria de alicerce, e a altura pode variar de 5 a 15 centímetros, dependendo do desnível da face superior da alvenaria do alicerce.

A cinta de tijolo armado é feita com tijolos dispostos a cutelo, de pé ou deitados, com argamassa de traço 1:3 ou 1:4. Nas juntas verticais, que têm mais de 3cm de espessura, coloca-se barras de aço e preenche-se com argamassa. A vantagem desta cinta sobre a de concreto é que evita o aparecimento de trincas de separação que sempre aparecem no contato entre a alvenaria do alicerce e o concreto devidas à retração por secagem do concreto ou por movimentação térmica diferencial entre os dois materiais. Além disso, esse método dispensa o uso de formas. A cinta mista é feita pelo assentamento de duas fiadas de tijolos a cutelo, colocando-se as barras de aço e fazendo-se o preenchimento com concreto.

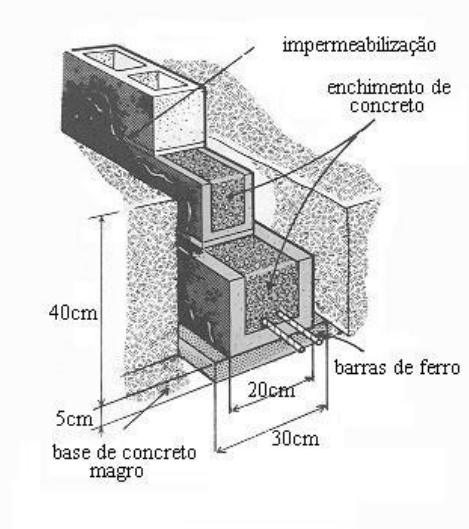


Figura 5.9 - Alicerces em blocos de concreto pré-moldados

Ao invés da cinta no respaldo do alicerce, pode-se executar uma viga de concreto armado, com estribos e armadura dupla, que é capaz de absorver melhor os esforços devidos a eventuais recalques diferenciais. Além disso, serve como um plano horizontal de referência, por ter sido nivelada cuidadosamente. Fundações corridas superficiais também podem ser executadas em alvenaria de blocos pré-moldados de concreto, preenchidos com barras de aço e concreto fresco, como mostra a figura 5.9. O assentamento dos blocos, da mesma forma que para os outros tipos de alicerce, deve se dar sobre lastro de concreto magro.

5.2.1.3 RADIER: é um tipo de fundação direta ou superficial formada por uma única placa de concreto armado na qual se apóiam todos os pilares e paredes da estrutura. As cargas são distribuídas diretamente sobre o solo, normalmente nas primeiras camadas, de forma que as tensões originadas sejam inferiores (ou no máximo iguais) à resistência do solo (figura 5.10). Nos solos menos resistentes a sua utilização é mais freqüente, pois devido à sua característica monolítica pode minimizar os efeitos de recalques diferenciais. A execução do radier é fácil. Por ser uma placa única, não exige a montagem de formas e armações mais complicadas. As fôrmas são executadas apenas com sarrafos laterais, e as armações são constituídas de simples malhas, onde as barras de aço são igualmente espaçadas nas duas direções. O radier pode ser também uma boa solução em obras em que a execução de uma fundação em estacas ou a execução de fundações profundas podem por em risco a integridade de edifícios vizinhos.

O radier é uma solução de fundação mais cara que as sapatas isoladas e corridas, pois o consumo de concreto é maior. Entretanto, na medida em que há aumento do número de pavimentos do edifício, o custo do radier diminui. Apesar de ter o custo inicial mais elevado, o radier é muito empregado para pequenos edifícios, casas térreas e habitações populares.

Como mostra a figura 5.10, as cargas que atuam sobre o radier são transferidas ao solo gerando tensões no mesmo. O solo reage aplicando sobre o radier um carregamento de igual intensidade. Nessas condições, o radier passa a receber o carregamento devido à reação do solo, comportando-se como uma laje de piso invertida, "apoiando-se" nos pilares que estão sobre ele. Assim, as armações no meio

da laje são colocadas na face superior, enquanto que no apoio dos pilares são colocadas na face inferior da placa (figura 5.11).

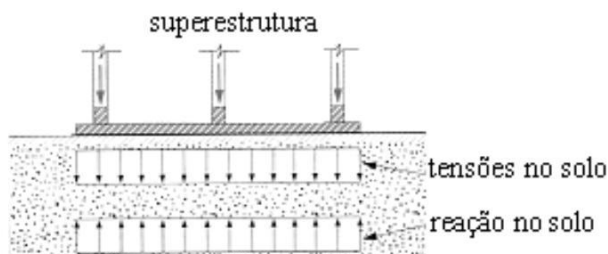


Figura 5.10 - Radier - distribuição das tensões no solo



Figura 5.11 - Disposição da armadura no radier

Como o radier se comporta como uma laje de piso invertida, todas as possibilidades de estruturação de pisos valem para o radier, como mostra a figura 5.12. Para que seja uma solução coerente com as dimensões do pequeno edifício, é necessário que suas lajes tenham vãos de no máximo 4 metros.

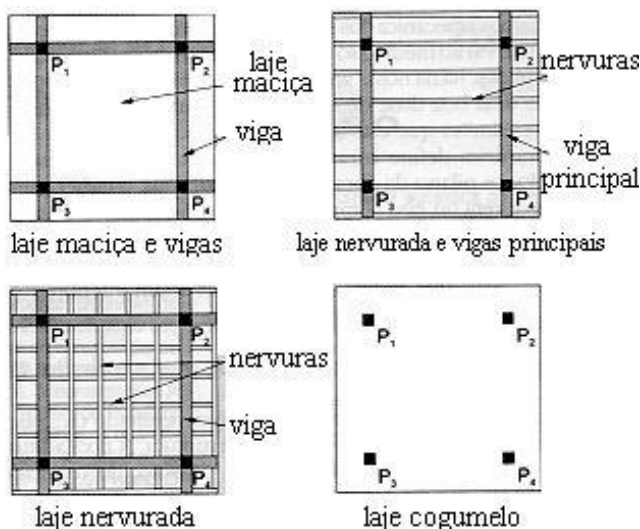


Figura 5.12 - Possibilidades de estruturação para radiers

Para a execução do radier, o terreno deve ser nivelado e sobre ele espalha-se uma camada de brita nº 2 bem compactada. Sobre a brita, coloca-se a armadura, constituída de malha de aço montada no local ou na forma de tela soldada. A espessura do recobrimento do ferro deverá ser garantida por espaçadores industrializados ou feitos de argamassa na própria obra. Quanto ao posicionamento das telas, tem-se duas opções: i) telas duplas colocadas em ambas as faces (superior e inferior) da placa, absorvendo os momentos fletores negativos e positivos (figura 5.13); ii) tela colocada no meio da espessura da placa, absorvendo momentos positivos e negativos (figura 5.14).

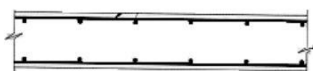


Figura 5.13 - Armadura negativa e positiva em radier

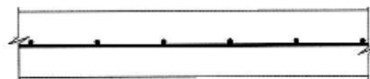
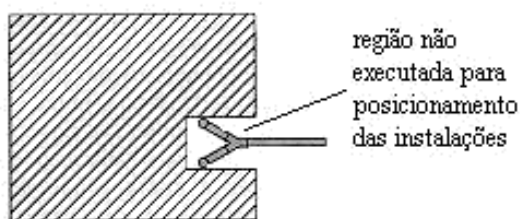


Figura 5.14 - Armadura no centro da seção



Na região das instalações de esgoto, o radier não deve ser executado, para que seja facilitado o acesso à tubulação em caso de manutenção (figura 5.15).

Figura 5.15 - Entrada da tubulação em radier

Na execução do radier deve-se ter cuidado no sentido de manter o correto posicionamento da armadura em relação a seus espaçamentos e recobrimentos. Deve-se ter cuidado também para manter a regularidade na espessura do radier, através do uso de gabaritos e do adequado nivelamento do terreno. Recomenda-se a aplicação sobre o solo de uma fina camada (em torno de 5 centímetros) de concreto magro desempenada e nivelada.

Outro cuidado importante diz respeito ao solo de apoio, que deve ser adequadamente compactado. Devem também ser afastados quaisquer riscos de infiltração de água que possa carrear o solo sob o radier. A execução desse tipo de fundação junto a taludes requer cuidados, já que qualquer movimentação do solo pode causar desestabilização ou recalques na edificação.

5.2.2 FUNDAÇÕES DIRETAS PROFUNDAS - TUBULÕES

Os tubulões são fundações de forma cilíndrica, com base alargada ou não, destinados a transmitir as cargas da estrutura a uma camada de solo ou substrato rochoso de alta resistência e grande profundidade.

Os tubulões são compostos por três partes: cabeça, fuste e base, como mostra a figura 5.16. Comumente, a cabeça é executada em concreto armado, com a armadura sendo disposta em forma de círculos concêntricos. O fuste deverá ser de concreto armado quando o tubulão for submetido à flexo-compressão, e de concreto ciclópico quando for submetido apenas à compressão. A base alargada pode ter formato circular ou de uma falsa elipse, principalmente em tubulões de divisa, como mostra a figura 5.17. Por razões econômicas, sugere-se que o valor de m situe-se no intervalo $r < m < 2r$.

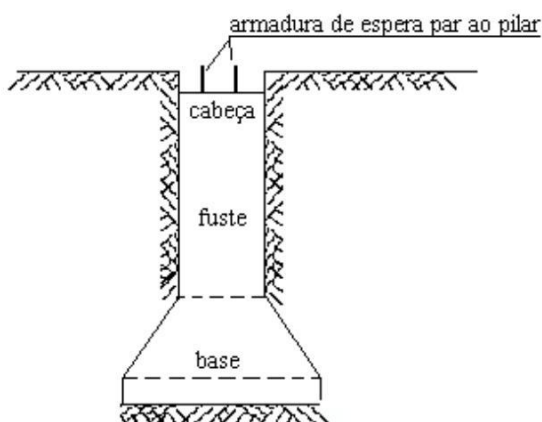


Figura 5.16 - Corte esquemático de um tubulão

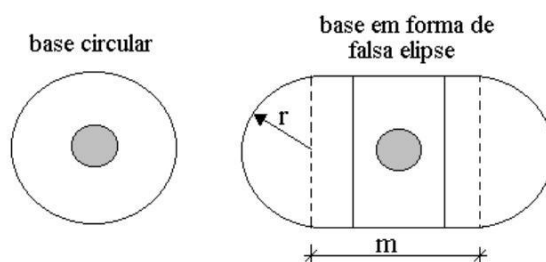


Figura 5.17 - Formato de bases de tubulões

5.2.2.1 TUBULÃO A CÉU ABERTO: É o tipo mais elementar de tubulão, que resulta de um poço perfurado manual ou mecanicamente (figura 5.18) a céu aberto. A escavação pode ser feita sem revestimento das paredes se o solo for coesivo (argiloso). O nível do lençol freático

é o fator limitante dessa técnica: se o solo tiver baixa permeabilidade, pode-se avançar um pouco além do nível da água, sendo que essa deve ser bombeada para fora da escavação. Na escavação do fuste podem ser empregados processos manuais ou mecânicos, e o alargamento da base é feito manualmente.

O diâmetro depende da carga e da maneira de execução. Sendo aberto manualmente, o diâmetro mínimo é de 70 a 80 centímetros, para que o operário possa trabalhar no interior da escavação com liberdade de movimentação.

Por razões de economia, a armadura pode ser renunciada, desde que o ângulo na base seja de 30° . O encontro da face inclinada com o plano da base não deve ser um canto vivo. Por isso, faz-se um rodapé com altura de 20 a 30 centímetros, para perfeito preenchimento de concreto.

A seqüência de execução de tubulões a céu aberto escavados sem o auxílio de escoramentos é mostrada na figura 5.19.

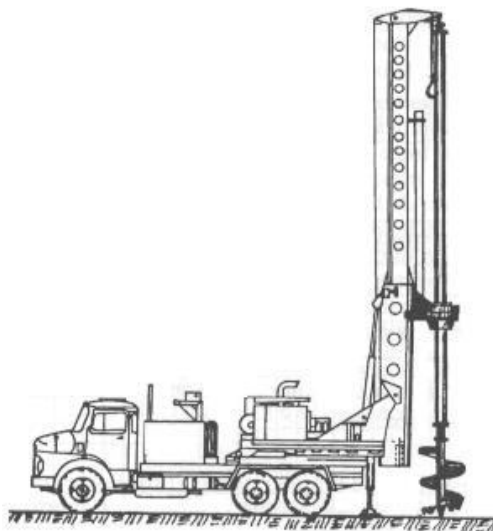
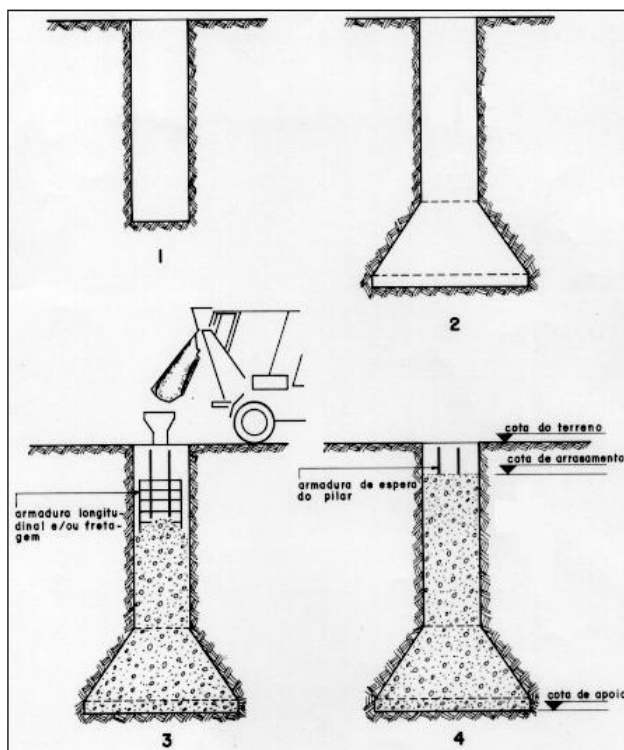


Figura 5.18 - Exemplo de equipamento para escavação de tubulões



1. Escavação manual ou mecânica do fuste
2. Alargamento da base e limpeza
3. Colocação da armadura e concretagem
4. Tubulão pronto

Figura 5.19 - Seqüência executiva de tubulão a céu aberto sem revestimento do fuste

No tubulão tipo Chicago ("escava/escora") o poço é aberto em etapas. Após escavar-se até uma certa profundidade, coloca-se pranchas de escoramento que são mantidas na posição por meio de travamento com anéis metálicos, como mostra a figura 5.20. Escorado o primeiro trecho, escava-se novo trecho e escora-se como anteriormente. Repete-se essa seqüência de operação até atingir a cota superior de alargamento da base. Concluída a etapa de alargamento, que é feita com o revestimento escorado, passa-se à concretagem do tubulão com a retirada do revestimento, que é quase sempre reaproveitado.

No tubulão tipo Gow ("escora/escava") o escoramento é feito por meio de tubos metálicos da seguinte forma: crava-se um tubo de 2 metros de diâmetro, e escava-se no seu interior. Terminada essa primeira escavação, outro tubo de menor diâmetro é cravado por dentro do primeiro, e executa-se nova escavação. O processo segue assim sucessivamente. A escavação é feita manualmente, com pá ou picareta. Atingida a cota de apoio da base, é feito o seu alargamento. Simultaneamente à concretagem, são recuperados os cilindros. Esse sistema é utilizado em terrenos não coesivos. O diâmetro da perfuração depende da carga e da resistência do concreto. Para cada 2 a 2,5 metros de profundidade, o diâmetro diminui cerca de 5 centímetros (figura 5.21).

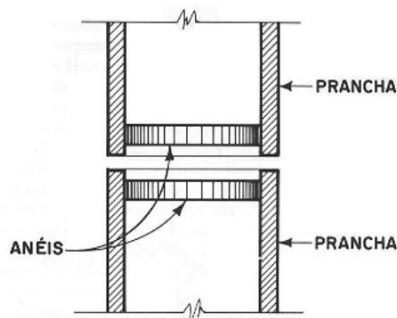


Figura 5.20 - Esquema de escoramento do tubulão tipo *Chicago*

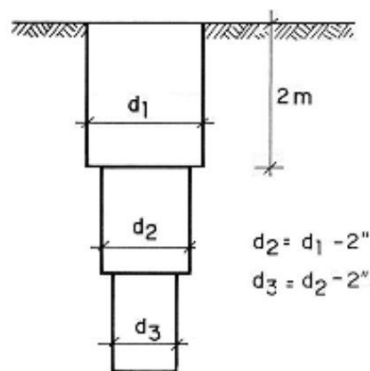


Figura 5.21 - Revestimento do tubulão tipo "Gow"

5.2.2.2 TUBULÃO A AR COMPRIMIDO: Na execução de tubulões em locais alagadiços ou com nível do lençol freático elevado, o esgotamento da escavação por meio de bombas é difícil, e torna-se impossível o alargamento da base abaixo do nível da água devido ao risco de desmoronamento do solo.

A utilização do tubulão pneumático (ou tubulão a ar comprimido) com camisa de concreto ou de aço é a solução, pois mantém a água afastada do poço por meio de ar comprimido. A aplicação do ar comprimido em obras de engenharia iniciou em 1841, quando o engenheiro francês Triger o utilizou em trabalhos nas minas Chalonnnes, no Vale do Loire. O princípio de execução de fundações pneumáticas é manter, pelo ar comprimido injetado, a água afastada do interior do tubulão. Pode ser feito de duas maneiras diferentes: com encamisamento (revestimento) de concreto ou com encamisamento de aço.

A pressão do ar no interior do tubulão deve ser tal que contrabalance o peso da coluna de água, mas deve também ser compatível com as condições de trabalho suportáveis pelo organismo humano. Assim, a profundidade de um tubulão é limitada a 34 metros abaixo do nível da água, o que corresponde a uma pressão de aproximadamente 3,4 atm dentro do tubulão.

5.2.2.2.1 Encamisamento de concreto: é o método clássico de execução de tubulões a ar comprimido. Os trabalhos seguem a seguinte seqüência:

- i) é concretado um tubo com formato mostrado na figura 5.22, com altura aproximada de 4 metros e com parede de espessura não inferior a 20 centímetros, onde o diâmetro do tubulão varia de acordo com a sua capacidade de carga. O tubo é concretado no local onde deverá ficar a fundação ou em outro local, sendo posteriormente transportado para a posição definitiva..
- ii) inicia-se a escavação manual do terreno no interior do tubo. Ao ser atingida certa profundidade, é escavado o solo sob a "faca", o que permite que o tubo desça lentamente sob a ação do seu próprio peso. Assim procede-se até que o topo do primeiro tubo tenha atingido o nível do terreno.
- iii) concreta-se outro tubo sobre o primeiro já enterrado. Depois da retirada das formas, reiniciam-se as escavações, com movimento de descida do encamisamento à medida que a escavação evolui (figura 5.23).

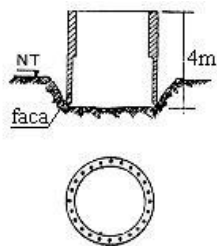


Figura 5.22 - Início da execução de um tubulão a ar comprimido com revestimento de concreto

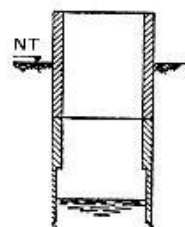


Figura 5.23 - Continuidade do processo executivo com a concretagem de novos segmentos de revestimento

- iv) as operações descritas repetem-se até que se atinja o nível de água, a partir do qual ainda se prossegue escavando um certo trecho, removendo-se a água por bombeamento. Quando isso não for mais possível, instala-se o equipamento que introduz o ar comprimido no topo do tubo de concreto (figura 5.24). Tal equipamento permite a entrada e saída dos operários no tubulão, a retirada do material escavado e a concretagem, sem perda de pressão

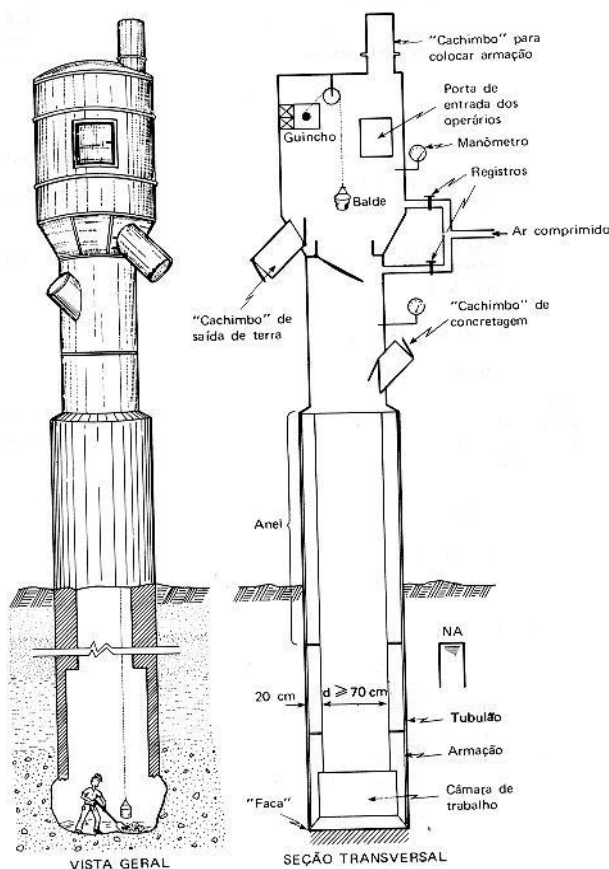


Figura 5.24 - Equipamento de ar comprimido para execução de tubulão

5.2.2.2.2 Encamisamento de aço: Esse método foi desenvolvido para reduzir o custo do método clássico. Neste processo são cravados rotativamente tubos de aço no solo, emendados por solda. A escavação no interior dos tubos pode ser feita mecanicamente com um aparato chamado *benoto* (figura 5.25). Quando for atingida a profundidade prevista para a base, coloca-se a campânula de ar comprimido e os operários descem para o alargamento da base.

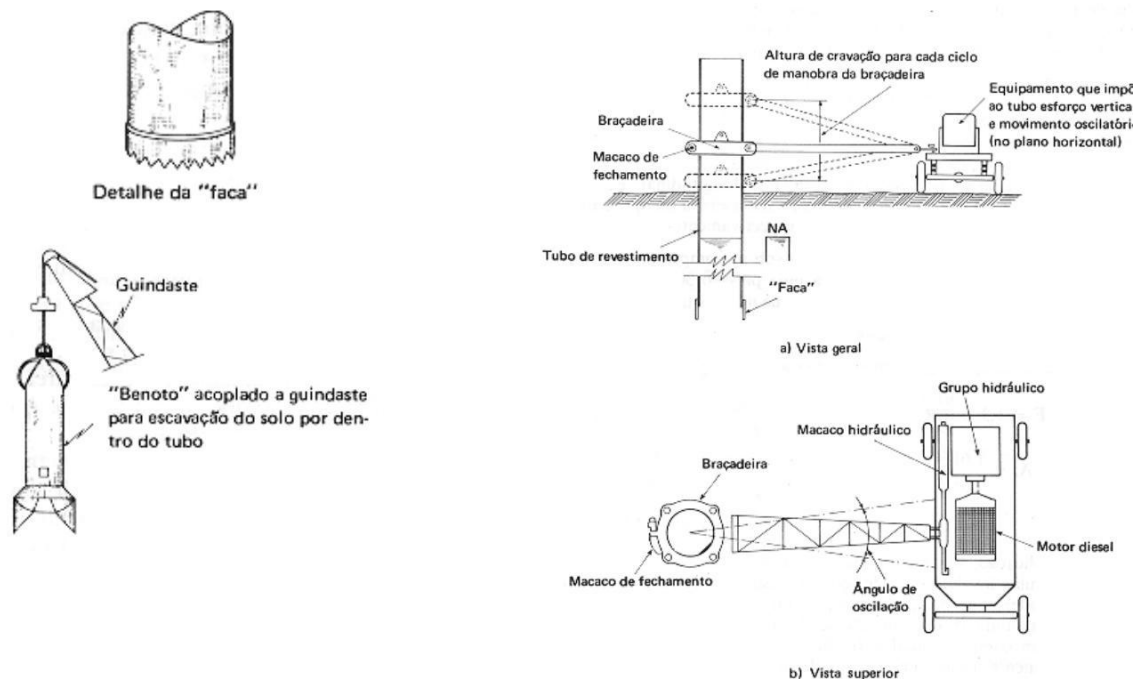


Figura 5.25 - Equipamentos e dispositivos para a execução de tubulão a ar comprimido ("benoto")

5.2.2.2.3 Precauções para o trabalho sob ar comprimido: Conforme já comentado, os operários podem estar sujeitos a pressões de até 3,4 atm (em condições normais a pressão do ar é de 1 atm) no interior do tubulão. Devido a isso, os operários que trabalham em fundações pneumáticas podem sofrer de uma moléstia chamada de "mal do ar comprimido", cujos sintomas são dores de ouvido, dores nevralgias, transpirações frias e, às vezes, vômitos e síncope. A maioria dos trabalhadores resiste bem a essas manifestações. No entanto, em certos casos, elas poderão causar paralisias, enfermidades mentais e até a morte. Os acidentes ocorrem principalmente na fase de descompressão, seja ainda dentro da campânula ou mesmo algum tempo depois de ter saído dela. Por isso, a descompressão deve ser lenta e progressiva. A portaria nº 3214 de 08/06/78 do Ministério do Trabalho regulamenta as condições de trabalho sob ar comprimido. A norma brasileira NBR 6122 observa que devem ser obedecidos, rigorosamente, os tempos de compressão e descompressão prescritos pela legislação, e que trabalhar sob pressões superiores a 15 N/cm^2 só será permitido se forem obedecidos os seguintes requisitos: i) permanência de equipe médica à disposição; ii) câmara de recompressão equipada, disponível na obra; iii) compressores e reservatórios de ar comprimido de reserva; iv) renovação de ar garantida, tal que forneça condições satisfatórias para o trabalho humano.

5.2.3 FUNDAÇÕES DIRETAS PROFUNDAS - CAIXÕES

Os caixões são fundações de seção retangular com volume muito superior aos tubulões. Por exemplo, a substituição de dois ou mais tubulões de um pilar de ponte por um caixão que os envolva pode ser mais econômica. Os caixões podem ser

metálicos ou de concreto armado, e dependendo das suas dimensões, poderão ser previstas várias câmaras de compressão.

Um outro tipo de fundação especialmente usado em obras hidráulicas é o *caixão flutuante*, que, concretado a seco fora da água, é levado por reboque (flutuando) até o local de implantação, onde então é afundado. O preparo da superfície de assentamento é, em geral, realizado por mergulhadores.

Além dos caixões perdidos, isto é, que permanecem como parte da construção, são empregados também *caixões removíveis*, que são retirados após executada a fundação.

5.2.4 FUNDAÇÕES INDIRETAS PROFUNDAS - ESTACAS

As estacas são peças alongadas, cilíndricas ou prismáticas, que são cravadas ou confeccionadas no solo com os fins de: transmitir as cargas da estrutura a uma camada profunda e resistente; conter empuxos de terra ou de água (estacas-prancha); ou compactar terrenos, através da vibração gerada na cravação das estacas (geralmente de madeira).

As estacas podem ser de madeira, de concreto e metálicas. As estacas de concreto podem ser pré-moldadas (caso em que são cravadas no terreno já confeccionadas) ou moldadas no local. Neste último grupo enquadram-se as estacas Strauss, Franki e escavadas, com ou sem o emprego de lama bentonítica.

As estacas podem ser classificadas também pelo modo como transferem a carga ao solo. Assim, existem 6 tipos:

- Estacas de ponta: são aquelas em que a parcela de atrito lateral é desprezível, e a carga aplicada pela estrutura é quase que integralmente suportada pela ponta da estaca.
- Estacas de atrito: são aquelas em que a resistência de ponta é desprezível, sendo a carga suportada quase que integralmente pelo atrito lateral.
- Estacas de ação mista: as parcelas de ponta e de atrito lateral contribuem com magnitude semelhante para absorver as cargas da superestrutura.
- Estacas flutuantes: são estacas de atrito implantadas em solo de baixa capacidade de suporte.
- Estacas de tração: são aquelas sujeitas, ao longo da sua vida útil, à ação de cargas de arrancamento. Em geral, trabalham apenas com a parcela de atrito lateral. Podem ter a base alargada, aumentando bastante a resistência à tração.
- Estacas de flexão: são estacas submetidas a cargas horizontais (laterais). Em casos extremos, podem ter uma parte do seu comprimento não enterrada.

Quando a carga do pilar for baixa, uma única estaca pode ser suficiente para suportá-la com segurança. Entretanto, quando a carga for elevada ou quando o solo for de baixa capacidade de suporte, pode ser necessária a utilização de um grupo de estacas para promover a transferência dos esforços aplicados pela superestrutura. Neste caso, as estacas são cravadas próximas umas às outras, e a solidarização no topo será feita por um elemento de transição denominado BLOCO DE COROAMENTO, situado entre a fundação e a superestrutura.

5.2.4.1 ESTACAS DE MADEIRA

As estacas de madeira são empregadas desde os mais remotos tempos como elemento de fundação: seu uso remonta ao período Neolítico. Nesta época, as palafitas constituíam um tipo freqüente de agrupamento de moradias implantadas sobre tablados apoiados em estacas de madeira .

As estacas de madeira nada mais são que troncos de árvores retos, que são cravados no solo. O diâmetro médio dessas estacas varia de 22 a 30 centímetros, e

seu comprimento em geral não passa dos 12 metros. Para comprimentos maiores, é recomendado que se faça emenda de duas estacas, como mostra a figura 5.26.

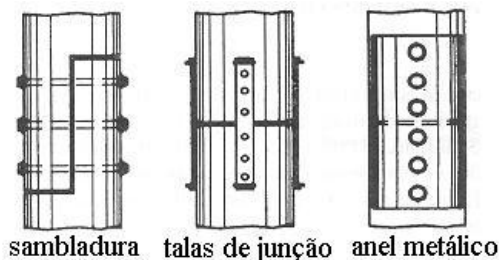


Figura 5.26 - Tipos de emendas de estacas de madeira

As madeiras antigamente utilizadas no Brasil eram a aroeira, maçaranduba, peroba rosa, braúna, etc. Hoje, devido à carência de madeira de lei, utiliza-se com freqüência o eucalipto.

Embora ofereça a vantagem de possuir elevada resistência às operações de manuseio - transporte e içamento - recomenda-se o uso desse tipo de fundação apenas para obras provisórias ou quando se assegure que permanecerão sempre submersas. Esse requisito se deve ao fato de a madeira ser atacada e consumida pela ação de fungos em presença de ar, umidade e temperatura favoráveis. Se submersa em água, não há presença de ar e, portanto, não ocorre o apodrecimento.

O apodrecimento é mais acentuado na região de transição que sofre ciclos de umedecimento e secagem conforme a altura do nível de água. Quando utilizada em obras marinhas, a ação de microorganismos é muito intensa, e em poucos anos, ou até alguns meses, a estaca apodrece. Nem mesmo os tratamentos preventivos resolvem o problema de forma eficiente. Os tratamentos utilizados são basicamente a pintura, que pode ser parcialmente removida durante o transporte e cravação, e a impregnação. Neste processo, a estaca é submetida a elevadas pressões e temperaturas de tal forma que os poros da madeira sejam preenchidos com compostos químicos (sais tóxicos de zinco, cobre e mercúrio). O creosoto (substância proveniente da destilação do carvão ou do asfalto) tem se mostrado eficiente.

Durante a cravação, a cabeça da estaca deve ser munida de um anel cilíndrico de aço para impedir o rompimento da madeira pela ação dos golpes do pilão. É recomendável também o emprego de uma ponteira metálica para facilitar a penetração e proteger a madeira (figura 5.27). No final da cravação, mede-se a penetração da estaca para os últimos 10 golpes. Essa penetração é chamada de *nega*, e depende da altura de queda e do peso do martelo, do tipo de bate-estacas e da velocidade das batidas. A energia de cravação deve ser controlada para evitar o esmagamento da estaca.



Figura 5.27 - Reforços metálicos na ponta e topo de estacas de

madeira 5.2.4.2 ESTACAS METÁLICAS

As estacas metálicas são constituídas de perfis laminados ou soldados, e trilhos simples ou múltiplos. No Brasil são utilizados com mais freqüência os perfis **H**, **2I** soldados, trilhos simples ou soldados em estrela. Os perfis mais utilizados são os **I**

de 10 ou 12". Também são utilizadas estacas tubulares ocas compostas de tubos de chapa dobrada com seções circulares, quadradas ou retangulares.

As estacas metálicas aliam em geral a facilidade de execução com uma grande capacidade de carga. A tensão admissível para o aço gira em torno de 800 a 1000 kgf/cm². Apesar de as seções transversais serem reduzidas, essas estacas possuem cargas nominais elevadas. A energia de cravação pode ser elevada, o que permite o uso dessas estacas em perfis geotécnicos onde existam camadas resistentes situadas acima da cota de apoio. Na cravação deve-se obter neta nula. O atrito lateral entre o solo e o aço é bastante reduzido, e por isso a resistência da estaca é quase sempre a parte mais significativa.

Os perfis **I**, **H** e os trilhos deslocam pouco solo durante a cravação, e por isso podem ser empregados em locais próximos a construções sensíveis a vibrações.

As estacas metálicas possuem elevada resistência ao manuseio e cravação, e apresentam grande facilidade de corte e emenda, seja por meio de solda ou parafusos. São obtidas em qualquer comprimento, sem que haja perda. Podem ser empregadas como elemento suporte em escavações, pois são resistentes a cargas laterais.

Dentre as principais desvantagens, está a corrosão: as estacas de aço sofrem violentamente o ataque de águas agressivas. Por isso, a NBR 6122 recomenda o encamisamento das estacas com concreto ou a pintura das mesmas sempre que forem implantadas em aterros ou quando parte do fuste ficar desenterrada.

5.2.4.3 ESTACAS DE CONCRETO

As estacas de concreto podem ser pré-moldadas ou moldadas no local. As pré-moldadas são executadas no canteiro de obras, onde se tem condições de total controle de materiais, concretagem, cura, etc., e depois são transportadas ao local de implantação e são cravadas no solo com auxílio de bate-estacas, da mesma forma que as estacas de madeira e metálicas. As estacas moldadas no local são confeccionadas através do lançamento de concreto em orifícios no solo previamente escavados.

5.2.4.3.1 Estacas pré-moldadas: as estacas pré-moldadas de concreto são utilizadas com maior frequência em obras de pequeno e médio porte. A principal vantagem das estacas pré-moldadas em relação às estacas moldadas no local é a possibilidade de inspeção do concreto, permitindo a rejeição de peças que não apresentem condições satisfatórias. Além disso, em terrenos que apresentem camadas moles ou em locais onde se deva atravessar uma corrente de água subterrânea, as estacas pré-moldadas podem ser utilizadas sem prejuízo ao concreto do seu fuste. Quando atravessam solos de elevada resistência à cravação, pode ser necessário utilizar-se uma ponteira metálica ou ainda efetuar-se a cravação com circulação de água sob pressão, o que ajuda a desagregar o solo na ponta ou nas laterais da estaca, facilitando a cravação. Para que resista às operações de transporte e cravação, as estacas são armadas. Assim, além do seu trabalho como pilar, as estacas deverão ser calculadas para essas operações.

As seções mais usadas são: quadrada, hexagonal, octogonal, e circular cilíndrica ou cônica. Para pequenos comprimentos, utilizam-se seções quadradas, e para grandes comprimentos as demais. Quando for necessário o emprego de grandes diâmetros, é preferível a utilização de tubos de concreto pré-moldados (ocos) que são preenchidos com concreto após a cravação, para obter-se elementos mais leves para manuseio. O içamento da estaca para transporte e colocação no bate-estacas deve ser feito a L/3, onde L é o comprimento da estaca. Quando a estaca for de grande comprimento, deve ser erguida por dois pontos, escolhidos de modo que os momentos negativos sejam iguais aos positivos, geralmente a L/5 de cada extremidade.

A NBR 6122 recomenda que as estacas pré-moldadas sejam concretadas em formas verticais ou horizontais, ou por processos de centrifugação.

O grande inconveniente apresentados pelas estacas pré-moldadas de concreto, além da necessidade de armadura, é a dificuldade de construir no comprimento necessário, tornando indispensável a emenda e o corte da estaca (arrasamento). Esta última operação demanda considerável tempo, por ser feita manualmente com a utilização de ponteiros. Atualmente, para grandes comprimentos e cargas elevadas, estão sendo utilizadas estacas de concreto protendido.

Outro tipo de estaca pré-moldada, empregada basicamente para reforço de fundações já existentes e onde não se permita vibrações, é a estaca Mega ou estaca de reação. São constituídas por elementos pré-moldados de concreto justapostos, cada um com comprimento que pode variar entre 80 centímetros e 5 metros. Tais elementos vão sendo cravados, um após o outro, por meio de um macaco hidráulico que encontra reação na própria estrutura a reforçar, como mostra a figura 5.28, ou em estrutura construída especialmente para isso. A cravação prossegue até que seja atingido o comprimento desejado para a estaca.

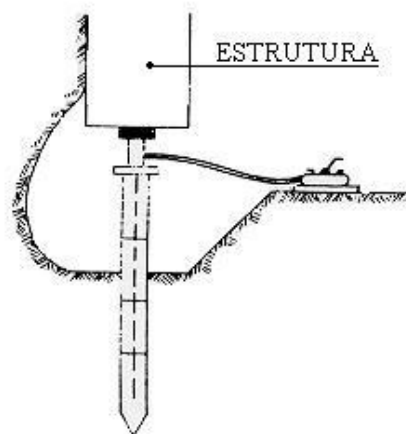


Figura 5.28 - Estaca mega (estaca de reação)

5.2.4.3.2 Estacas moldadas no local: são estacas cujo processo executivo consiste basicamente na perfuração ou escavação do solo, com ou sem a presença de revestimento ou lama bentonítica para contenção, e posterior concretagem através do lançamento do concreto dentro do furo escavado. Os tipos de estacas de concreto moldadas no local mais executadas são:

- **ESTACAS FRANKI:** a técnica de execução dessa fundação foi introduzida em 1909, sendo ainda largamente utilizada nos dias de hoje. Para início da perfuração, é colocado no local um tubo de revestimento, e dentro dele uma quantidade de areia e pedras até preencher uma altura de 1 metro dentro do tubo. Essa mistura (*bucha*) passa então a ser apiloada pela queda de um soquete, cujo peso varia de 1 a 4 toneladas, dependendo do diâmetro da estaca. Sob a ação dos golpes desse soquete, a bucha penetra no solo juntamente com o revestimento, devido ao atrito entre ambos. Quando for alcançada a profundidade de apoio da estaca, o tubo é preso à torre por meio de cabos de aço e somente a bucha passa a ser apiloada, sendo aos poucos expulsa para fora do tubo formando o alargamento da base (chamado "cebolão"). Concluído o alargamento, a armadura da estaca, previamente determinada pelo calculista, é colocada na perfuração, sendo sua extremidade inferior ancorada na base alargada. Instala-se um cabo de controle da armadura numa de suas barras para garantir o posicionamento no momento da concretagem. Inicia-se então a concretagem do fuste, com o apiloamento do concreto com soquete que deve passar por dentro da armadura. Simultaneamente, vai sendo retirado o revestimento. Durante a concretagem do fuste, controla-se a altura de concreto dentro do fuste pela marca do cabo do pilão. A integridade da armadura e do fuste é controlada pelo cabo de controle da armação. A concretagem do fuste é terminada cerca de 30cm acima da cota de arrasamento, devendo esse suplemento ser removido após o endurecimento do concreto. A estaca pronta apresenta uma base alargada, um diâmetro nominal inferior ao diâmetro real, e a superfície lateral rugosa, além de uma grande capacidade de carga (de 55 a 170 toneladas,

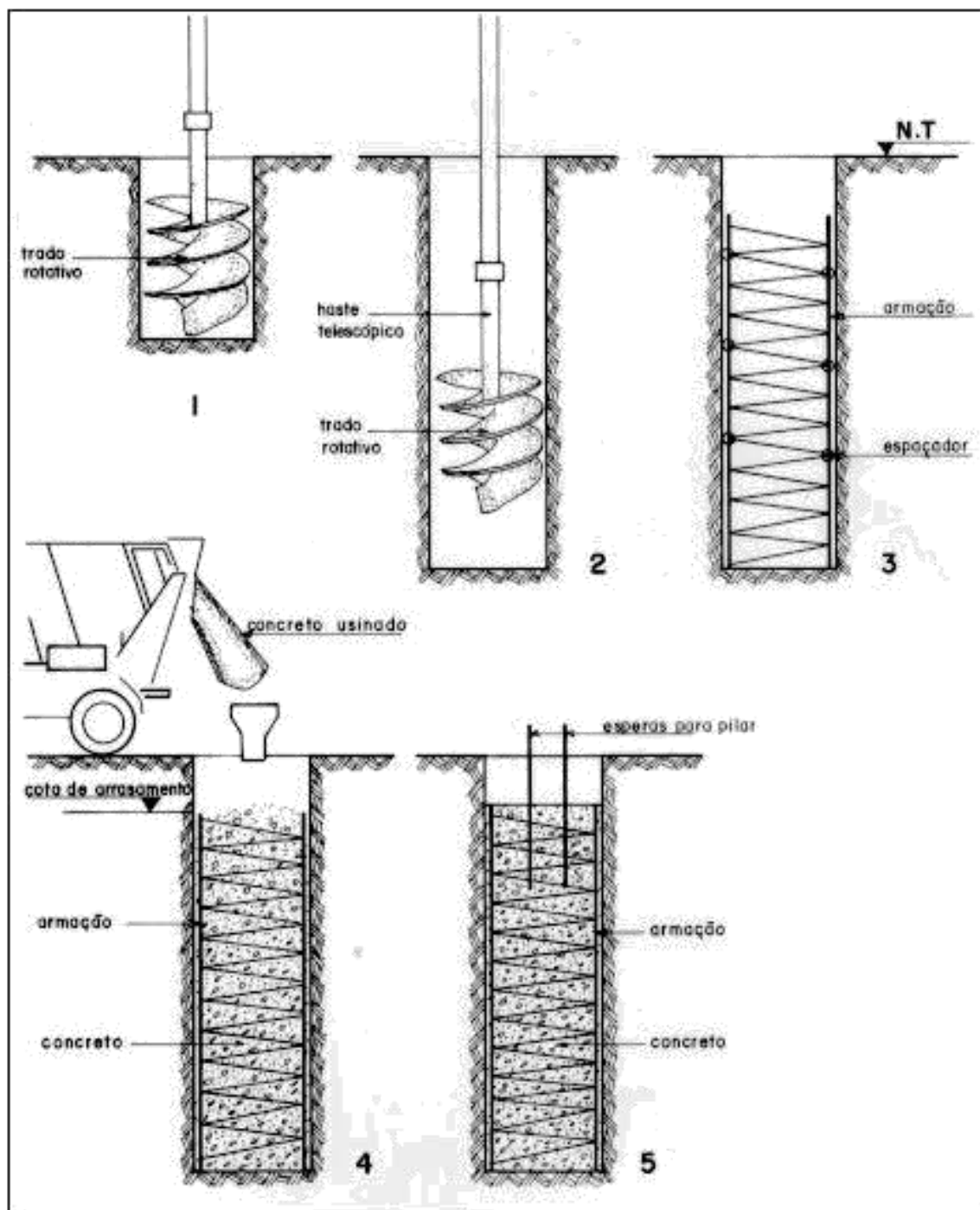
dependendo do diâmetro). As estacas Franki podem ser verticais ou inclinadas, sendo que a inclinação pode ser de até 25° com a vertical, tendo em vista a capacidade do equipamento de cravação. Da mesma forma que para as estacas Strauss, podem ocorrer descontinuidades no fuste se a altura de concreto dentro do revestimento durante a concretagem não for suficiente para manter estáveis as paredes da escavação. Uma das principais desvantagens desse tipo de estaca é que sua execução causa grandes vibrações devido à alta energia utilizada na cravação, o que pode ser prejudicial nas vizinhanças de prédios apoiados em camadas superficiais do solo.

Em função das características do subsolo, podem ser empregados métodos executivos variantes do método convencional, como a cravação com tubo aberto (sem bucha) ou a pré-furação (pelo processo Strauss). Nos casos em que haja a presença de fluxo de água subterrâneo ou camadas muito moles, pode-se optar por não recuperar o revestimento (estaca Franki “tubada”)

- **ESTACA BROCA:** é o tipo mais rudimentar de estaca moldada no local. A perfuração do solo é feita com um trado, instrumento composto de quatro facas que formam um recipiente. As lâminas das facas se encontram em níveis diferentes, para que, ao ser imposto um movimento de rotação ao conjunto, possam cortar a terra e retê-la no recipiente. Sempre que a broca estiver cheia de terra, deve ser retirada da perfuração e descarregada, para continuidade do processo. Dessa forma, consegue-se atingir até profundidades de 8 metros. O cabo da broca é formado por tubos e luvas galvanizados rosqueados, e seu comprimento pode ser aumentado à medida que prossegue a perfuração. O diâmetro das brocas varia entre 10 e 30 centímetros, sendo o de 20 o mais usado. Uma vez atingida a cota de apoio da estaca, lança-se o concreto sem armadura até cerca de 50 centímetros da cota de arrasamento da estaca. Coloca-se, a partir daí, uma armadura de solidarização com o bloco ou com a viga de baldrame. Como não é feita nenhuma contenção das paredes da perfuração nesse método, o uso das brocas fica restrito aos terrenos coesivos acima do nível da água. Da mesma forma que as outras estacas moldadas no local (com exceção das estacas Franki), o concreto é de baixa qualidade, seja devido à absorção da água de amassamento pelo solo, seja devido à absorção de água livre do solo pelo concreto, à segregação do concreto, etc. A carga de trabalho, sob o ponto de vista geotécnico, é de difícil avaliação. É comum adotar-se, para diâmetros entre 20 e 30 centímetros, uma carga de 1 a 2 toneladas por metro de broca.
- **ESTACA STRAUSS:** Para a execução de estacas Strauss, inicialmente, abre-se um furo no solo através da queda livre de um soquete de 300 kg de massa até que seja atingida uma profundidade entre 1 e 2 metros. Em seguida, coloca-se o primeiro elemento do tubo de revestimento (coroa) em posição dentro do orifício já formado, e prossegue-se com a escavação substituindo-se o soquete pela sonda Strauss, um balde-sonda de fundo falso. Lança-se água no furo, e os movimentos de percussão da sonda desagregam o solo, que se transforma numa lama e penetra na sonda Strauss através de um dispositivo em forma de válvula existente na mesma. Esse dispositivo se fecha quando a sonda é içada para limpeza. Quando a coroa estiver toda cravada, é rosqueado o tubo seguinte e assim por diante. Essa operação prossegue até que o tubo, ou a série de tubos rosqueados, atinja a cota de assentamento da estaca. Quando isso acontecer, o furo é totalmente limpo e seco, e inicia-se a concretagem. O concreto é lançado no interior do revestimento (camisa), em quantidade suficiente para se ter uma coluna de aproximadamente 1 metro de altura dentro do revestimento. O concreto vai então sendo apiloado (socado) com um peso de cerca de 200 kg, enquanto que o revestimento vai lentamente sendo retirado com emprego de guincho manual. A estaca Strauss só recebe armadura na cabeça, para ligação com o bloco de coroamento. A norma

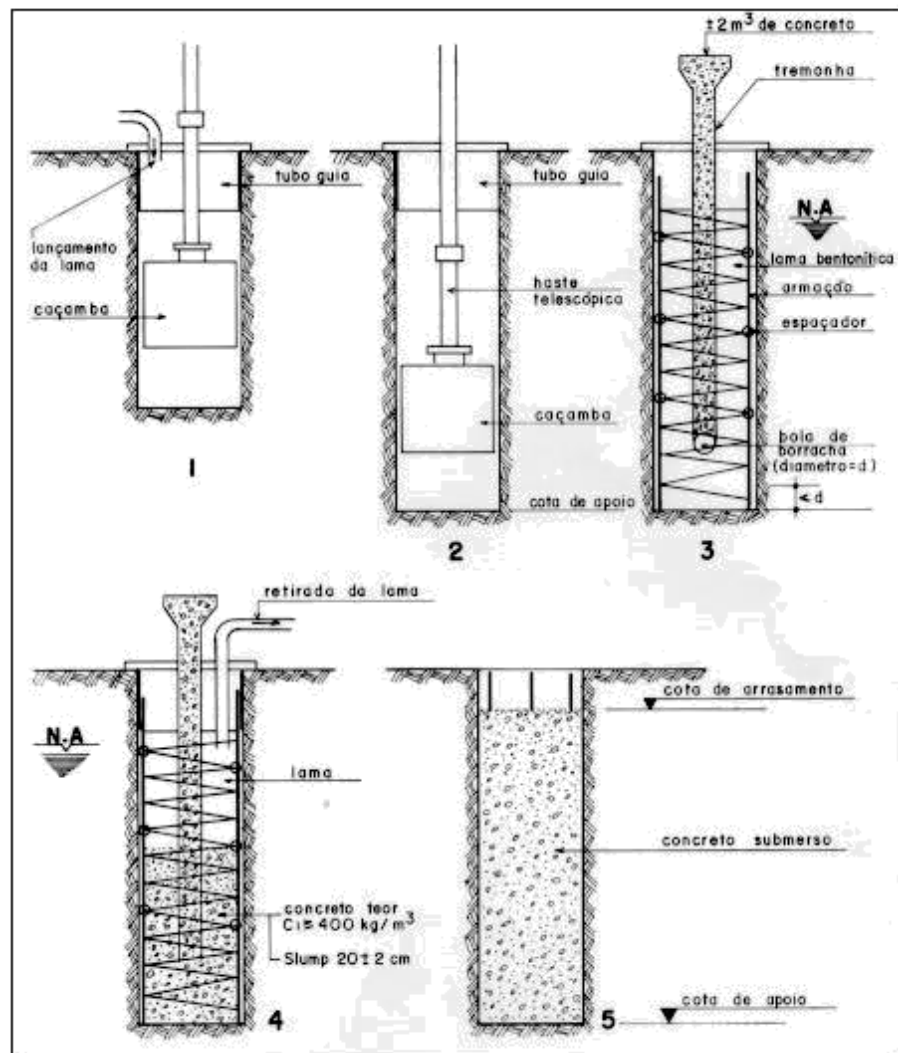
brasileira NBR 6122 indica que o concreto a ser utilizado nesse tipo de estaca deve ter consistência plástica, apresentando resistência mínima de 12 MPa aos 28 dias, devendo o consumo de cimento ser superior a 300 kg/m^3 . As estacas Strauss são disponíveis em diversos diâmetros nominais (25, 32, 38, 45, 55 e 70 centímetros), mas por causa do apiloamento do concreto, podem resultar em diâmetro maior. Deve-se tomar cuidado especial ao executar-se esse tipo de fundação em locais com camadas de argila mole subterrâneas, situação em que seu uso é contra-indicado, pela frequência com que ocorrem problemas. Durante a concretagem e simultânea retirada do revestimento, pode ocorrer o estrangulamento ou até mesmo o seccionamento do fuste se o revestimento for retirado com velocidade muito rápida, não permitindo que permaneça no seu interior uma altura de concreto suficiente para exercer pressão suficiente sobre as paredes da perfuração. Uma forma de detectar problemas nas estacas Strauss é comparar o volume de concreto estimado previamente e o volume de concreto lançado na perfuração. Se o volume de concreto lançado for menor, pode ter havido desmoronamento do solo durante a concretagem e retirada do revestimento. Devido à grande probabilidade de ocorrência desse tipo de problema, as estacas Strauss não são recomendadas para trabalhos abaixo do nível da água e em locais onde exista camada mole subterrânea.

- **ESTACA ESCAVADA:** é aquela executada através da perfuração do solo com ou sem auxílio da lama bentonítica (figuras 29 e 30), e posteriormente é feito o enchimento com concreto. Os diâmetros podem chegar a 2,5 metros e a profundidade pode alcançar mais de 40 metros. Quando necessário, a lama é utilizada, com objetivo de conter as paredes da escavação. A norma brasileira NBR 6122 define as características que a lama deve apresentar para que possua essa propriedade. A contenção do solo é obtida em parte pelo balanceamento da pressão do solo pela pressão hidrostática da lama, e em parte pela característica tixotrópica que a lama apresenta. Forma-se junto à superfície da parede uma película impermeável denominada "cake". Ao longo do processo de escavação, a lama vai se misturando ao solo, devendo então ser separada do mesmo em bacias de decantação, para que sejam mantidas suas características. Quando a lama é utilizada, a concretagem deve ser feita com auxílio de um dispositivo em forma de funil - chamado *tremonha* - que conduz o concreto ao fundo da escavação, pois o lançamento do concreto desde o nível do terreno pode causar sua mistura com a lama. A tremonha deve ter sua extremidade sempre mergulhada no concreto durante a concretagem, para que não haja a incorporação da lama bentonítica no concreto. Deve ser tomado cuidado especial com a cabeça de todas as estacas moldadas no local, não só as escavadas, pois o concreto dessa região pode ter sofrido alguma mistura com solo ou lama bentonítica porventura usada na escavação. Assim, recomenda-se a concretagem até uma vez o diâmetro da estaca acima da cota de arrasamento da mesma, com posterior demolição do concreto até a cota de arrasamento. A figura 5.31 a seguir ilustra esse processo.



1. Escavação mecânica do furo através de trado ou caçamba.
2. Perfuração executada até a profundidade necessária (cota de ponta da estaca).
3. Colocação da armadura.
4. Concretagem.
5. Colocação das esperas do pilar imediatamente após a concretagem (estaca pronta).

Figura 5.29 - Sequência executiva de estacas escavadas sem lama bentonítica



1. Escavação mecânica com utilização de caçamba e preenchimento do furo com lama bentonítica.
2. Conclusão da escavação quando é atingida a cota de apoio da estaca.
3. Colocação da armadura e início da concretagem.
4. Concretagem, armazenamento da lama, desarenação e reaproveitamento posterior, se possível.
5. Estaca pronta.

Figura 5.30 - Seqüência executiva de estacas escavadas com lama bentonítica

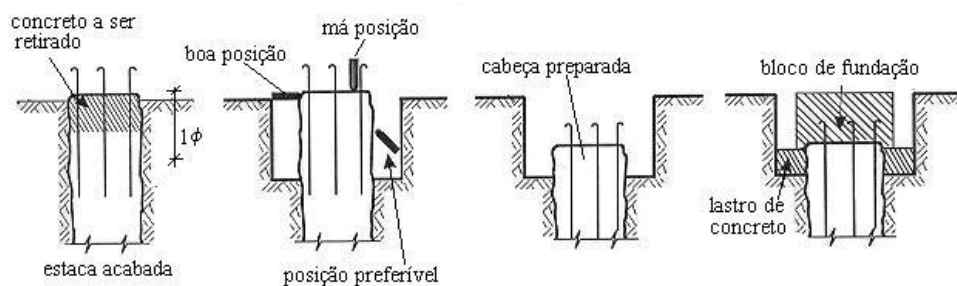


Figura 5.31 - Preparo da cabeça de estacas moldadas no local

- **ESTACA TIPO HÉLICE:** é uma estaca com processo contínuo de execução, ilustrado na figura 5.32: a escavação se dá pela penetração de trado contínuo, e a concretagem se dá simultaneamente com a retirada do trado, por uma haste central que injeta o concreto na escavação. Os diâmetros dos trados disponíveis no Brasil variam entre 27,5cm e 1,0m, com profundidades que podem alcançar 25 metros. A metodologia de perfuração permite a execução desse tipo de estaca em terrenos coesivos ou não, acima ou abaixo do nível do lençol freático. Dependendo do tipo de equipamento utilizado, podem ser perfurados solos com SPT superior a 50 golpes.

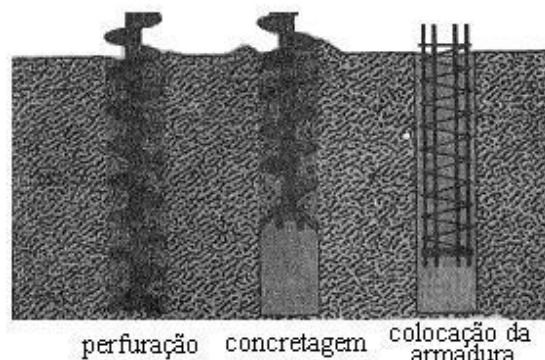
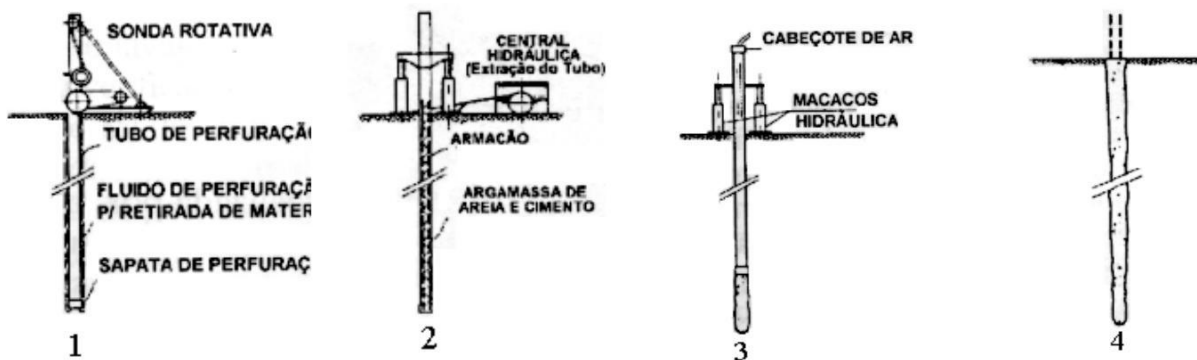


Figura 5.32 - Seqüência executiva da estaca tipo hélice contínua

5.2.4.4 ESTACAS INJETADAS: são estacas moldadas no local com argamassa ou nata de cimento, injetadas sob pressão após a perfuração. Possuem elevada tensão de trabalho, têm o fuste rigorosamente contínuo e são armadas ao longo de todo o seu comprimento. São utilizadas para reforço de fundações, fundações de obras normais e estabilização de taludes. São dois os processos executivos mais empregados, caracterizando assim as *estacas raiz* (figura 5.33) e as *microestacas* (figura 5.34). A perfuração, semelhante para ambos os tipos, é realizada por rotação ou roto-percussão (no caso de rochas) com circulação de água ou ar comprimido em direção vertical ou inclinada (de 0 a 90°) por meio de ferramentas que podem atravessar terrenos de qualquer natureza, inclusive rochas, alvenarias e concreto armado, solidarizando-se às estruturas atravessadas. Essa perfuração se processa com tubo de revestimento munido na extremidade de uma coroa de perfuração adequada às características do terreno. O material escavado é eliminado continuamente por água, lama ou ar comprimido, introduzido por dentro do tubo. Esse fluido, juntamente com o solo escavado, reflui pelo espaço entre o tubo e o terreno (externo), permitindo uma perfeita lubrificação da coluna, facilitando a penetração. No caso das estacas raiz, depois de completada essa etapa com revestimento total do furo, coloca-se a armadura e lança-se a argamassa de baixo para cima com auxílio de um tubo de concretagem. Com o lançamento da argamassa no fundo, a água ou lama utilizada na perfuração vai sendo empurrada para cima até completa expulsão. Durante a concretagem, procede-se à retirada do encamisamento, ao mesmo tempo em que se aplica pressão na argamassa já lançada através de ar comprimido. Essa compressão da argamassa é feita várias vezes, até a total execução da estaca, acrescentando-se a cada vez a quantidade de argamassa necessária ao completo preenchimento da tubulação. Devido à utilização de pressão na concretagem, tais estacas apresentam o fuste com rugosidades e expansões, e tende a aumentar o diâmetro quando atravessa horizontes de menor resistência. Isso propicia uma ótima resistência por atrito lateral. A argamassa é dosada com consumo de cimento da ordem de 500 a 600 kg/m³ de areia, fator água/cimento de 0,6 e aditivos fluidificantes. Tendo em vista a pequena dimensão dos equipamentos, tais estacas são uma boa solução para

espaços pequenos e encostas íngremes, onde seja difícil a instalação de bate-estacas tradicionais. Sua execução causa mínima perturbação no ambiente circundante.

No caso das microestacas, após a perfuração com revestimento, é inserido um tubo de PVC ou metálico dotado de válvulas ("manchete") a cada aproximadamente 1 metro (o tubo metálico conta para a área de armadura da estaca; no caso de tubo de PVC, este deve ser obrigatoriamente envolvido por armadura, como mostra a figura 5.35). O tubo manchete tem diâmetro inferior ao revestimento, e o espaço anular existente entre ambos é chamado *bainha*. Após a perfuração e lavagem, é colocado o tubo manchete e é executada a bainha, através de injeção de nata de cimento pela extremidade inferior do tubo, até extravasamento na superfície. Durante essa operação, o tubo de revestimento vai sendo retirado. Após a conclusão da bainha, o tubo é lavado internamente com circulação de água e é introduzido no interior do tubo manchete um outro tubo, dotado de um obturador duplo que, ligado a um misturador e uma bomba, injeta nata de cimento a pressões que chegam a 3 atm. A injeção só é iniciada após a bainha ter concluído a pega e estar em início de cura (geralmente 12 horas após a confecção da bainha). A injeção vai sendo feita sucessivamente, válvula após válvula, de baixo para cima, e só inicia na válvula seguinte quando se comprova que a injeção da inferior já deformou o solo de maneira satisfatória. Depois de concluída a injeção de todas as válvulas, a parte central do tubo manchete é preenchida com nata de cimento ou argamassa. Se necessário, nessa etapa pode-se complementar a armadura da estaca instalando-se barras de ferro longitudinais no interior do tubo, que permanecerão então imersas na nata ou argamassa de cimento. Esse processo executivo resulta num fuste com sucessivos bulbos fortemente comprimidos contra o solo, aumentando muito a resistência da estaca por atrito lateral.



1. Perfuração
2. Colocação da armadura e preenchimento do furo com argamassa
3. Extração do tubo e injeção de ar comprimido
4. Estaca pronta

Figura 5.33 - Sequência executiva de estacas-raiz

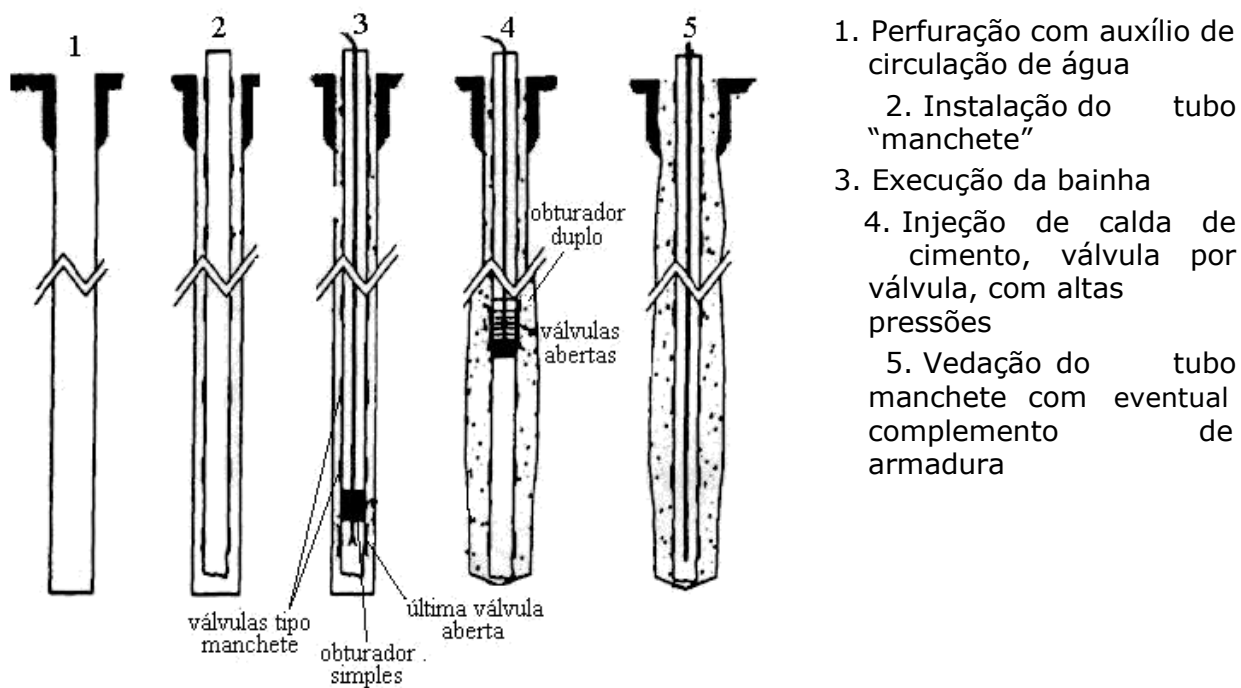


Figura 5.34 - Seqüência executiva de microestacas

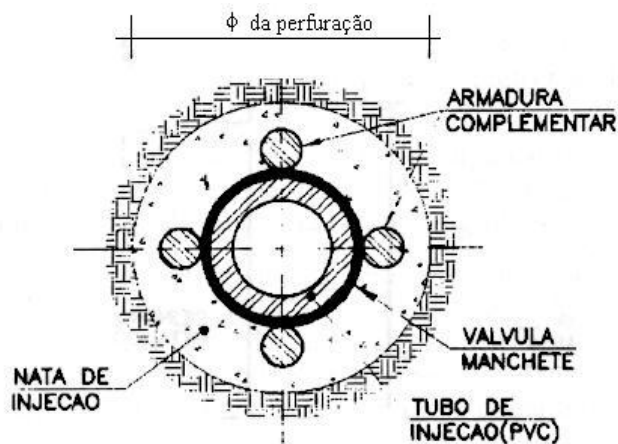


Figura 5.35 - Seção transversal de um tubo manchete de PVC na altura da válvula

6. ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

6.1 FÔRMAS

A execução das estruturas de concreto armado exige a utilização de fôrmas, já que o concreto é lançado no estado fluido. De acordo com a finalidade a que se destinam ou de acordo com o elemento estrutural que deve ser executado, pode-se relacionar vários tipos de fôrmas, a saber:

- fôrmas para PILARES
- fôrmas para VIGAS
- fôrmas para LAJES
- fôrmas para SAPATAS
- fôrmas para BLOCOS
- fôrmas para PAREDES
- fôrmas para ESCADAS
- fôrmas para CONCRETO APARENTE

Os materiais empregados na confecção das fôrmas são os mais diversos, dentre eles:

- * Madeira serrada (aplainada ou não) ou compensada, para fôrmas de estruturas em geral. Os compensados resinados suportam de 6 a 8 utilizações; os plastificados, até 30;
- * Aço ou alumínio, para fôrmas de estruturas em geral. Podem ser reutilizados milhares de vezes.
- * Fibra de vidro (fiberglass), para lajes nervuradas e pré-moldados;
- * Concreto, para fôrmas de pré-moldados;
- * Tijolos, para fôrmas de vigas de baldrame em solos arenosos;
- * Concreto, gesso ou plástico, para fôrmas de ornamentos em geral;
- * Solo, para fôrmas de blocos, sapatas, muros e pisos;
- * Poliestireno expandido, para lajes nervuradas e estruturas com forma perdida;
- * Tubo de papelão, para pilares de seção circular e estruturas com fôrmas perdidas (material descartável);

Utilizada desde a antigüidade como apoio na execução de alvenarias, a madeira ainda domina o mercado de fôrmas para concreto, no Brasil e no exterior. Os compensados resinados e plastificados são os que melhor cumprem o papel de molde e têm, por isso, a preferência dos construtores.

As fôrmas devem satisfazer aos requisitos de ordem geral enumerados a seguir:

1. Devem ser executadas rigorosamente de acordo com as dimensões indicadas no projeto estrutural (planta de fôrmas).
2. Devem resistir a esforços estáticos a que vão estar submetidas (peso do concreto, da armadura e das próprias fôrmas), e também a esforços dinâmicos (concretagem, vento, choques, etc.);
3. Devem apresentar estanqueidade, para que não haja fuga da pasta de cimento;
4. Devem ser construídas de tal forma que possam ser retiradas com facilidade;
5. Devem ser projetadas e executadas de tal forma que permitam o maior número possível de reaproveitamentos (grande durabilidade);

De acordo com a norma brasileira NBR 6118 ("Projeto e execução de obras de concreto armado"), as fôrmas devem ser dimensionadas e construídas obedecendo as prescrições das normas NBR 7190 e NB14 para estruturas de madeira e estruturas metálicas, respectivamente. Tais normas discriminam as cargas a serem consideradas, envolvendo esforços horizontais e verticais. No caso de fôrmas de grande altura, como pilares, colunas e paredes, a pressão exercida pelo concreto nas laterais da fôrmas é importante; em vigas, é também importante o peso próprio atuando sobre o fundo da fôrmas (figura 6.1). Nas lajes, considera-se apenas o peso próprio.

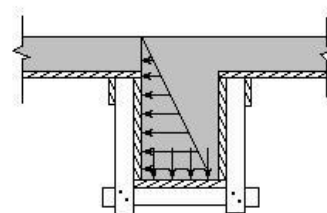


Figura 6.1 - Tensões atuantes nos painéis das fôrmas

Um projeto completo deve conter a representação gráfica do dimensionamento das fôrmas com as medidas, quantidades, distribuição dos componentes e todas as informações necessárias à execução das fôrmas, sem a necessidade de consulta prévia ou possibilidade de problemas de interpretação. O projeto deve ser acompanhado da definição do tipo de material, das recomendações de manuseio dos componentes, da seqüência de montagem e desmontagem, do posicionamento das escoras remanescentes e da forma de verificação dos elementos ao longo do processo construtivo.

6.1.1 FÔRMAS CONVENCIONAIS DE MADEIRA

As fôrmas convencionais de madeira para estruturas de concreto armado de edifícios comuns geralmente não são calculadas, a não ser em casos especiais, como peças de grande altura e peças para grandes vãos. As fôrmas são então executadas de acordo com a prática dos mestres de obra, sendo superficialmente verificadas pelos engenheiros. Na verdade, observa-se freqüentemente a completa ausência de projetos e especificações de montagem, permanecendo as fôrmas como atribuição dos carpinteiros. Isso tem ocasionado muita diversidade de critérios na sua utilização: algumas vezes há um excesso no consumo de madeira, e em outras o emprego é deficiente, com evidente prejuízo.

O sistema de fôrmas se refletirá em vários aspectos da obra. Com relação ao custo, as fôrmas participam com cerca de 40% da estrutura de concreto, a qual representa em torno de 15% do custo total da obra. As fôrmas são as responsáveis pela geometria da estrutura de concreto, a qual influi fortemente na incidência de desperdícios das atividades subseqüentes (por exemplo, o prumo e alinhamento de pilares afetam a espessura do revestimento dos painéis de vedação). Quanto ao acabamento superficial do concreto, o estado das fôrmas é decisivo. Freqüentemente, observa-se marcas ou irregularidades oriundas de esfoliação dos painéis de madeira, rugosidade excessiva proveniente da ausência de desmoldantes, ou o péssimo aspecto deixado por emendas nas fôrmas.

Além disso, as seguintes medidas são recomendadas visando a qualidade da estrutura de concreto:

- i) antes do lançamento do concreto, as fôrmas devem ser limpas internamente através de aberturas ("janelas") executadas próximas ao fundo de fôrmas de pilares e vigas altas;
- ii) após a limpeza da fôrma e antes do lançamento do concreto, as fôrmas devem ser molhadas até a saturação, para que não absorvam a água necessária à hidratação do cimento;

iii) quando se deseja evitar a ligação de vigas, pilares ou muros a outros vizinhos já existentes, a face de contato entre ambos deverá ser coberta com papel, graxa, feltro ou isopor;

6.1.1.1 PEÇAS PARA A CONFECÇÃO DE FÔRMAS

* Nomenclatura e dimensões usuais de algumas peças de madeira: as denominações são muito variadas e dependem dos carpinteiros e da região do país. São elas:

- pranchões: 5 x 15; 5 x 20; 5 x 30
- caibros (ou pau-de-serra): 8 x 8; 8 x 10; 8 x 16; 10 x 10
- caibrinhos: 5 x 5; 5 x 7; 5 x 7,5
- tábua: 2,5 x 20; 2,5 x 30
- guia ou régua: 2,5 x 10; 2,5 x 15
- sarrafo: 2,5 x 5; 2,5 x 7
- ripa: 2,5 x 2,5; 2,5 x 3,5; 2,5 x 4; 3 x 3
- compensados (resinado ou plastificado): espessura de 12, 14 ou 17mm em chapas de 1,10 x 2,20m

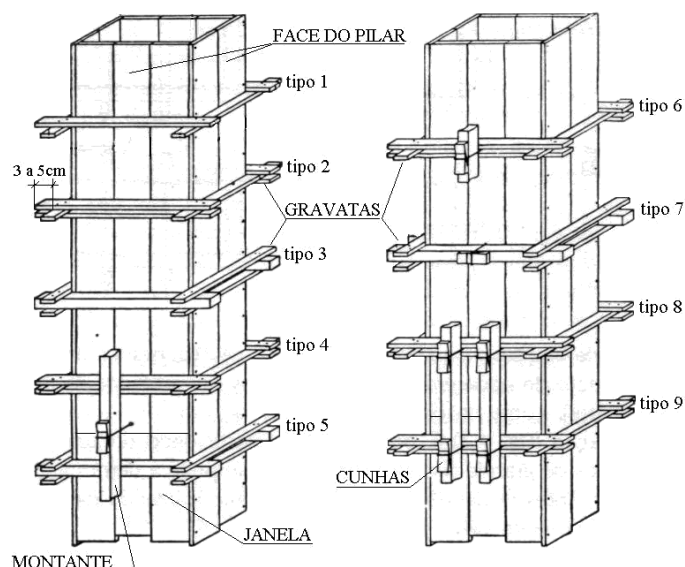
* Acessórios e complementos para as fôrmas: para a fixação, conformação e estabilidade são utilizados pregos de várias bitolas, inclusive de dupla cabeça, parafusos, hastes rosqueadas, chapas metálicas, esticadores, luvas, espaçadores, arames galvanizados ou recozidos e cunhas de madeira.

6.1.1.2 FÔRMAS PARA PILARES

Os pilares podem apresentar seções variadas, sendo as mais comuns a quadrada e a retangular. Quando se deseja esconder os pilares dentro das paredes, podem ser usadas seções retangulares muito alongadas e as seções em **T**, **L** e **Z**.

As fôrmas dos pilares são formadas por tábuas (de 20 ou 30), guias ou compensados, dispostos na posição vertical, constituindo então as faces dos pilares. Esses elementos são ligados por *gravatas*. As gravatas são confeccionadas com a função de reforço para manter a conformação do pilar. O material utilizado (ou combinação de materiais) é função dos esforços aos quais as paredes da fôrma estão sujeitas. As gravatas geralmente são formadas por travessas cujas extremidades correspondentes são ligadas por meio de pregos. Além das gravatas comuns de madeira, existem gravatas metálicas e mistas de vários tipos, todas com o objetivo de facilitar a montagem e a retirada da fôrma. Entretanto, na maioria das construções, as gravatas ainda são feitas com travessas de caibros ou sarrafos, reforçadas na base da fôrma para reduzir os momentos fletores a que estão sujeitas as travessas. Esses reforços podem ser feitos através de *montantes* (caibros ou caibrinhos) dispostos na posição vertical em faces opostas ou nas 4 faces do pilar.

Nos casos mais comuns, as gravatas são formadas por travessas dispostas de várias maneiras, como mostra a figura 6.2.



- tipo 1** - lados iguais, com travessas simples (sarrafos)
- tipo 2** - travessas simples e duplas (sarrafos)
- tipo 3** - travessas simples e duplas (caibro e sarrafos)
- tipo 4 e tipo 5** - tipos 2 e 3 reforçados com montantes
- tipo 6** - tipo 2 reforçado com arame
- tipo 7** - tipo 3 reforçado com arame
- tipo 8 e tipo 9** - tipo 2 reforçado com montantes duplos

Figura 6.2 - Vários tipos de reforços para fôrmas de pilares

A ligação dos montantes pode ser feita por barras de ferro que circundam a fôrma (figura 6.3) ou por fixadores (tirantes ou tensores) de ferro ou arame que atravessam a fôrma, ficando então imersos dentro, não podendo ser recuperados (figura 6.4). Entretanto, este sistema provoca o manchamento da superfície de concreto e torna-se um foco potencial de penetração de umidade e agentes agressivos.

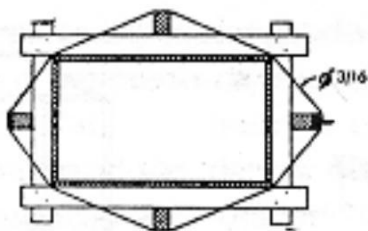


Figura 6.3 - Ligação dos montantes

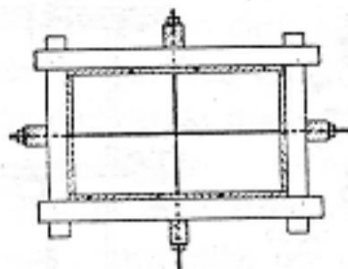


Figura 6.4 - Ligação dos montantes

Outra maneira de executar os fixadores é através de hastes rosqueadas (barras de aço com bitola 10mm). Para ser possível o reaproveitamento desse material, usam-se tubos de PVC que protegem o fixador do concreto (figura 6.5). Entretanto, esse sistema não é recomendado em obras hidráulicas, tendo em vista que, mesmo após o tamponamento das cavidades com argamassa, a estanqueidade das mesmas pode não estar assegurada. Nesses casos, o fixador com núcleo perdido mostra-se o mais adequado (figura 6.6): após a concretagem a haste é desparafusada, e o núcleo permanece no interior da massa de concreto.

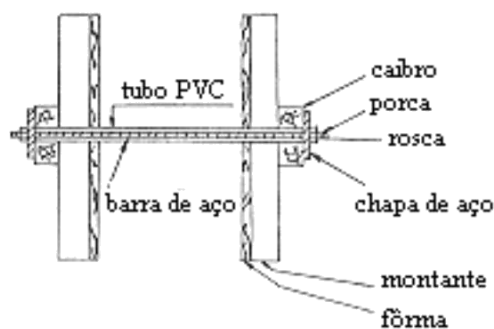


Figura 6.5 - Fixador com haste rosqueada e tubo de PVC

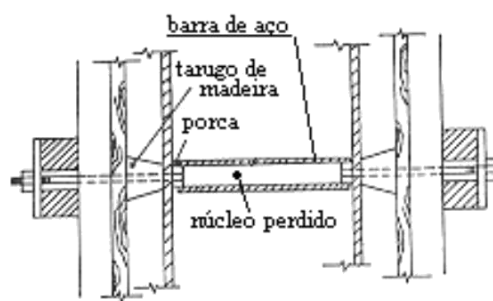


Figura 6.6 - Fixador com núcleo

Os montantes podem ser evitados mediante a ligação das travessas opostas diretamente pelo tirante.

O tipo de ligação mostrado na figura 6.3 não é aconselhável para pilares de grande seção, por apresentar possibilidade de deformação sob cargas elevadas. Nas fôrmas de pilares com seção **T**, **L** e **Z**, os tirantes são indispensáveis para evitar o deslocamento dos painéis e a conseqüente deformação do pilar (figura 6.7). Pode-se conseguir também rigidez das gravatas nesses pilares através das próprias travessas, como indica a figura 6.8.

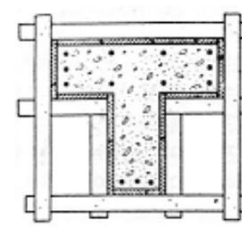
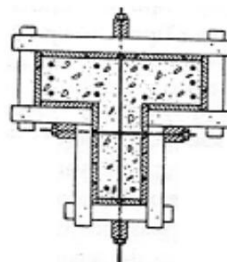
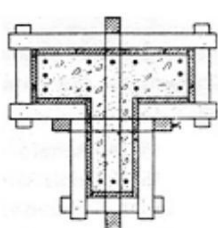
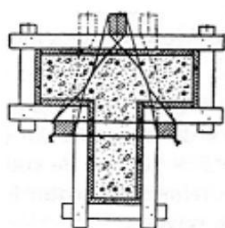


Figura 6.7 - Fixadores em pilares com seção T

Figura 6.8

A distância entre gravatas depende, além de outros fatores, do material com que a fôrma é confeccionada. Por exemplo, se for feita com compensado de 14 a 17 mm, podem ser colocadas a cada 35 a 45 centímetros. No caso de utilizar-se tábuas de pinho de 2,5 cm para as fôrmas, então as gravatas podem ser mais espaçadas (a cada 40 a 50 cm).

As figuras 6.9 e 6.10 mostram como deve ser a fôrma de pilares de seção quadrada, retangular, em **T** e circular. Neste último caso, a fôrma é feita com ripas justapostas, objetivando a obtenção de uma circunferência perfeita. Os reforços são feitos com peças denominadas *cambotas* a cada 35 a 40 centímetros. Podem ser usadas 2, 4 ou 6 cambotas a cada nível de reforço.

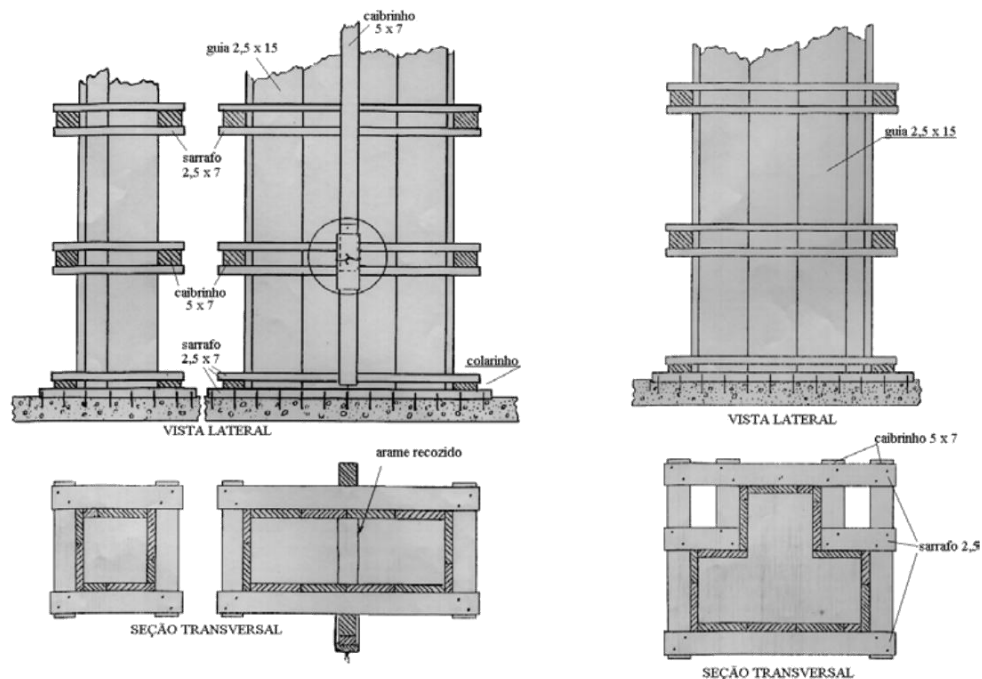


Figura 6.9 - Fôrmas para pilares de seção quadrada, retangular e em T

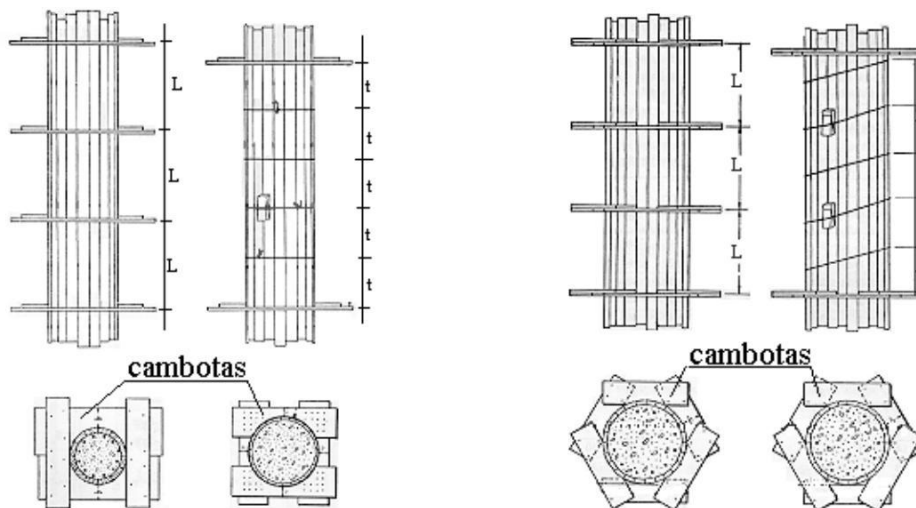


Figura 6.10- Fôrmas para colunas

Para evitar o desaprumo de fôrmas de pilares, deve-se usar elementos de **contraventamento**. Deve-se prever o contraventamento segundo duas direções perpendiculares entre si, o que geralmente não é feito nas obras. As tábuas, caibros ou sarrafos utilizados no contraventamento devem ser bem apoiados no solo em estavas firmemente cravadas (no caso de pavimento térreo) ou devem ser bem fixados na forma do nível inferior.

A figura 6.11 ilustra como deve ser feito o contraventamento de pilares. É necessário cuidado na fixação das peças: a utilização de apenas dois pregos em cada ligação muitas vezes não é suficiente, pois o sistema pode estar sujeito a esforços de tração. Portanto, as fixações devem ser feitas com um grande número de pregos. No caso de pilares altos, deve-se prever contraventamento em dois ou mais pontos da altura, e se as peças resultarem muito longas, deve-se colocar sarrafos intermediários para evitar a flambagem (**travamento**).

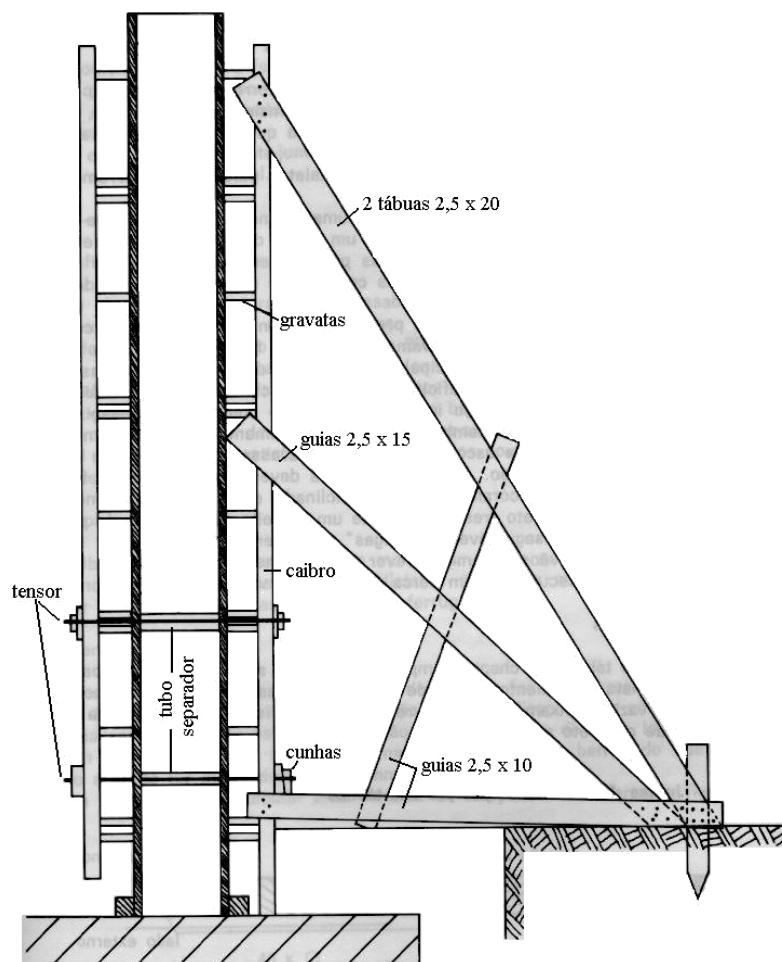


Figura 6.11

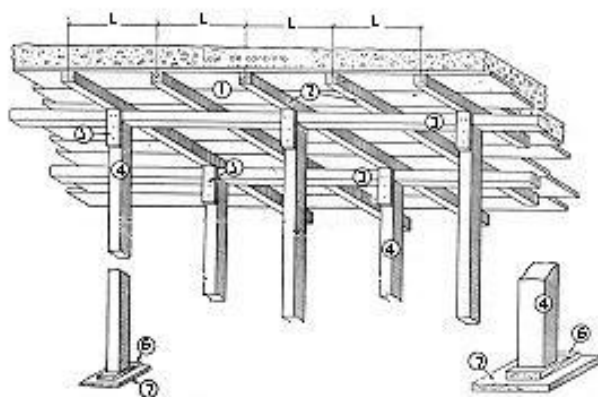
Deve-se prever na base das fôrmas uma abertura para que possa ser feita a limpeza interna das mesmas antes da concretagem (**janela**).

6.1.1.3 FÔRMAS PARA LAJES COMUNS

As fôrmas para lajes comuns são formadas por tábuas (de 20 ou de 30), guias (de 15) ou chapas de compensado (12 ou 14 mm), deitados e justapostos, e que se apóiam nas peças de escoramento. A carga que essas fôrmas devem suportar é constituída pela soma dos pesos do concreto, da armadura, da própria madeira e das cargas acidentais (peso dos carrinhos, operários, etc.).

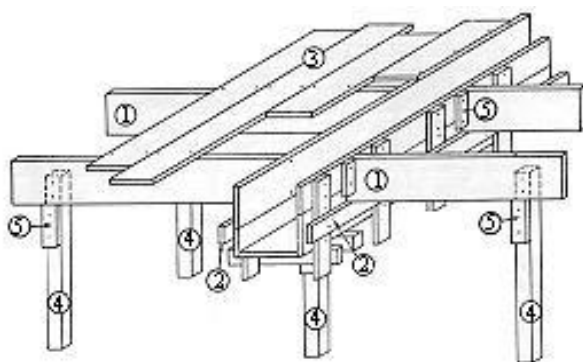
A nomenclatura usada para as diversas peças de fôrmas de lajes é ilustrada na figura 6.12. O *soalho* é o painel contínuo que sustenta diretamente o concreto da laje. Os *barrotes* são as travessas que ligam as peças do soalho através de pregos. Os barrotes são executados em caibros, caibrinhos ou guias de 10, e com afastamento entre 35 e 45 centímetros. As *madres* (ou guias) são elementos colocados abaixo dos barrotes, em direção perpendicular a estes. O afastamento entre madres é de aproximadamente 1 metro, e são executadas a partir de caibros, caibrinhos e guias. As *talas* são usadas para a ligação entre as madres e as escoras que as apóiam. As *escoras*, também chamadas *pés-direitos*, geralmente são troncos de eucalipto com diâmetro não inferior a 7 centímetros, sendo também usados caibros ou escoras metálicas. O afastamento entre escoras de uma mesma madre deve variar entre 60 e 80 centímetros. Os *calços* são peças com dimensões aproximadas de 30 x 30 centímetros que servem de apoio às escoras no chão. Para o ajuste, são usadas *cunhas*. Para cada escora, tem-se um calço.

O escoramento do soalho pode ser feito de duas maneiras, como mostram as figuras 6.12 e 6.13. A figura 6.12 mostra que o soalho apóia-se sobre barrotes eqüidistantes, e esses sobre madres transversais. A figura 6.13 indica o soalho apoiando-se diretamente sobre as madres.



1. soalho
2. barrotes
3. talas
4. escoras ou pontaletes
5. madres ou guias
6. cunhas
7. calços

Figura 6.12 - Elementos de fôrmas para lajes



1. madres ou guias
2. travessas de apoio
3. soalho
4. escoras ou pontaletes
5. talas

Figura 6.13 - Elementos de fôrmas para lajes

É quase sempre necessário o **travamento** das escoras das fôrmas, quando essas se constituem de caibros, para evitar a ocorrência de flambagem. A norma brasileira NBR 6118, em seu item 9.2.2, recomenda o travamento de escoras com mais de 3 metros de comprimento, salvo se for demonstrado a estabilidade da escora à flambagem dispensando-se essa medida. O travamento deve ser feito em duas direções no plano horizontal, através da ligação transversal das escoras. Nos casos em que não se possa ou não se deseje fazer o travamento, pode-se utilizar escoras duplas ou bitolas especiais.

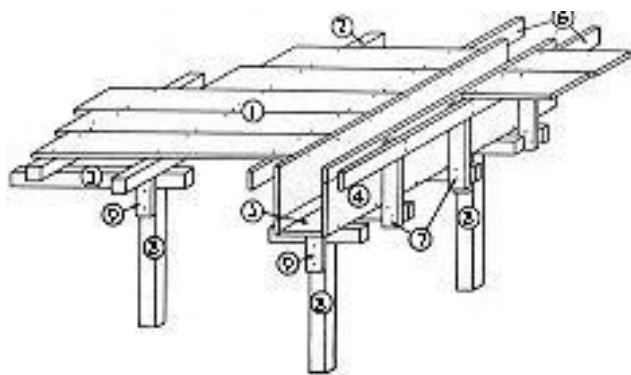
As escoras devem se apoiar sobre o solo (no caso de pavimento térreo) ou sobre lajes já executadas em nível inferior, por intermédio de calços de madeira e cunhas, como mostrou a figura 6.13 anterior. Quando as estacas suportarem muita carga e devem ser apoiadas no solo, recomenda-se a utilização de vigas de madeira ou blocos de concreto ao invés dos calços. Isso reduz o nível de tensões sobre o solo e evita o deslocamento vertical do escoramento.

Quanto à emenda das escoras, a NBR 6118, em seu item 9.3.1, afirma que só poderá existir uma emenda em cada escora, e que esta **não** poderá ser feita no terço médio da escora.

6.1.1.4 FÔRMAS PARA VIGAS

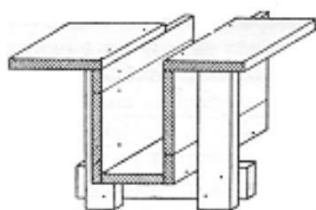
As fôrmas de lajes são diretamente ligadas às fôrmas das vigas, como ilustra a figura 6.14. Essa ligação pode ser feita de várias maneiras (figura 6.15), e a mais

simples é pregar as bordas do soalho da laje sobre a borda superior da face da viga (figura 6.15.a). Apesar de ser o mais usado, esse método apresenta a desvantagem de tornar a retirada das fôrmas mais difícil e permitir fuga do concreto no caso de empenamento da madeira do soalho. O caso mostrado pela figura 6.15.c. facilita a execução e o nivelamento das fôrmas das vigas, bem como a retirada do soalho da laje na desfôrma.

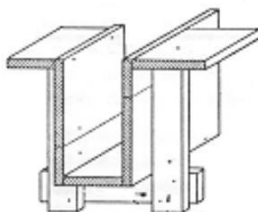


1. soalho
2. barrotes
3. madres ou guias
4. face lateral da fôrma da viga
5. fundo da fôrma da viga
6. travessas de apoio da laje
7. gravatas
8. escoras ou pontaletes
9. talas

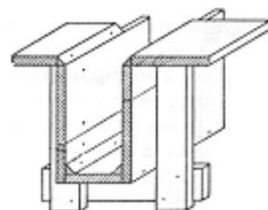
Figura 6.14 - Elementos de fôrmas para vigas e lajes



a)



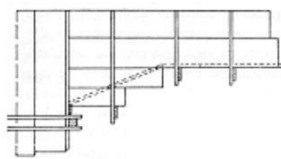
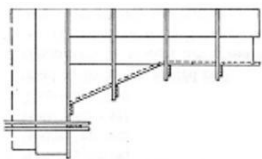
b)



c)

Figura 6.15 - Ligação das fôrmas de vigas e lajes

As fôrmas das vigas são formadas pelos dois painéis laterais (faces da viga) e pelo painel de fundo. Os painéis podem ser confeccionados com tábuas de 20 ou de 30, guias ou chapas de compensado. A ligação entre os painéis é feita com *gravatas* de 3 travessas, como pode ser visto na mesma figura 6.14. Essas travessas podem ser caibros, caibrinhos, guias ou sarrafos. Os espaçamentos entre as gravatas dependem, dentre outros fatores, do tipo de material utilizado na confecção dos painéis: 35 a 45 cm quando o painel for de compensado de 14 a 17mm; 40 a 50 cm quando for de guias ou tábuas de 2,5 cm.



Nas vigas que apresentarem mísulas, a altura dos painéis laterais aumenta nas proximidades dos apoios, e o fundo é feito inclinado ou escalonado (figura 6.16).

Figura 6.16 - Fôrmas de vigas com mísulas

Sobrepostas às gravatas, são colocadas *travessas de apoio* (figura 6.14), que servem de apoio ao soalho da fôrma da laje. Nas vigas perimetrais do prédio, as gravatas precisam ser escoradas através de *mãos-francesas*, como mostra a figura 6.17. Nestes casos, a travessa de fundo da gravata servirá tanto de apoio às mãos-

francesas que reforçam a gravata como para aquelas que fazem o contraventamento das escoras, também chamadas *pontaletes*. Para o apoio desse tipo de mão-francesa são usadas peças horizontais chamadas *chapuzes*.

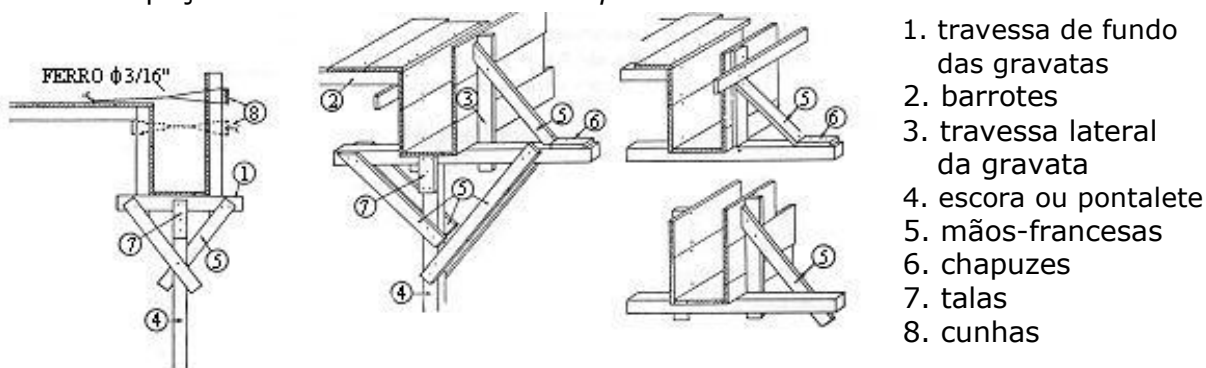


Figura 6.17 - Fôrmas para vigas perimetrais

Da mesma maneira que para pilares, as gravatas das fôrmas das vigas podem ser reforçadas por meio de tirantes. No caso de fôrmas de vigas altas é necessário também um reforço lateral através de mãos-francesas.

No escoramento das vigas, deve-se evitar o travamento entre as escoras, facilitando sua retirada em ocasiões distintas. A distância entre a última escora da viga e a sua extremidade não deve exceder a metade do espaçamento empregado entre as escoras, que geralmente varia entre 60 e 80 centímetros. Para escoras são utilizados caibros, troncos de eucalipto (com diâmetro mínimo de 7 cm) ou escoras metálicas.

6.1.1.5 FÔRMAS PARA ESCADAS

São descritas aqui apenas as fôrmas para escadas onde o degrau também é moldado em concreto armado. A figura 6.18 ilustra essa forma. O fundo da forma, também chamado *soalho*, é executado de maneira semelhante ao descrito para lajes convencionais, com a diferença da inclinação. Usa-se chapas de compensado, guias ou tábuas de 20 ou 30 para sua confecção.

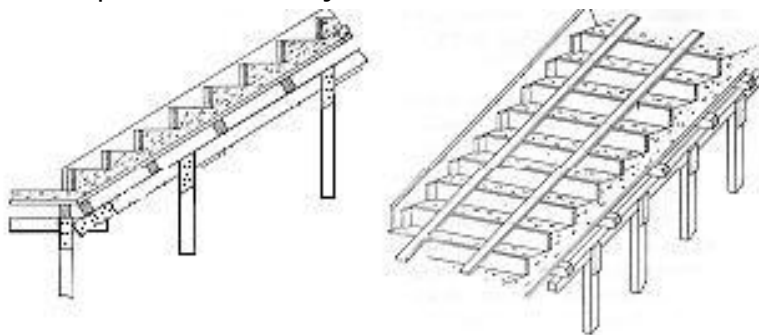


Figura 6.18 - Fôrmas para escadas

O fechamento lateral é feito em ambos os lados com chapas de compensado ou tábuas pregadas a cutelo, acompanhando a inclinação da escada. Para os barrote, usa-se caibros, caibrinhos ou guias de 10 sob o soalho, a cada 50 a 70 centímetros. As travessas, afastadas de 60 a 80 cm entre si, são colocadas sob os barrote em direção perpendicular a esses, e são utilizadas as mesmas peças descritas para os barrote na sua confecção. Através de talas, as escoras são presas às travessas, num espaçamento que pode variar entre 50 e 70 cm. As escoras podem ser caibros ou troncos de eucalipto (diâmetro mínimo = 7 cm).

Para moldagem dos degraus, são utilizados guias ou compensados presos através de talas horizontais a uma travessa central feita de caibro, caibrinho ou guia de 10, ou a duas travessas igualmente espaçadas. Entretanto, o emprego de uma travessa central é mais recomendado, pois é capaz de melhor manter o madeiramento dos degraus na sua posição original durante a concretagem.

6.1.1.6 FÔRMAS PARA PAREDES

As fôrmas para paredes de concreto consistem em dois painéis verticais formados por tábuas, guias ou compensados de 14 a 17 mm, que constituem as faces das paredes, como mostra a figura 6.19. Os painéis são ligados por travessas verticais de caibros, afastadas entre si de 80 centímetros. Para manter melhor o conjunto, usa-se os fixadores descritos nas figuras 6.3 a 6.6 anteriores. Acompanhando as travessas verticais estão as escoras ou estroncas, executadas em caibros, troncos de eucalipto (diâmetro mínimo = 7 cm) ou escoras metálicas, dispostas em posição inclinada e apoiadas sobre o solo (quando são presas a uma estaca de madeira firmemente cravada no solo - figura 6.19) ou sobre estrutura já executada (figura 6.20).

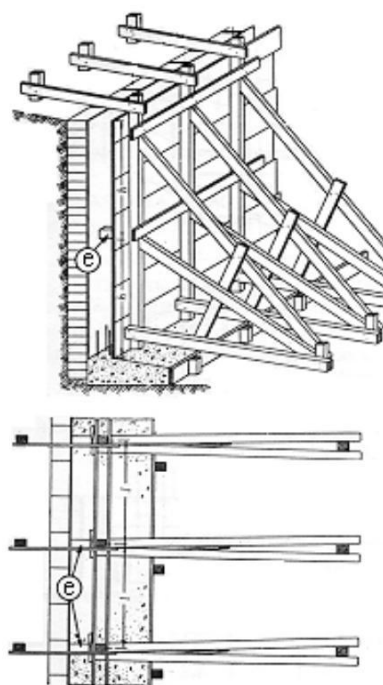


Figura 6.19

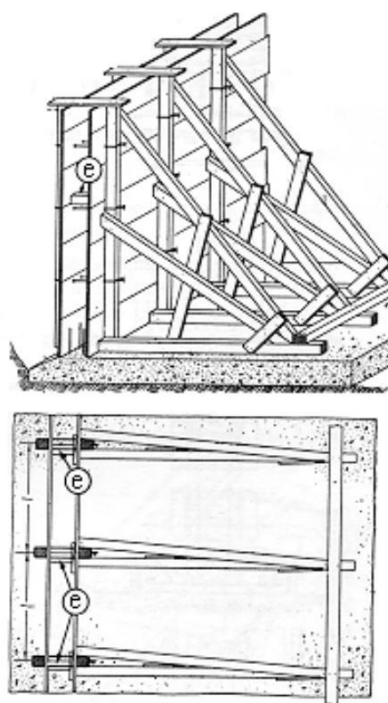


Figura 6.20

A figura 6.20 ilustra o caso típico de execução de reservatórios elevados de água em prédios, em que não se pode escorar a forma do lado externo. Nesses casos, os fixadores descritos na figura 6.6 são os mais recomendados.

A espessura das paredes é garantida por meio de espaçadores, que são elementos deixados no interior da parede para manter a espessura (figuras 6.19 e 6.20). Os tipos mais comuns de espaçadores são de argamassa, não sendo recomendados por se tornarem um ponto passível de penetração de umidade na massa de concreto. Outro tipo de espaçador consiste em uma barra de aço tendo cubos de argamassa na extremidade.

6.1.1.7 FÔRMAS PARA FUNDAÇÕES

Geralmente, as fôrmas de blocos e sapatas limitam-se aos painéis laterais, feitos com tábuas, guias ou compensados. Esses painéis são ligados por travessas, como ilustra a figura 6.22. Para que os painéis se mantenham na posição vertical, as extremidades inferiores das travessas apóiam-se em estacas fincadas no solo, ou as próprias travessas são fincadas no solo, devendo então ter comprimento apropriado. As extremidades superiores das travessas são firmadas por mãos-francesas ou por pequenas escoras apoiadas no solo. Os painéis podem ser mantidos na sua posição também por meio de fixadores. As faces horizontais das fundações e as de pequena inclinação mantêm-se pelo próprio peso do concreto.

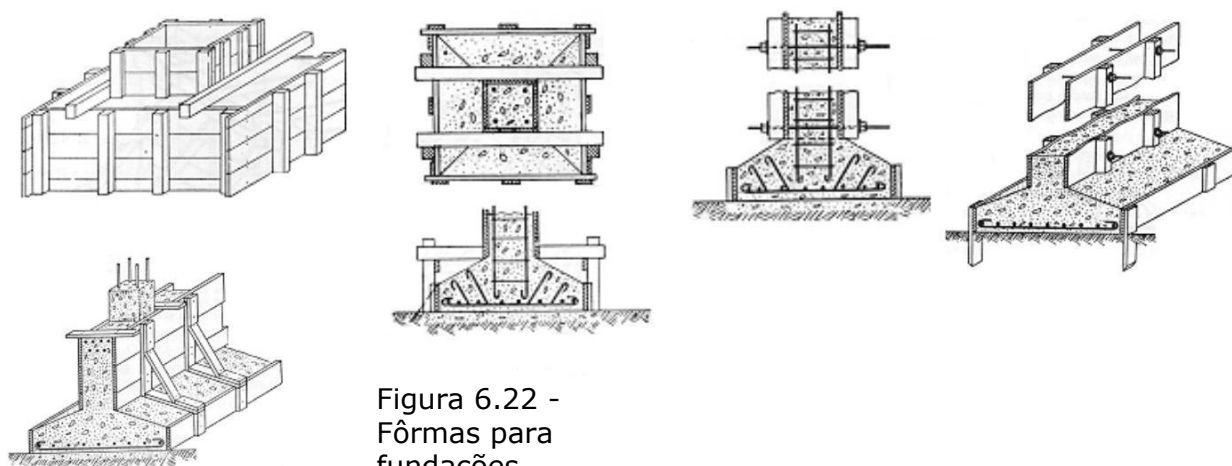


Figura 6.22 -
Fôrmas para
fundações

6.1.2 DESFÔRMA

A retirada das fôrmas e escoramento só pode ser efetuada quando o concreto apresentar resistência mecânica suficiente para manter o seu peso próprio e as cargas a que estará submetido. A norma NBR 6118 define os seguintes prazos mínimos para a remoção das fôrmas e escoramento:

- a) Faces laterais de vigas e pilares: **3 dias**
- b) Faces inferiores de vigas e lajes, deixando-se escoras bem encunhadas e convenientemente espaçadas: **14 dias**
- c) Faces inferiores sem escoras (desfôrma total): **21 dias**

Recomenda-se que a desfôrma total de vigas e arcos com vão maior que 10 metros não se dê antes do 28^o dia de idade da peça.

Os prazos recomendados poderão sofrer alterações caso se trate de concreto com cimento de alta resistência inicial ou com aditivo acelerador de endurecimento. Pode-se, assim, recomendar os prazos de 1, 5 e 10 dias para os itens acima, respectivamente. No caso de vigas e arcos com vão maior de 10 metros, o prazo mínimo para desfôrma, nesse caso, seria de 21 dias.

Durante a retirada parcial do escoramento, é muito importante que não se altere o diagrama de esforços para o qual o elemento de concreto foi dimensionado. Nas estruturas com vãos grandes ou balanços grandes, deve-se solicitar ao projetista um programa de desfôrma progressiva para evitar tensões internas não previstas no concreto, que podem provocar fissuras. Por exemplo, verifica-se com frequência a permanência de escoras na extremidade de lajes em balanço, fazendo com que a mesma passe a se comportar como uma laje bi-apoiada. Isso pode causar o aparecimento de trincas na parte inferior, onde não há armadura suficiente para absorver as tensões de tração não previstas.

Por outro lado, quando se deixa nas vigas de grande vão escoras no meio do vão, forma-se um apoio intermediário não previsto, podendo causar o aparecimento de fissuras na parte superior da viga no ponto de apoio, pela atuação de momento negativo (figura 6.23).

Figura 6.24 - Alteração do diagrama de momentos fletores de vigas de grande vão na desfôrma

Assim, nas lajes centrais, a retirada das escoras (ou o *decimbramento*) deve ser executada do meio do vão para os apoios; nas lajes em balanço, da extremidade para o apoio. Nas lajes de forro, a retirada do escoramento só poderá ser executada após o término dos serviços de carpintaria para montagem da estrutura da cobertura. Essa medida é necessária em virtude dos esforços adicionais causados pela montagem da estrutura do telhado. Outro cuidado importante a ser tomado é quanto à permanência, em andares inferiores, de escoras em número suficiente para auxiliar na transmissão de esforços da concretagem de um novo pavimento.

A desfôrma deve ser executada de maneira a não provocar vibrações não previstas. A fim de preservar a integridade das fôrmas, convém desmontá-las com o auxílio de cunhas, e não diretamente com pé-de-cabra.

6.1.3 USO DE DESMOLDANTES

A utilização de desmoldantes (produtos anti-aderentes) nas fôrmas visa facilitar a operação de desfôrma, permitindo que os elementos de madeira não sofram esforços em demasia devido à aderência com o concreto e este, por sua vez, apresente superfície menos rugosa. O uso de desmoldantes de boa qualidade também aumenta a vida útil das fôrmas.

Entretanto, muitas vezes não são utilizados para não prejudicar o chapisco das paredes, pois podem permanecer resíduos na superfície de concreto que afetam negativamente as condições de aderência. A alternativa, nesse caso, é recorrer aos desmoldantes vegetais, não oleosos.

O mercado oferece produtos específicos para moldes de madeira, metálico ou concreto. Entretanto, muitos usuários usam óleo queimado ou mesmo graxa.

A aplicação de desmoldantes deve ser feita antes da colocação da armadura, sempre se observando as recomendações do fabricante quanto à quantidade a ser aplicada, vida útil após sua aplicação e durabilidade à chuva ou molhagem. Deve-se ter cuidado durante a aplicação para que a película formada seja contínua e o produto não entre em contato com as armaduras.

6.1.4 JUNTAS NAS FÔRMAS

As juntas entre tábuas ou chapas compensadas devem ser bem fechadas para evitar a fuga de nata de cimento, que pode causar saliências ou vazios na superfície

do concreto. Esses vazios deixam caminho livre à penetração de água e agentes agressivos, que atacam as armaduras podendo causar corrosão.

Assim, a regularidade do corte dos elementos de madeira que servem de molde (tábuas, guias, compensados) é fundamental para o bom acabamento da superfície do concreto.

Recomenda-se que as juntas não ultrapassem a espessura de 1mm quando em concreto aparente, e 2,5mm quando se tratar de concreto a ser revestido. Caso as juntas resultem maiores, sugere-se a substituição do elemento de madeira ou o emprego de algum tipo de vedação. É comum a utilização de jornal ou sacos de papel que embalam o cimento para vedar as juntas. Entretanto, obtêm-se resultados bem mais satisfatórios se o fechamento das juntas for feito com massa plástica ou mata-juntas.

É importante colocar as tábuas com o lado do cerne voltado para o interior da forma, evitando assim que as juntas se abram quando essas tábuas empenam por efeito da umidade ou exposição ao sol. A vedação das juntas deve ser feita pouco antes da concretagem, permitindo as deformações da madeira até esse momento.

6.1.5 MANUTENÇÃO DAS FÔRMAS

Os procedimentos e recomendações de uso das fôrmas de compensado, visando prolongar a vida útil do material e obter seu melhor aproveitamento são:

- a) no trabalho, cuidados especiais promovem o máximo reaproveitamento. Os topos das chapas devem ser selados após o corte, empregando tinta selante específica e impermeabilizante (a tinta a óleo deve ser evitada por ser totalmente impermeável e por isso provocar a formação de bolhas de vapor). A selagem de todas as bordas laterais, cortes, imperfeições e danos aumenta a durabilidade das peças. Para prevenir estragos na superfície dos compensados, deve-se evitar que eles caiam durante o manuseio;
- b) na desfôrma, deve-se usar preferencialmente cunhas de madeira para diminuir a ocorrência de estragos na fôrma. Os pregos de cabeça dupla também reduzem a ocorrência de danos (descascamentos). Deve-se evitar, também, o uso de barras ou alavancas metálicas para desfôrma (pé-de-cabra);
- c) estocagem: após a desfôrma, deve-se limpar e raspar os painéis com lâmina cega, untá-los com óleo e empilhar sobre uma superfície plana, nivelada e protegida do intemperismo. Deve-se usar tabiques para permitir secagem normal;
- d) fixação: deve-se usar a quantidade mínima possível de pregos de tamanho menor. Permitir espaçamento entre os pregos de no mínimo 5 vezes o diâmetro do corpo do mesmo para painel com 16mm, e de 6 vezes o diâmetro para painel de 19mm, facilitando assim a desfôrma sem danos maiores ao painel.

6.2 ARMADURAS

O aço para concreto armado é encontrado na forma de barras, fios ou telas (malhas), que deverão preliminarmente satisfazer as seguintes condições gerais:

- apresentar homogeneidade quanto às características geométricas;
- apresentar-se isento de defeitos prejudiciais, tais como bolhas, fissuras, esfoliações ou corrosão.

6.2.1 BARRAS E FIOS

As barras são produtos obtidos por processo de laminação, tendo comprimento usual de 11 metros. Os fios são produtos obtidos por trefilação, e apresentam bitola $\leq 10\text{mm}$. De acordo com a configuração do diagrama tensão x deformação e do processo de fabricação, as barras e fios poderão ser: a) aço classe A, com patamar de escoamento definido, laminado a quente; ou b) aço classe B, sem patamar de escoamento definido, encruado por deformação a frio.

De acordo com as características mecânicas, as barras e fios são classificados em: CA-25, CA-32, CA-40, CA-50 e CA-60, onde o algarismo representa a tensão de escoamento (kN/cm^2 ou Kg/mm^2). Atualmente, o aço CA-32 não tem sido mais fabricado.

A superfície dos fios ou barras poderá ser lisa ou conter saliências, quando diz-se que são nervurados. Os tipos mais usuais são:

CA-25 A: liso ou nervurado;

CA-40 A ou B: liso (para diâmetro $\geq 10\text{mm}$) ou nervurado;

CA-50 A ou B: nervurado;

CA-60 B: nervurado (somente fios)

As barras e fios são designados por sua *bitola*, que corresponde ao diâmetro da seção transversal nominal daquelas peças.

Em obras de edificação, os fios CA-60 B (normalmente usados para armadura de laje e estribos de vigas e pilares) e as barras CA-50 A ou B (normalmente usadas para armaduras de vigas e pilares, e eventualmente para lajes) são os mais utilizados. Normalmente, são encontradas no comércio as seguintes bitolas dessas duas classes de aço. As bitolas que não estão disponíveis no mercado podem ser adquiridas por encomenda.

Fios CA-60 B: 3,4 - 4,2 - 4,6 - 5 - 6 - 6,4 - 7 - 8mm

Barras CA-50 A ou B: 6,3 - 8 - 10 - 12,5 - 16 - 20 - 22,5 - 25 - 32mm

Na tabela 6.1 são apresentadas as bitolas padronizadas e seus valores nominais.

6.2.2 TELAS OU MALHAS

As telas ou malhas são confeccionadas com fios de aço CA-60 B, eletrossoldados formando uma malha. São fornecidos em painéis ou em rolos, cujas dimensões são padronizadas pelo fabricante. Podem ser obtidas com outras dimensões sob encomenda. As telas também são fornecidas com vários espaçamentos longitudinais e transversais (10x10, 10x20, 15x15cm, etc) e com fios de bitola igual ou diferente dos dois sentidos.

Tabela 6.1 - Bitolas padronizadas de fios e barras (NBR 7480)

Bitola ϕ		Valor nominal para cálculo		
Fios	Barras	Área da seção (cm ²)	Massa linear (kg/m)	Perímetro (cm)
3,2	-	0,080	0,063	1,00
4	-	0,125	0,100	1,25
5	5	0,200	0,160	1,60
6,3	6,3	0,315	0,250	2,00
8	8	0,50	0,40	2,50
10	10	0,80	0,63	3,15
12,5	12,5	1,25	1,00	4,00
-	16	2,00	1,60	5,00
-	20	3,15	2,50	6,30
-	25	5,00	4,00	8,00
-	32	8,00	6,30	10,00

6.2.3 IDENTIFICAÇÃO DE BARRAS E FIOS

As barras de qualquer categoria de bitola ≥ 10 mm com moedas ou saliências deverão apresentar marcas de laminação a cada 2 metros que identifiquem o fabricante e a categoria do material.

A identificação de cada fio de bitola ≤ 10 mm é feita com pintura em pelo menos uma das extremidades, de acordo com as cores indicadas na tabela 6.2. Os rolos serão identificados por uma faixa pintada no toro (lateral do rolo).

Tabela 6.2 – Identificação das bitolas por coloração

CATEGORIA	COR
CA-25	amarela
CA-32	verde
CA-40	vermelha
CA-50	branca
CA-60	azul

6.2.4 ARMAZENAGEM

As barras de aço armazenadas em obra facilmente desenvolvem processos corrosivos a partir da sua interação com o meio ambiente. Basicamente, são dois os processos corrosivos: a *oxidação* e a *corrosão* propriamente dita. Na oxidação forma-se uma película de óxidos de ferro não prejudiciais, conhecida como *ferrugem*. Já a corrosão propriamente dita exige cuidados para sua prevenção, já que há formação de placas na superfície da barra que podem prejudicar a aderência ao concreto, e há também redução do diâmetro da barra ao longo do processo.

A simples presença de oxigênio e umidade é capaz de causar corrosão nas armaduras expostas. Conforme o nível de agressividade do ambiente, recomendam-se alguns cuidados básicos quanto ao armazenamento do aço, na tentativa de minimizar o desenvolvimento de processos corrosivos.

Em meios fortemente agressivos, tais como regiões marinhas ou industriais, recomendam-se os seguintes cuidados:

- ♦ armazenar as barras de aço na obra pelo menor tempo possível, procurando receber lotes de aço mais freqüentemente e em menor quantidade;

- ♦ proteger as barras da ação do ambiente, armazenando-as em galpões e cobertas com lona plástica. A pintura das barras com nata de cimento de baixa resistência ou com pasta de cal mostra-se bastante eficaz na proteção das mesmas.

Em meios medianamente agressivos, tais como regiões de umidade relativa do ar média ou alta, recomendam-se os seguintes cuidados:

- ♦ adequar o tempo de armazenamento do aço a partir de observação da superfície de um pequeno lote de barras quando do início da obra;
- ♦ manter as barras de aço cobertas por lona plástica e sobre travessas de madeira, para erguê-las do solo cerca de 30 centímetros. Por sua vez, o solo deve estar isento de vegetação e coberto por uma camada de pedra britada.

Em meios fracamente agressivos, como as regiões de baixa umidade relativa do ar, recomendam-se os seguintes cuidados:

- ♦ armazenar as barras de aço sobre travessas de madeira, para erguê-las do solo cerca de 20 centímetros. O solo deve, também neste caso, estar isento de vegetação e coberto por uma camada de pedra britada.

Todos os procedimentos recomendados devem ser periodicamente avaliados a título de manutenção das condições de armazenamento.

Cabe ressaltar que o armazenamento do aço já cortado e/ou dobrado requer maior rigorismo quanto às medidas de proteção. Nesses casos, ocorre a ruptura da película protetora superficial do aço proveniente da sua fabricação, gerando regiões suscetíveis de desencadear um processo corrosivo.

As barras devem ser estocadas próximo ao local de montagem das armaduras, e devem ser separadas conforme a bitola.

6.2.5 PREPARO DAS BARRAS

As operações básicas para preparo das barras da armadura são: limpeza, corte, desempenho, dobra e emenda.

6.2.5.1 Limpeza

As barras de aço devem estar isentas de qualquer material que possa prejudicar a aderência como o concreto, tais como produtos de corrosão (crostas de ferrugem), terra, areia, óleos e graxa.

6.2.5.2 Corte

O equipamento utilizado no corte de barras de aço deve ser adequado ao diâmetro das mesmas, a fim de garantir um acabamento adequado, sem esmagamento, e não exigir esforços em demasia do operário.

Os métodos utilizados para o corte das barras e fios são:

- ♦ Manual com talhadeira: processo rudimentar e para pequenas quantidades. Coloca-se o ferro sobre uma peça metálica chamada *encontrador* e com a talhadeira dá-se um corte de aproximadamente metade do diâmetro da barra. Em seguida, para partir, dobra-se o ferro. Esse método não é recomendado para fios e barras com diâmetros maiores que 6mm.
- ♦ Manual com tesoura (com duplo sistema de alavanca): é o método mais empregado, mas não deve ser usado para barras com diâmetro maior que 16mm. Existem tesouras de diversos tamanhos.
- ♦ Manual com tesouras de bancada: é o processo usual em construtoras de médio e grande porte. Não deve ser usado para barras com diâmetro maior que 32mm.

- ♦ Tesouras acionadas por motor: é um processo utilizado somente por firmas especializadas em grandes produções em série (ex.: centrais de pré-fabricação). Com este equipamento corta-se barras com diâmetro de até 50mm.
- ♦ Serra manual: é um processo rudimentar, usado para pequenas quantidades e/ou para grandes diâmetros.
- ♦ Serra mecânica ou, atualmente, com discos abrasivos: para grandes diâmetros.

6.2.5.3 Desempeno

Após o corte, as barras devem ser retificadas, pois na maioria dos casos sofrem deformações durante o corte. A operação é executada sobre uma mesa de pranchões com o auxílio de martelos ou marretas.

6.2.5.4 Dobramento

O dobramento das barras pode ser efetuado a quente ou a frio. O dobramento a quente só é permitido nos aços classe A, mas não é recomendável esse processo. Não é permitido nos aços classe B, pois perderiam parcial ou totalmente a resistência adquirida no encruamento.

O dobramento das barras pode ser executado em bancadas dotadas de pinos ou com equipamento específico para tal finalidade. Para cada conjunto de peças idênticas, marca-se a primeira barra de modo que suas dimensões, após a dobra, fiquem de acordo com o projeto estrutural. Todas as outras barras serão cortadas e dobradas tomando-se a primeira como referência. Isso deve ser feito porque a dobra causa um alongamento linear, que varia conforme a ferramenta ou o processo utilizado.

Os métodos mais utilizados para o dobramento das barras são:

- ♦ Manual com auxílio de uma chave (chamada *grifo* ou *garfo*): é feito sobre um gabarito de pinos cravados na bancada;
- ♦ Manual com auxílio de chave e de uma chapa metálica com 3 pinos de aço, fixada sobre a bancada. Dois dos pinos servem de apoio (encosto) para dobrar a barra em torno do terceiro;
- ♦ Manual com máquina de dobrar fixada na bancada;
- ♦ Com máquina de dobrar acionada por motor.

Todas as barras das armaduras que serão submetidas a esforços de tração devem ter ganchos em suas extremidades, sendo que isto deve ser indicado pelo projeto estrutural. Deverão ser respeitados, no dobramento, os diâmetros mínimos de curvatura previstos em projeto. Caso contrário, poderá ocorrer estreitamento da seção da barra (estricção) ou, até mesmo, ruptura por tração. Caso o projeto não seja explícito quanto aos diâmetros internos mínimos de curvatura, deve ser observada a tabela 6.3 abaixo:

Tabela 6.3- Diâmetros internos mínimos de curvatura

BITOLA	CA-25	CA-50	CA-60
$\varphi < 10 \text{ mm}$	3φ	3φ	3φ
$10 \leq \varphi \leq 20 \text{ mm}$	4φ	5φ	6φ
$\varphi > 20 \text{ mm}$	5φ	8φ	-

A curvatura indicada na tabela 6.anterior corresponde ao diâmetro do pino fixado à mesa de dobramento. Os ganchos das barras da armadura de tração poderão ser (figura 6.25):

- a) semi-circulares, com ponta reta de comprimento não inferior a 4φ ;

- b) em ângulo de 45° , com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
 c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

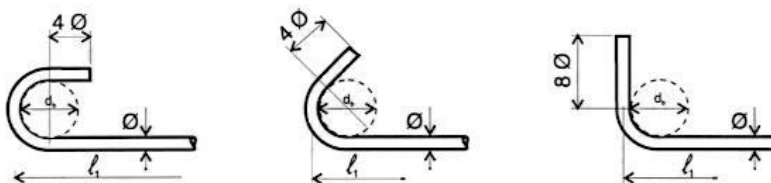


Figura 6.25 - Ganchos das barras de armaduras de tração

Nos ganchos dos estribos, os comprimentos mínimos acima serão de 5ϕ para os casos a) e b), e 10ϕ para o caso c).

As barras de armadura exclusivamente de compressão não deverão ter ganchos.

6.2.6 EMENDAS

Pode haver necessidade de emendar as barras de aço nas vigas de grandes vãos, nos pilares sobrepostos, em componentes pré-fabricados ou para reaproveitamento do material. É recomendável, entretanto, que as emendas fiquem afastadas das zonas nas quais a armadura trabalha com sua carga máxima. Recomenda-se também que sempre sejam fixadas por estribos que assegurem sua posição e aderência à massa de concreto. As emendas podem ser:

- * por traspasse
- * com luvas rosqueadas
- * com luvas de pressão
- * com solda
- * outros

Emendas por traspasse: Esse tipo de emenda não é permitido para barras de diâmetro maior que 25 mm, nem para tirantes e pendurais (peças lineares de seção inteiramente tracionada). No caso de barras tracionadas, as emendas são indesejáveis; quando for estritamente necessário, podem apresentar ganchos ou não. A distância livre entre uma barra e uma emenda por traspasse deve ser $\geq \phi$ barra; entre duas emendas deve ser $\geq 2\phi$ barra. Em ambos os casos, nunca deve ser menor que 2 cm. A quantidade de emendas numa mesma seção transversal, bem como o cálculo do comprimento mínimo de traspasse deve obedecer as prescrições da norma NBR 6118. No caso de barras comprimidas, todas as barras podem ser emendadas na mesma seção transversal, mas não podem ter gancho. O cálculo do comprimento de traspasse deve obedecer a norma NBR 6118.

Nos edifícios com estrutura de concreto armado, as armaduras dos pilares são emendadas em todos os pavimentos ou a cada dois pavimentos, e essa emenda é feita um pouco acima do nível da laje de piso. Para essa emenda, se os pilares superior e inferior à laje tiverem a mesma seção transversal ou tiverem dimensões semelhantes, a armadura inferior sobressai acima do nível da laje, com o comprimento estabelecido no projeto estrutural. São as chamadas **esperas**, como ilustra a figura 6.2(a). Neste caso, as barras da armadura inferior devem ser dobradas até que fiquem contidas dentro da armadura superior. Quando os pilares tiverem dimensões muito diferentes, a emenda é feita com uma armadura auxiliar, contida nas armaduras superior e inferior, como mostra a figura 6.26(b).

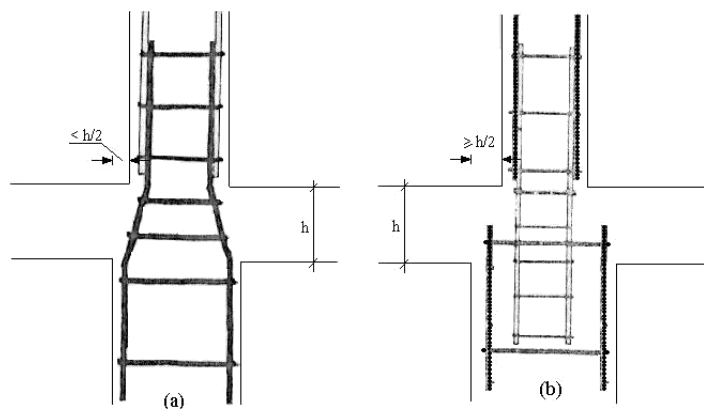


Figura 6.26 - Armadura de transição de pilares entre pavimentos

Emendas com luvas rosqueadas: Esse tipo de emenda só poderá ser feito nos aços classe A. A resistência da luva deve ser maior ou igual à resistência da barra a ser emendada. A fim de evitar tensões maiores nos primeiros filetes das roscas, as paredes externas das luvas devem ser cônicas.

Emendas com luvas de pressão: A luva de pressão aplica-se somente para aços nervurados. As extremidades das barras são introduzidas na luva. Após isso, aplica-se em torno da luva uma pressão hidráulica elevada, e a luva é comprimida fazendo com que as nervuras das barras penetrem nas paredes internas da luva. Resulta uma ligação capaz de suportar esforços maiores que a própria barra.

Emendas por solda: As emendas de barras de aço com solda são permitidas principalmente nos aços de classe A. Nos aços de classe B as soldas só poderão feitas com eletrodo, executando-se a solda por etapas e com aquecimento controlado, de modo a não prejudicar a qualidade do aço. A resistência de cada barra soldada será considerada como íntegra, sem redução, exceto no caso de barras tracionadas sujeitas principalmente a cargas acidentais, quando se considera uma redução de resistência de 20%. Podem ser realizadas emendas com solda em todas as barras do elemento (pilar, viga, ...), inclusive na mesma seção transversal. Entretanto, as emendas com solda não podem ser colocadas em trechos com forte curvatura da barra, como no caso de ganchos.

As emendas por solda podem ser:

a) *de topo, por caldeamento:* realizada somente em barras com $\phi \geq 10$ mm. As extremidades das barras a serem soldadas devem ser cortadas a 90° e esmerilhadas. As extremidades são então encostadas de topo e aplica-se uma corrente elétrica que as aquece até a temperatura necessária, sendo então comprimido esse contato (figura 6.27). A operação é realizada em um equipamento especial. Pelo fato de sofrerem aquecimento apreciável, os aços da classe B não podem ser soldados por esse processo.

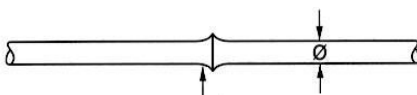


Figura 6.27 - Emenda com solda de topo por caldeamento

b) *de topo, com eletrodo*: realizada somente em barras com $\varphi \geq 20$ mm. As extremidades das barras são esmerilhadas em bisel, e depois é feita a solda elétrica com eletrodo (figura 6.28).

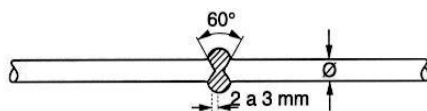


Figura 6.28 - Emenda com solda de topo com eletrodo

c) *solda por traspasse*: são executados no mínimo dois cordões de solda sobre as duas barras traspassadas. Esses cordões devem ter comprimento mínimo de 5φ (figura 6.29). Devido à excentricidade da ligação, faz-se necessária uma armadura transversal, que pode ser o próprio estribo.

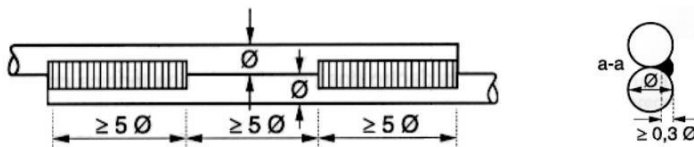


Figura 6.29 - Emenda com solda por traspasse

d) *solda com barras justapostas*: dispõe-se duas barras adicionais adjacentes às barras a serem emendadas, como mostra a figura 6.30. Deverão ser feitas no mínimo dois cordões de solda entre as barras principais e as adicionais, ou seja, existirão no mínimo quatro cordões de solda. O comprimento mínimo de cada cordão não deve ser inferior a 5φ da barra principal.

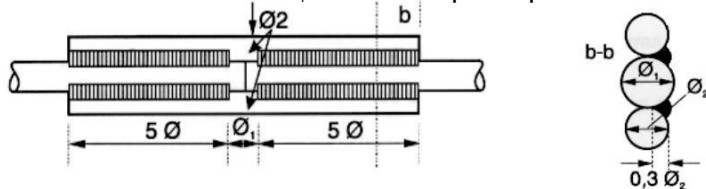


Figura 6.30 - Emenda por solda com barras justapostas

6.2.7 TRANSPORTE

As barras, depois de dobradas e feitas eventuais emendas, são transportadas até o local de montagem. Quando o transporte vertical for feito por meio de grua, as peças devem ser içadas amarradas em feixes que contenham um "kit" de armadura, isto é, um conjunto de peças que formem a armadura de um pilar, uma viga, ou parte de uma laje. Após a descarga, os kits devem ser dispostos de maneira a não serem misturados no momento da montagem. É importante, para evitar confusões, que os kits contenham etiquetas de identificação.

Alternativamente, pode-se optar por montar algumas peças menores ainda na bancada principal, transportando-as prontas até o local de destino somente para colocação. Esse procedimento deve ser feito com cuidado, a fim de evitar dificuldade no posicionamento das peças, principalmente no que se refere às interferências nas ligações entre vigas e entre viga e pilar.

6.2.8 FIXAÇÃO DAS ARMADURAS

O posicionamento das barras uma com relação à outra não deve ser alterado nas operações de transporte e concretagem. Para garantir que as barras permaneçam na sua posição, realiza-se, na grande maioria dos casos, a amarração nos pontos de interseção, através do uso de arame recozido nº 16 ($\varphi = 1$ mm) ou 18 ($\varphi = 0,75$ mm).

mm). A amarração pode ser feita por laçada simples ou por laçada dupla cruzada (figura 6.31), sendo essa a mais indicada para barras grossas. Quando é utilizado arame recozido nº 18, a laçada deve ser dupla. Para arame nº 16 pode ser dupla ou simples.

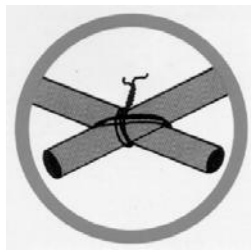


Figura 6.31 - Amarração em laçada dupla

A fim de que não ocorram deslocamentos entre amarrações sucessivas, a norma NBR 6118 aconselha que a distância entre as mesmas não ultrapasse 35 cm. Deve ser tomado cuidado para que as pontas de arame das amarrações não sejam posicionadas em direção à superfície do concreto, o que facilita o processo corrosivo das armaduras e o surgimento de focos de manchamento superficial.

A fixação das armaduras também pode ser feita através de grampos (patenteados) ou solda (no local). Entretanto, são pouco empregados.

6.2.9 ESPESSURA DE COBRIMENTO

Qualquer barra da armadura, inclusive de distribuição, de montagem e estribos, deve ter um cobrimento de concreto mínimo, cuja função tem dois aspectos fundamentais: o primeiro diz respeito à transmissão de esforços ao longo das barras sob carga e ao funcionamento do conjunto aço/concreto, onde ambos interagem através da aderência. O segundo aspecto diz respeito à durabilidade da estrutura, pois, na medida em que a espessura de concreto inexistente ou é inferior ao especificado em projeto, tanto mais fácil é o contato de umidade e agentes agressivos com a armadura, facilitando a corrosão.

O cobrimento de concreto normalmente é negligenciado em obra, de forma que freqüentemente observam-se elementos estruturais com barras aflorando na superfície do concreto. A espessura de cobrimento de cada elemento deve ser especificada no projeto estrutural, já que disso dependem as dimensões dos elementos. As espessuras mínimas de cobrimento conforme o fator água/cimento do concreto e as condições de exposição da estrutura são apresentadas nas tabelas 6.4 e 6.5 a seguir.

Tabela 6.4 - Cobrimento mínimo para concretos com fator água/cimento entre 0,55 e 0,65

LOCALIZAÇÃO DA ESTRUTURA		ATMOSFERA		
		atmosfera rural	atmosfera urbana	atmosfera marinha ou industrial
Locais abrigados de intempéries	loais com risco de condensação superficial	≥ 40	≥40	≥40
	demais	≥15	≥20	≥25
Locais em contato com atmosfera e intempéries	loais expostos às intempéries com UR ≤ 70%	≥15	≥20	≥30
	demais	≥20	≥25	≥30
Regiões semi-enterradas (pilares térreos, cortinas, etc.)		≥35	≥35	≥55
Regiões completamente enterradas ou submersas		≥20	≥20	≥45
Reservatório de água doce		≥40	≥40	≥40

Tabela 6.5 - Cobrimento mínimo para concretos com fator água/cimento entre 0,48 e 0,55

LOCALIZAÇÃO DA ESTRUTURA		ATMOSFERA		
		atmosfera rural	atmosfera urbana	atmosfera marinha ou industrial
Locais abrigados de intempéries	loais com risco de condensação superficial	≥ 35	≥35	≥35
	demais	≥10	≥15	≥20
Locais em contato com atmosfera e intempéries	loais expostos às intempéries com UR ≤ 70%	≥10	≥15	≥25
	demais	≥15	≥20	≥25
Regiões semi-enterradas (pilares térreos, cortinas, etc.)		≥30	≥30	≥50
Regiões completamente enterradas ou submersas		≥15	≥15	≥40
Reservatório de água doce		≥35	≥35	≥35

Além do cobrimento mínimo, deverão ser tomadas medidas especiais para aumento da proteção da armadura se o concreto for sujeito à abrasão, a altas temperaturas, a correntes elétricas ou a agentes fortemente agressivos, como ambientes marinhos e indústrias químicas.

A espessura de cobrimento do concreto deve ser garantida através da colocação de **espaçadores** entre a armadura e a fôrma. Esses elementos, com espessura igual à do cobrimento necessário, devem ser fixados nas armaduras para que permaneçam em sua devida posição, e devem ser colocados em número suficiente para que a armadura não se desloque durante o lançamento e adensamento do concreto.

Os espaçadores mais indicados são feitos na própria obra, com argamassa (são chamados *rapaduras*) de traço idêntico ao do concreto, apenas retirando-se o

agregado graúdo e parte da água de amassamento. Pode-se utilizar fôrma de madeira, metálica, tubos de PVC ou outros sistemas para a confecção dos espaçadores. Obviamente, a espessura do molde utilizado deve ser compatível com o cobrimento especificado no projeto estrutural. Convém pincelar os moldes com algum tipo de desmoldante para evitar a aderência da argamassa aos mesmos. O adensamento e cura dos espaçadores são fundamentais à sua qualidade.

No caso de concreto aparente, os espaçadores de argamassa devem ter pouca superfície de contato com a forma, para que não apareça a sua configuração na superfície do concreto. Soluciona-se isso com espaçadores de forma geométrica tronco-cônica ou cilíndrica.

Há espaçadores de plástico disponíveis no mercado, que vêm encontrando uso crescente e são fabricados em diversas bitolas e espessuras. Entretanto, não são os mais indicados, já que a retração hidráulica do concreto e os diferentes coeficientes de dilatação térmica permitem que a interface concreto/plástico torne-se um caminho preferencial de penetração de umidade e demais agentes agressivos.

A homogeneidade do cobrimento deve ser garantida através da disposição adequada dos espaçadores. A distância entre espaçadores adjacentes não deve ser maior que 1,5 metros. Ao serem fixados num certo número de barras paralelas, não devem ficar alinhados, pois geraria uma região enfraquecida no concreto. A fixação dos espaçadores deve ser realizada através da firma amarração dos arames em sentido cruzado.

A utilização de barras de aço, brita ou outros dispositivos semelhantes como espaçadores não deve ser permitida, pois geram condições favoráveis ao desenvolvimento de um processo corrosivo. Da mesma forma, o comum procedimento de erguer a armadura após o lançamento do concreto é totalmente inadequado, pois não permite nenhum controle da espessura real de cobrimento e sua homogeneidade.

No caso de armadura dupla (positiva e negativa), deve-se empregar dispositivos de aço denominados *caranguejos* (figura 6.32), a fim de manter a armadura superior na posição indicada em projeto.

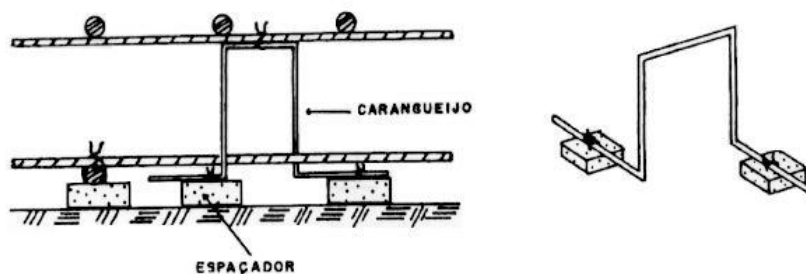


Figura 6.32 - Caranguejos para o posicionamento de armaduras negativas em lajes

6.2.10 POSICIONAMENTO

De uma maneira geral, as armaduras de vigas e pilares são montadas sobre uma bancada ou sobre cavaletes. A seqüência de montagem deve ser a seguinte: posicionar duas barras de aço; colocar todos os estribos, fixando-se somente os das extremidades; em seguida, posicionar as demais barras e amarrá-las aos estribos das extremidades; depois de posicionar os demais estribos, conferir espaçamentos e o número de barras longitudinais e estribos; amarra-se então o conjunto firmemente nas quatro faces. A armadura assim montada é então posicionada dentro das fôrmas.

Em pilares muito grandes, pode ser mais vantajosa a montagem da armadura dentro da fôrma, ao invés de fazê-lo sobre a bancada.

No caso de vigas, devido às dificuldades de execução, como no cruzamento de vigas ou no encontro de viga com pilar, pode-se montar a armadura sem as barras negativas, que são colocadas posteriormente na sua posição. Havendo vigas com mais de uma camada de ferros positivos, o espaçamento entre camadas pode ser feito com pedaços de ferro.

No encontro de vigas e pilares, a disposição dos estribos não deve ser negligenciada, pois pode resultar em trincas verticais na estrutura quando em serviço. Além do esquecimento dos estribos nesses locais, freqüentemente se observa o deslocamento dos mesmos durante as operações de concretagem devido à amarração inadequada.

No posicionamento das armaduras de pilares, sugere-se a elevação dos estribos da base que coincidirem com as esperas do pilar provenientes do pavimento inferior. Posiciona-se a armadura na fôrma, e, em seguida, retorna-se os estribos à sua posição definitiva, quando são então amarrados às esperas.

No posicionamento da armadura já montada dentro das fôrmas, deve-se evitar ao máximo choques da armadura com os painéis de madeira, de modo a prolongar a vida útil destes últimos. O posicionamento das armaduras nas fôrmas deve ser fiscalizado cuidadosamente, na busca de possíveis trocas de posição, trocas de armaduras entre elementos estruturais semelhantes, ou qualquer engano na interpretação do projeto.

Em geral, as armaduras de lajes são montadas sobre as formas já executadas. Não é necessário amarrar todas as interseções, mas a distância entre amarrações sucessivas não deve ser maior que 35 centímetros.

Antes de iniciar a montagem das armaduras de uma laje, deve-se fixar as caixas de passagem das instalações elétricas e hidráulicas. Para facilitar a colocação desses elementos, pode-se pintar sobre a fôrma os locais onde estarão as paredes do pavimento inferior. A montagem deve iniciar pelo posicionamento das barras da armadura principal, seguindo-se o posicionamento das barras da armadura secundária (distribuição). Os nós (interseções) podem ser amarrados alternadamente (ferro sim, ferro não). As barras de armadura negativa da laje devem ser amarradas à armadura das vigas.

Deve-se utilizar espaçadores a uma razão média de cinco peças para cada m^2 de laje, de modo a garantir o cobrimento mínimo.

As armaduras negativas da laje devem ser tratadas com cuidados especiais para garantir posicionamento e amarração corretos. O afastamento entre armadura negativa e positiva pode ser conseguido de duas maneiras: quando a armadura é executada pelo processo de dobrar as barras positivas, aproveitando-as em parte como negativas, as próprias barras garantem o afastamento; no caso de armadura negativa independente, o afastamento é obtido com o uso dos caranguejos (como indicado na figura 6.8), ou então se dobrando alguns ferros da armadura negativa na forma de cavaletes e amarrando-as na positiva.

Atualmente, vêm sendo utilizadas também as telas eletrossoldadas pré-montadas, que são simplesmente colocadas dentro das fôrmas. No caso de armadura negativa, a malha é posicionada durante a concretagem.

As armaduras de paredes (cortinas) de concreto são montadas sobre bancada (total ou parcialmente) ou no próprio local. Geralmente se executa um lado da fôrma, e após a colocação e montagem das armaduras, o outro lado. O cobrimento é garantido com espaçadores, e o afastamento entre barras adjacentes, se não possuírem estribos ou barras dobradas, pode ser feito com caranguejos. No caso de armadura simples, também se pode utilizar os caranguejos para mantê-las na posição.

6.3 PRODUÇÃO DO CONCRETO

6.3.1 MISTURA

A mistura ou amassamento do concreto consiste em fazer com que os materiais componentes (cimento, agregados, água e adições/aditivos) entrem em contato íntimo de modo a obter-se um recobrimento de pasta de cimento sobre as partículas dos agregados, bem como a mistura geral de todos os materiais.

A operação de mistura é fundamental na produção do concreto, pois dela vai depender a homogeneidade do material produzido. Quando a mistura não é adequada, os agregados graúdos e miúdos não são totalmente revestidos pela pasta de cimento, comprometendo assim a resistência e a durabilidade da estrutura acabada. Observa-se com frequência grumos de agregado, principalmente areia, dentro da massa de concreto.

A mistura dos materiais pode ser manual ou mecânica.

6.3.1.1 Amassamento manual

Esse tipo de amassamento só deve ser empregado em obras de pouca importância, onde a qualidade exigida para o concreto e o volume empregado não justificam a utilização de equipamento mecânico.

Para essa operação deve-se dispor de um estrado de madeira ou uma superfície lisa, impermeável e isenta de partículas soltas. Inicialmente, é colocada toda a areia sobre a superfície e, após isso, todo o cimento. Ambos são cuidadosamente misturados a seco até que a mistura apresente coloração uniforme. Reúne-se então a mistura no centro da superfície, e sobre ela lança-se o agregado graúdo. Para facilitar a mistura, o monte pode ser dividido em duas partes, sendo reunido ao final.

Para a adição de água, dispõe-se a mistura num monte em cujo centro faz-se uma depressão ou cratera, onde é lançada a quantidade exata de água. Vai-se lançando, então, a mistura seca das bordas para dentro dessa cratera, tomando cuidado para que a água não escoe e se perca. O processo de mistura deve prosseguir até que se obtenha homogeneidade. Não devem ser preparados mais de 350 litros de concreto de cada vez pelo processo manual.

6.3.1.2 Amassamento mecânico

A mistura mecânica é feita em máquinas especiais denominadas **betoneiras**, que consistem em um tambor (ou cuba), fixo ou móvel em torno de um eixo que passa pelo seu centro. Dentro desse tambor, por meio de pás fixas ou móveis, produz-se a mistura. As betoneiras podem ser intermitentes ou contínuas, como mostra o esquema a seguir:

BETONEIRAS	<i>intermitentes</i>	queda livre	eixo horizontal
			eixo inclinado
		forçadas	cuba fixa contra-corrente
	<i>contínuas</i>	queda livre	
		forçadas	

a) Betoneiras Intermitentes: seu funcionamento deve ser interrompido para a colocação dos materiais no interior do tambor. Pode ser de *queda livre* ou *forçada*.

⇒ **Betoneira intermitente de queda livre:** é o misturador mais utilizado nas obras. Caracteriza-se por ter as pás solidárias ao tambor, que é móvel em torno de um eixo horizontal ou inclinado. A mistura do concreto se dá por tombamento enquanto o tambor é rotacionado. Para esse tipo de betoneira distinguem-se três tipos de capacidades:

i) capacidade da cuba: refere-se ao volume total da cuba ou tambor, e é medido pelo volume da cuba em posição vertical, preenchida com água;

ii) capacidade de mistura: refere-se ao volume dos materiais isolados antes da mistura;

iii) capacidade de produção: refere-se ao volume de concreto fresco produzido a cada betonada, e serve como referência para o cálculo do rendimento da betoneira e do número de betonadas necessárias à execução da estrutura ou parte dela.

Betoneiras de eixo horizontal: existem em vários tamanhos, variando a capacidade de produção de 140 litros a 3 m³. São constituídas de um tambor cilíndrico que gira em torno de um eixo horizontal. Agregados e cimento são carregados por meio de uma pequena caçamba que é levantada por um sistema de roldana até uma abertura central situada em um dos lados da betoneira. Depois da mistura, o concreto ou argamassa é descarregado por uma abertura semelhante situada no lado oposto da betoneira. A betoneira é dotada de pás fixadas no interior da cuba. A relação entre a capacidade de mistura e a capacidade da cuba está entre 0,35 e 0,40, e a relação entre a capacidade de produção e a capacidade de mistura varia entre 0,6 e 0,7. Isso significa dizer que o volume de concreto (capacidade de produção) corresponde a aproximadamente 30 a 40% da sua capacidade nominal (capacidade da cuba). Volumes de concreto superiores à capacidade de produção implicam em perda de eficiência da mesma, repercutindo sobre a homogeneidade do concreto e provocando desgaste do motor. Infelizmente, esse é um procedimento muito comum em obra, numa tentativa de aumentar a quantidade de concreto produzido por betonada.

Betoneira de eixo inclinado (betoneira basculante): existem cubas de até 5 m³ de capacidade. Possuem uma caçamba acoplada que é carregada manualmente e elevada mecanicamente, vertendo os materiais para dentro da cuba. Após a mistura, a descarga do concreto é feita pela mesma abertura de entrada, através da inclinação da cuba de tal modo que o seu conteúdo caia por força da gravidade. O ângulo formado pelo eixo com a horizontal durante a mistura varia entre 15 e 20°. Pela sua ação de descarga mais positiva, essa betoneira é bastante satisfatória para concretos mais secos.

A relação entre a capacidade de mistura e a capacidade da cuba varia entre 0,6 e 0,7, e a relação entre a capacidade de produção e a capacidade de mistura é de aproximadamente 0,7.

Na aquisição das betoneiras intermitentes de queda livre é muito importante a definição da velocidade de rotação. Essa velocidade deve situar-se dentro de certos limites, indicados na tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Velocidade de rotação de betoneiras

Frequência	Tipo de betoneira (eixo)		
	Inclinado	Horizontal	Vertical
N (r.p.m.)	19/√D a 21/√D	17/√D a 21/√D	14/√D a 16/√D

N = velocidade de rotação da betoneira (r.p.m.)

D = diâmetro máximo da cuba (metros)

Uma velocidade de rotação muito baixa prejudica a homogeneidade do concreto e o alcance da consistência ideal da mistura. Velocidades elevadas geram a segregação do concreto, já que, pela ação da força centrífuga, os agregados tendem a acumular-se contra a parede interna do tambor.

A ordem de colocação dos materiais na betoneira afeta as propriedades do concreto. É recomendada a seguinte sequência:

1. 100% do agregado graúdo
2. 50% da água de amassamento
3. 100% do cimento
4. 50% da água de amassamento
5. 100% do agregado miúdo

As etapas 1 e 2 visam remover partículas existentes nas paredes da betoneira provenientes de misturas anteriores, e umedecer a superfície do agregado graúdo para entrar em contato com o cimento. Assim, o agregado graúdo fica completamente envolvido pela nata de cimento, favorecendo a aderência entre ambos. O agregado miúdo, quando adicionado por último, não consome cimento e água em demasia.

⇒ **Betoneira intermitente forçada:** existem dois tipos: de cuba fixa e de cuba móvel. Em ambos, a mistura dos materiais é feita pelo movimento das pás em seu interior. A rotação da betoneira de cuba móvel se dá em sentido contrário ao das pás, sendo por isso chamada de *betoneira de contra-corrente*. As pás são excêntricas, e descrevem círculos de diferentes raios. O peso dessas betoneiras é maior que das betoneiras por queda livre, sendo mais caras e apresentando maior desgaste. Entretanto, há facilidade de carregar os materiais e descarregar o concreto, que resulta bastante homogêneo. Esses equipamentos são particularmente usados para concretos secos. A descarga é efetuada através de uma abertura no fundo da cuba. O tempo requerido para a mistura é pequeno: 45 segundos em média. Nesses misturadores, a relação entre a capacidade de mistura e a capacidade da cuba varia entre 0,35 e 0,4, e a velocidade (número de rotações - N) deve variar entre $14/\sqrt{D}$ e $16/\sqrt{D}$, sendo D o diâmetro máximo do tambor.

· **Betoneiras Contínuas:** são aquelas em que não é preciso interromper o seu funcionamento para a colocação dos materiais. Da mesma forma que para as intermitentes, a mistura pode ser por queda livre ou forçada.

⇒ **Betoneira contínua de queda livre:** consiste num tubo cilíndrico, levemente inclinado sobre a horizontal, móvel e provido de pás orientadas como uma rosca, que gira em torno de um eixo central, conduzindo o material da abertura superior para a inferior, onde é feita a descarga do concreto. O tempo de mistura é igual ao tempo de passagem do material no seu interior. O rendimento é função do diâmetro do cilindro, pois o número de rotações é limitado. Esses misturadores normalmente têm uma capacidade de produção superior a 20 m³ de concreto por hora.

⇒ **Betoneira contínua forçada:** consiste em uma cuba semicilíndrica, alongada, fixa, inclinada, dotada de uma haste central com pás orientadas como um parafuso. A colocação dos materiais é feita pela parte mais baixa, e através da rotação da haste, o concreto vai sendo misturado e levado até a parte superior, onde é feita a descarga. Esse tipo de betoneira é indicado quando o transporte do concreto se dá por método contínuo (correia transportadora ou bomba), ou também para grandes quantidades de concreto. Por ser um misturador muito rápido, exige um grande número de operários para a colocação dos materiais na alimentação da betoneira, para o transporte e também para o lançamento do concreto. Dessa forma, o canteiro deve estar preparado para sua utilização. Interrupções no seu funcionamento resultam em heterogeneidade do concreto.

6.3.1.3 Tempo de mistura

O tempo de mistura dos materiais está relacionado com o número de rotações do misturador. Estando os limites de velocidade de rotação das betoneiras na tabela 6.1, o tempo de mistura varia com o diâmetro do tambor da betoneira (Tabela 6.7), sendo que esta relação depende do tipo de eixo da mesma.

Tabela 6.7 - Tempo de mistura

CONCRETO	TIPO DE BETONEIRA (eixo)		
	Inclinado	Horizontal	Vertical
Concretos normais	$120\sqrt{D}$	$90\sqrt{D}$	$30\sqrt{D}$
Concretos secos (slump $\leq$ 40mm)	$240\sqrt{D}$	$180\sqrt{D}$	$60\sqrt{D}$

Tempo de mistura inferior ao limite especificado traz prejuízo à homogeneidade do concreto. A norma brasileira NBR 12655/92 estabelece 60 segundos como tempo mínimo de mistura. Entretanto, este tempo tem demonstrado ser insuficiente para uma boa homogeneização do concreto, devendo então ser seguidos os limites da tabela 6.7 anterior.

Por outro lado, tempo de mistura superior a 3 vezes o limite máximo indicado na mesma tabela, além de favorecer a segregação do concreto, induz a certo enrijecimento da mistura, tornando-a menos trabalhável.

O tempo de mistura é contado a partir do momento em que o último material entra na betoneira.

6.3.2 TRANSPORTE

O transporte do concreto misturado até o local do lançamento deve ser feito o mais rapidamente possível, para que mantenha a homogeneidade e consistência necessárias. O tempo máximo permitido entre o final da mistura e o lançamento do concreto é de aproximadamente 2 horas. Durante esse período, a betoneira deve permanecer em agitação para evitar a perda de consistência (enrijecimento) e segregação do concreto.

O transporte do concreto pode ser feito de várias formas e nas direções horizontal, vertical e inclinada. A tabela 6.8 a seguir sumariza os métodos e equipamentos mais comuns de transporte do concreto.

Tabela 6.8 - Métodos e equipamentos para manuseio e lançamento do concreto

EQUIPAMENTO	TIPO E INTERVALO IDEAL DE TRABALHO	VANTAGENS	PONTOS DE MAIOR ATENÇÃO
Caminhão agitador	utilizado para transportar o concreto para todos os usos, em pavimentos, estruturas e edifícios.	Caminhões agitadores geralmente operam a partir de centrais misturadoras onde a qualidade do concreto é produzida sob condições bem controladas. As descargas são também controladas. Há uniformidade e homogeneidade do concreto descarregado.	Prazo de entrega compatível com as condições da obra. Equipe e equipamento de concretagem, no canteiro de obras, precisam estar a postos para manusear grandes volumes de concreto.
Caminhão betoneira	Utilizado para misturar e	Não requer centrais misturadoras, somente	O controle de qualidade é tão bom quanto do concreto

	transportar concretos ao canteiro de obra, próximos ou a grande distância.	dosadoras, pois o concreto é misturado na caçamba do caminhão. A descarga é a mesma do caminhão agitador.	de centrais misturadoras. Ensaio de abatimento é necessário na descarga. São necessárias cuidadosas preparações em canteiros de obra para receber bem o concreto.
Caminhão transportador	Utilizado para transportar concreto em curtas distâncias.	O investimento na aquisição deste equipamento é bem menor quando comparado aos outros dois caminhões.	O abatimento do concreto deve estar entre certos limites. Há risco de segregação. Há necessidade de altura livre para a báscula no momento da descarga.
Grua	Ferramenta ideal para concretagem acima do piso.	Podem manusear o concreto, a armadura, a fôrma e outros itens em arranha-céus de concreto armado.	Tem unicamente um problema: há necessidade de planejar uma correta escala de operação para manter a grua ocupada.
Caçamba	Utilizada em guias e cabos aéreos para construção de edifícios e barragens. Conduz o concreto diretamente da central ao ponto de descarga na fôrma ou a um ponto secundário de descarga.	Aproveita toda a versatilidade das guias e cabos aéreos. Tem descarga limpa e larga gama de capacidades (volumes).	Seleção adequada do volume da caçamba para ser compatível com o volume do misturador e com a capacidade do equipamento de concretagem. As descargas devem ser controladas.
Carrinho e girica	Para curtas distâncias e no plano. Para todos os tipos de construção, especialmente onde o acesso à área de trabalho é restrita.	Muito versátil e ideal para interiores ou obras onde as condições de concretagem estão constantemente mudando.	Concretagens lentas e com intensivo uso de mão-de-obra.
Calha	São tubos inclinados ou feitos de madeira revestida com chapas, por onde desliza o concreto. Conduz o concreto a níveis mais baixos, geralmente abaixo do piso térreo, em todos os tipos de construção.	Baixo custo e de fácil manobra. Não requer energia, e a força da gravidade faz a maior parte do trabalho.	Requer declividades de 1:2 a 1:3, e as calhas devem ser adequadamente ancoradas em todas as posições. Requer planejamento do ponto de descarga para evitar segregação.
Esteira rolante	Para conduzir o concreto horizontalmente ou a vários níveis elevados. Usualmente utilizados entre o ponto secundário e o ponto principal de	Esteiras rolantes têm ajuste, desvios e velocidades variáveis tanto para frente quanto para trás. Pode concretar grandes volumes de concreto rapidamente, sendo ideal quando o acesso é difícil.	Requer planejamento do ponto de descarga para evitar segregação. Deve-se evitar deixar a argamassa na esteira de retorno. Em climas adversos, quentes com ventania e longos trechos, a esteira deve ser coberta.

	descarga. Não é adequado para conduzir o concreto diretamente à fôrma.		
Bombas	Utilizado para conduzir o concreto diretamente do ponto central de descarga à fôrma ou a um ponto secundário de descarga.	A tubulação ocupa pouco espaço e pode ser facilmente ampliada. Transfere o concreto de forma contínua. Caminhão com lança de concretagem pode mover o concreto vertical e horizontalmente.	É necessário um constante fornecimento de concreto fresco, plástico, com um certo intervalo de consistência e sem qualquer tendência à segregação. Cuidados devem ser tomados com a operação da tubulação e com a sua limpeza ao final da concretagem. Trecho vertical, com muitas curvas e através de tubos e mangotes flexíveis poderão reduzir consideravelmente a distância de bombeamento.
Tubos-calha	Utilizados para concretagens em todos os tipos de fôrmas verticais. Alguns são constituídos por apenas uma peça enquanto outros são formados por um conjunto de pequenos trechos de tubos.	Tubos-calha conduzem o concreto diretamente ao fundo das fôrmas sem segregação. Seu uso evita o vazamento e a deposição de nata, argamassa e concreto na superfície das fôrmas, o que é útil quando se trata de concreto aparente. Também evita a segregação de agregados graúdos.	Os tubos precisam ser suficientemente amplos, terem um funil na entrada onde o concreto possa ser descarregado sem perdas. A seção transversal do tubo deve ser tal que possa ser introduzido na fôrma sem interferir com a armadura.
Tremonha	Utilizados para concretagens submersas.	Podem ser utilizados para levar o concreto confinado num tubo, sob água, até uma posição final na fundação ou outra parte da estrutura que esteja sendo concretada.	Precauções especiais devem ser tomadas para assegurar que a ponta do tubo tremonha esteja sempre selada por um certo volume de concreto fresco. O diâmetro pode ser de 200 a 300mm. Concreto bombeado pode ser utilizado como fonte alimentadora do topo da tremonha (funil de coleta). O traço deve ter um maior consumo de cimento e um grande abatimento (150 a 230mm), porque o concreto deve fluir e se auto-adensar.

6.3.3 LANÇAMENTO

O concreto deve ser lançado o mais próximo possível da sua posição final, e o mais rápido possível após o amassamento. Não é permitido intervalo superior a 2 horas entre o final do amassamento e o lançamento, mas sempre mantendo-se o concreto sob agitação. Se for realizada agitação mecânica, esse intervalo deverá ser

contado a partir do final da agitação. Se forem utilizados retardadores de pega, o prazo poderá ser aumentado de acordo com as características do aditivo. De maneira nenhuma o lançamento poderá ser feito após o início da pega do concreto.

O lançamento do concreto deve se realizar em camadas sucessivas de altura aproximadamente igual a $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha do vibrador de imersão (item 6.3.4), o que geralmente varia de 35 a 50 centímetros. No caso de adensamento manual, a altura da camada não deve exceder 20 cm, para permitir um adensamento satisfatório.

A velocidade de lançamento deve ser rápida o suficiente para que a última camada adensada esteja ainda plástica quando a nova camada for lançada. Isso evita a formação de juntas frias, juntas de concretagem e planos de fratura, que apareceriam no caso de lançamento de concreto fresco sobre concreto já endurecido.

Na concretagem de peças altas, como pilares e paredes, deve-se tomar cuidado para que a altura de queda livre do concreto não ultrapasse 1,5 metros, o que ocasionaria a segregação dos agregados e incorporação de ar. Na maioria das obras, entretanto, esse cuidado não é tomado, e chega-se a permitira alturas de queda da ordem de 3 metros.

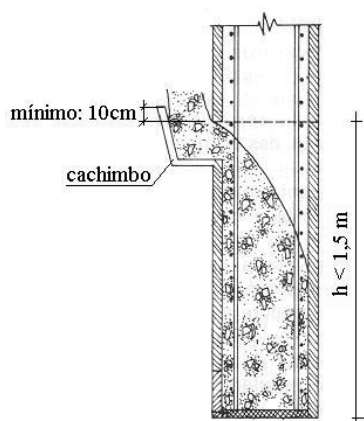


Figura 6.33 - Cachimbo para concretagens com altura superior a 1,5m

Para alturas superiores a 1,5 metros, o lançamento do concreto deve ser feito em etapas através de janelas abertas na parte lateral das formas, usando os chamados *cachimbos* (figura 6.33). Assim, a velocidade de queda do concreto é reduzida, afastando o risco de segregação.

Como alternativa, é possível simplesmente não posicionar uma das laterais da forma, o que facilita o adensamento subsequente do concreto.

Durante o lançamento do concreto em elementos verticais (pilares, paredes), a base da forma deve ser observada por um carpinteiro, buscando detectar fuga de nata de cimento pelas juntas. Caso isso seja constatado, o operário deve aplicar papel molhado (sacos de cimento) para impedir a continuação do vazamento.

No lançamento do concreto em elementos verticais, qualquer que seja a sua altura, não deve ser permitido o escorrimento do concreto pelas paredes da forma. Se isto ocorrer, haverá segregação, pois a argamassa desliza pela superfície da forma enquanto que os agregados desprendem-se e acumulam-se na base. Como consequência, observa-se forte segregação do concreto e ninhos de concretagem na base do elemento estrutural. Para evitar o contato do concreto com as formas durante o lançamento, pode-se dispor do uso de *tubo-calha* ou *tremonha*, como ilustra a figura 6.34.

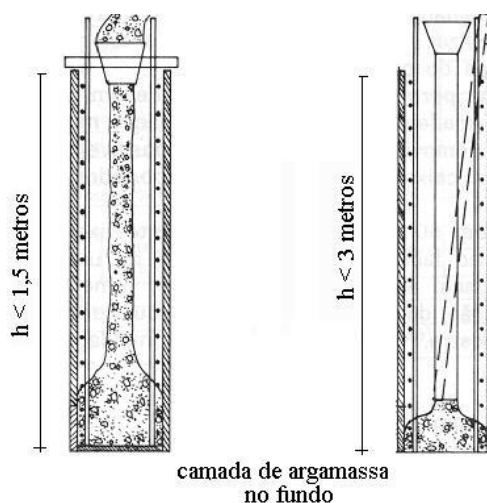


Figura 6.34 - Utilização de tubo-calha na concretagem de pilares

Na concretagem de pilares, recomenda-se o lançamento ou colocação, através da janela de limpeza, de certo volume de argamassa na base do pilar, correspondente a uma altura aproximada de 3 centímetros. O traço da argamassa deve ser o mesmo do concreto, retirando-se o agregado graúdo e parte da água de amassamento. Assim, pode-se obter um equilíbrio face à tendência dos agregados concentrarem-se nesse ponto.

Deve-se tomar cuidado com o lançamento do concreto em locais sujeitos à penetração de água, como é o caso de blocos de fundação e base de pilares em terrenos com nível do lençol freático elevado.

No caso de interrupção da concretagem, para prevenir fissuras no topo de pilares, recomenda-se suspender o lançamento quando o concreto atingir o nível do fundo das vigas ou lajes, retomando-se a concretagem no dia seguinte.

A interrupção da concretagem de pilares não requer cuidados especiais quanto ao posicionamento da junta e à retomada das operações de concretagem, apenas limpeza com água. No caso de elementos com função de estanqueidade (reservatórios, piscinas, etc.), deve ser removida a nata de cimento superficial da junta através de apiloamento manual ou mecânico, limpando-se e umedecendo-se antes da retomada da concretagem. O adensamento deve ser cuidadoso nesse ponto, para garantir a estanqueidade da junta.

A liberação do lançamento do concreto na obra, por parte do engenheiro responsável, só pode ser feita após a verificação das fôrmas e armaduras. Ao iniciar o lançamento, as superfícies das fôrmas devem estar devidamente preparadas. Devem ser removidos todos os materiais estranhos, como restos de arame provenientes da amarração das armaduras, areia ou serragem utilizadas no tamponamento das caixas elétricas, tocos de cigarro, etc. Se as fôrmas não forem cuidadosamente limpas, esses elementos estranhos incorporam-se ao concreto na camada de cobertura das armaduras, deixando-as suscetíveis ao ataque de agentes agressivos presentes no meio ambiente. A limpeza das fôrmas pode ser feita com jato de água, removendo os elementos estranhos pelas janelas convenientemente espaçadas que devem existir na base das fôrmas. A existência de janelas na base de fôrmas de elementos verticais é **essencial**. No momento do lançamento, as fôrmas de madeira absorventes devem estar saturadas com água, mas não pode haver acúmulo (água livre), pois haveria prejuízo ao concreto.

Antes da concretagem, o engenheiro responsável pela obra deve conferir a ferragem: diâmetro das barras, quantidade e posicionamento conforme o projeto estrutural, espaçamentos e cobrimentos (laterais e fundo das fôrmas).

Na concretagem de elementos horizontais (ex.: lajes), deve-se tomar alguns cuidados na concretagem. A prática comum de descarga de concreto em pontos aleatórios da laje para então ser transferido à posição definitiva é desaconselhável pois ocorre perda de argamassa, que fica aderida às armaduras e formas onde o concreto entrou em contato, favorecendo a segregação e a redução da trabalhabilidade. Além disso, nesses casos geralmente se observam grandes acúmulos de concreto em apenas alguns pontos, o que pode prejudicar as fôrmas, provavelmente não dimensionadas para suportar cargas concentradas elevadas. Assim, é importante que o concreto seja descarregado o mais próximo possível do local de aplicação.

Recomenda-se que os planos formados por juntas de concretagem em elementos horizontais sejam o mais verticais possível, para assegurar o perfeito adensamento do concreto nessas extremidades. No caso de elementos com função de estanqueidade (como lajes de fundo de reservatórios) esse procedimento deve ser rigorosíssimo. A retomada da concretagem deve ser precedida de remoção da nata de cimento através de apicoamento manual ou mecânico, limpeza e umedecimento do local. O adensamento do concreto novo junto ao antigo deve ser cuidadoso, para garantir a estanqueidade da junta.

6.3.4 ADENSAMENTO

O adensamento ou compactação do concreto tem por objetivo a expulsão de bolsas de ar retidas no seu interior após o lançamento, favorecendo o preenchimento das fôrmas, o contato com a armadura e o rearranjo interno dos agregados. O ar aprisionado dentro de um concreto não adensado pode variar de 5 a 20% do volume total. Na figura 6.35 observa-se que um volume de 5% de vazios no interior do concreto pode acarretar uma redução de 30% na sua resistência à compressão.

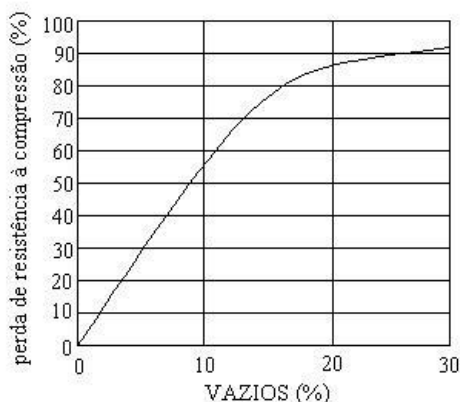


Figura 6.35 - Relação entre a perda de resistência à compressão e o teor de vazios no concreto

A operação de adensamento pode ser feita manual ou mecanicamente.

6.3.4.1 Adensamento manual

O adensamento manual é o método mais simples de compactação do concreto. É feito por socamento com uma barra metálica fina ou por meio de soquetes de madeira, fazendo com que o concreto ocupe todos os espaços vazios dentro da fôrma e entre as armaduras.

Nesse tipo de adensamento, a espessura de cada camada de concreto lançada não deve ser maior que 20 centímetros. Auxilia-se o adensamento com batidas de martelo nas formas (faces externas). O processo só é utilizado em peças de pequena importância, pequena espessura e pouca armadura.

6.3.4.2 Adensamento mecânico

O adensamento mecânico do concreto é o método mais empregado na grande maioria das obras, podendo ser feito por meio de **vibração** ou **centrifugação**.

A vibração, tanto interna (vibradores de imersão) quanto externa, é o método mais usado para adensar concreto, podendo os equipamentos serem elétricos, a combustão ou a ar comprimido. Além da desaeração, esse processo confere ao concreto uma maior fluidez sem aumento da quantidade de água, por reduzir o atrito entre as partículas do agregado gráúdo. O concreto mais fluido penetra em todos os vazios com maior facilidade. Dentre os dispositivos usados para vibrar o concreto, destacam-se o *vibrador de imersão (agulha)*, a *régua vibratória*, a *mesa vibratória* e o *vibrador de formas*.

O vibrador escolhido deve ser adequado às características do concreto. Além da frequência, as características de amplitude e potência devem ser consideradas na escolha. As frequências altas atuam sobre os grãos finos, enquanto que as baixas atuam sobre os agregados gráúdos: os agregados entram em ressonância com a fonte vibratória. Assim, dependendo do tamanho máximo do agregado, deve ser adequada a frequência do vibrador. Em geral, para os agregados comumente usados em elementos estruturais, a frequência oscila entre 3.000 e 12.000 r.p.m.. A amplitude e a potência do vibrador devem ser escolhidas em função do volume dos elementos: os vibradores de agulha de baixa potência são adequados para vigas, pilares, lajes, placas, etc. Quando não se emprega o vibrador adequado, pode resultar um concreto heterogêneo.

6.3.4.2.1 Vibrador de imersão (tipo agulha): Os vibradores internos ou de imersão, também denominados vibradores de agulha, são usados para adensar concretos em vigas, pilares, paredes e lajes. Os vibradores de mangote flexível normalmente consistem de uma agulha cilíndrica vibrante de 19 a 175 mm de diâmetro, conectada ao motor por uma tubulação flexível chamada *mangote*. Dentro da agulha, um peso não balanceado gira em alta velocidade, fazendo a mesma vibrar em uma órbita circular. Vibradores pequenos têm frequências variando de 10.000 a 15.000 vibrações por minuto e baixa amplitude. Para maiores diâmetros, a frequência diminui e a amplitude aumenta. A figura 6.36 representa de forma esquemática o que ocorre durante o adensamento do concreto com vibradores de alta frequência. A mistura é introduzida na fôrma. Com a imersão do vibrador, os agregados são movimentados para junto da face da fôrma, e a argamassa de cimento e areia começa a movimentar-se no sentido de dentro para fora. Há o acúmulo de bolhas de ar nas faces das fôrmas. A argamassa continua a mover-se por entre os agregados gráúdos direcionando-se para a face da fôrma. Completa-se o movimento da argamassa em direção à fôrma. Quando o operador movimenta o vibrador para cima e para baixo, as bolhas de ar movem-se para cima ao longo das faces das fôrmas e para fora do concreto.

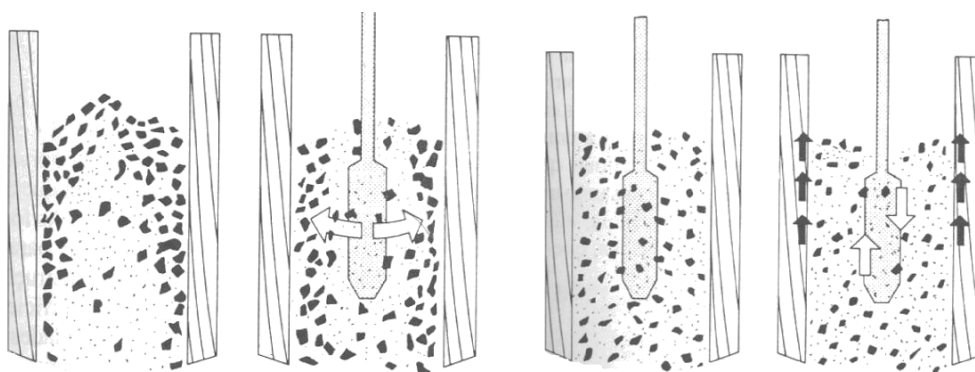


Figura 636 - Influência de vibrador de alta frequência no adensamento do concreto

Assim, um dos objetivos de se utilizar esse tipo de vibrador é forçar a saída do ar aprisionado no concreto pela introdução rápida do vibrador na mistura e saída lenta, com movimentos curtos para cima e para baixo. A penetração rápida obriga o concreto a movimentar-se para cima e para baixo, ajudando assim o ar a sair. Quando o vibrador é removido lentamente, o espaço ocupado pelo mesmo vai se fechando, expulsando o ar para a superfície. No adensamento com vibradores de imersão são necessários os seguintes cuidados:

- ◇ a camada de concreto a ser adensada deve ter altura correspondente a cerca de $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha do vibrador (cerca de 35 a 50 centímetros);
- ◇ o vibrador deve ser inserido no concreto na posição vertical ou inclinada, porém com inclinação nunca maior que 45°;
- ◇ em lajes, o vibrador deve ser inserido inclinado ou na posição horizontal, para que fique totalmente submerso no concreto;
- ◇ para que não se crie uma junta fria entre as camadas sucessivas de concreto, o vibrador deve penetrar na camada imediatamente inferior (de 2 a 5 centímetros) quando do adensamento da última camada lançada. É comum na superfície de elementos de concreto a existência de linhas demarcando as diversas camadas lançadas, devido à não adoção desse cuidado;
- ◇ dependendo do diâmetro da agulha, pode ser recomendado um distanciamento ideal entre os pontos de inserção do vibrador, em função do raio de ação do mesmo. Tais distâncias são mostradas na tabela 6.9 a seguir.

Tabela 6.9 - Distância aproximada entre pontos de penetração de vibradores de imersão

diâmetro da agulha (mm)	raio de ação (mm)	distância aproximada entre pontos de penetração (mm)
25	100	200
35	200	400
45	250	500
60	300	600
75	400	800
100	500	1000
140	850	1700

- ◇ a penetração do vibrador deve se dar sem esforço por parte do operário, somente pela ação do peso do vibrador. Somente nos casos em que o concreto for muito seco pode ser necessário um certo esforço para imersão;

- ◊ o vibrador nunca deve ser removido do concreto com o equipamento desligado, sob o risco de a cavidade deixada por ele não ser preenchida pelo material;
- ◊ o tempo de vibração ideal depende da consistência do concreto. Quando as bolhas de ar que afloram à superfície do concreto durante o adensamento se tornarem mais escassas, e quando a superfície se tornar brilhante, é sinal de que o vibrador pode ser retirado. De uma forma geral, esse tempo varia entre 5 e 15 segundos.

NOTA: Uma vibração prolongada é extremamente prejudicial ao concreto, pois provoca a separação entre os agregados e a argamassa. Pela ação da força da gravidade, os agregados deslocam-se para baixo e a argamassa para cima, resultando numa camada superficial de baixa resistência e num acúmulo de agregados na parte inferior da peça de concreto, geralmente na forma de bicheiras.

- ◊ a prática usual de adensar o concreto encostando-se o vibrador nas armaduras deve ser evitada. Essa prática geralmente é adotada em obra para auxiliar a penetração do concreto entre as armaduras, principalmente em elementos que tenham densidade de armadura muito alta. Entretanto, isso afeta a aderência entre o aço e o concreto, e na medida em que a vibração se propaga por toda a armadura, pode haver o deslocamento entre a mesma e o concreto já adensado;
- ◊ o deslocamento horizontal do vibrador deve ser evitado, ou seja, a troca de posição do vibrador deve ser feita pela retirada e posterior colocação do mesmo na posição vertical. Além disso, o vibrador não deve ser usado para transportar o concreto, procedimento normalmente observado nas obras para espalhamento do material depositado em grandes montes. Essa prática pode provocar forte segregação;
- ◊ deve ser evitada a penetração do mangote flexível do vibrador dentro do concreto, pois pode causar segregação do material.

6.3.4.2.2 Vibradores externos: São equipamentos fortemente fixados às partes externas das fôrmas, sendo comumente usados para adensar elementos de concreto de pequena espessura ou com armadura densa. As indústrias de pré-moldados geralmente usam mesas vibratórias equipadas com controles adequados para que a frequência e a amplitude possam ser alteradas de acordo com o tamanho do elemento e a consistência do concreto. Os vibradores de superfície, tais como régua vibratórias, são usados para adensar concretos em pisos e lajes com espessura maior que 150 mm.

6.3.5 CURA DO CONCRETO

O processo de cura do concreto tem a finalidade de manter a água de amassamento no interior do mesmo até que a hidratação do cimento tenha alcançado um desenvolvimento satisfatório. Durante esse período, o concreto deve ser protegido contra mudanças bruscas de temperatura, secagem rápida, exposição direta ao sol, chuvas fortes, agentes químicos, choques e vibrações que possam causar o aparecimento de fissuras na massa de concreto ou prejudicar sua aderência à armadura. Cabe lembrar que a resistência de um concreto aos 28 dias, curado com cuidados especiais, é 40% maior que a de um concreto curado ao ar (sem adoção de nenhum método de cura).

6.3.5.1 Procedimentos de cura

Existem várias maneiras de se fazer a cura do concreto. A escolha de um ou outro método depende do rigorismo desejado para a efetividade do trabalho, da viabilidade de implantação e o custo. Para tanto, devem ser avaliadas as condições locais e as características das peças a serem curadas (forma, dimensões e posição).

Os métodos mais empregados em obra para cura do concreto são: lâmina de água, camada de areia saturada, sacos de pano preenchidos com material úmido, sacos de pano úmidos, aspersão com água, membrana de cura e conservação das

fôrmas. Além desses métodos, existe também a cura à vapor, para peças avulsas de concreto.

- Lâmina de água: consiste em manter uma lâmina de água de 3 a 5 centímetros de espessura sobre a superfície do concreto. Esse método é geralmente adotado para cura de lajes, através de dispositivos que mantenham a água represada sem que ocorram vazamentos. É um método eficiente, devendo, porém, ser periodicamente verificado. Entretanto, torna impossível a realização de trabalhos sobre a laje durante todo o período de cura.
- Camada de areia saturada: consiste em depositar sobre a superfície do concreto uma camada de areia com espessura de 2 a 3 centímetros, que deve ser mantida saturada com água. É um método adaptável a qualquer formato e dimensões da laje a ser curada, permitindo a realização de trabalhos sobre a mesma durante o período de cura. Apresenta como inconveniente as operações de transporte (principalmente em prédios altos), colocação e retirada da areia, e a relativa vulnerabilidade à ação de ventos. Terminado o período de cura, recomenda-se deixar a areia secar naturalmente para só então removê-la. Dessa forma, o concreto seca lentamente.
- Camada de serragem saturada: idêntico ao método descrito anteriormente, esse emprega serragem saturada para a cura do concreto. A escolha entre um ou outro método depende da disponibilidade do material no local.
- Sacos de pano preenchidos com material úmido: consiste em depositar sobre a superfície do concreto sacos de pano (comumente empregados na armazenagem de cereais) preenchidos com areia ou serragem em quantidade suficiente para que formem uma camada de 2 centímetros de espessura quando na posição horizontal. As extremidades dos sacos devem ser costuradas, e os mesmos devem ser mantidos constantemente úmidos. É um método mais vantajoso que os anteriores, pois elimina os problemas relativos às operações de colocação e remoção de areia ou serragem, e não sofre a ação prejudicial de ventos. Após o período de cura, os sacos podem ser guardados ou utilizados para outros elementos. Esse sistema pode ser empregado tanto em elementos horizontais como verticais.
- Sacos de pano úmidos: consiste em dispor sobre a superfície do concreto panos que devem ser mantidos permanentemente úmidos. Como desvantagem, apresenta o risco de secar rapidamente dependendo do ambiente onde se encontra, exigindo constante verificação. Pode também ser deslocado sob a ação de ventos.
- Aspersão com água: consiste em aspergir água sobre a superfície do concreto durante o período de cura, deixando-a permanentemente saturada. É um sistema que deve ser evitado, já que o intervalo de tempo necessário entre molhagens sucessivas é escasso, e muitas vezes ocorre a secagem do material. A superfície do concreto, passando por ciclos úmido/seco, sofre elevadas tensões superficiais que podem levar à sua fissuração. A eficácia desse procedimento requer obrigatoriamente a aspersão ininterrupta de água na superfície do concreto, o que pode ser obtido, por exemplo, por meio de bicos aspersores.
- Membrana de cura: consiste em aplicar sobre a superfície do concreto certas emulsões aquosas, soluções resinosas ou parafínicas, através de pulverizadores ou rolo de pintura, formando uma película impermeável com vida útil de aproximadamente 3 a 4 semanas. Como desvantagem, apresenta a necessidade de remoção no caso de posterior revestimento da superfície de concreto.
- Conservação das fôrmas: consiste em manter as fôrmas constantemente saturadas durante todo o período de cura. As fôrmas atuam como proteção do concreto contra a evaporação, e podem ser consideradas como um sistema efetivo apenas nos casos em que a maior parte do concreto esteja coberta, como em pilares e vigas.

- Cura a vapor: consiste em submeter peças avulsas de concreto a um ambiente de vapor de água à temperatura de 70°C, sob pressão ou não, favorecendo o rápido endurecimento pela alta temperatura e manutenção do ambiente saturado. Após um dia de cura a vapor, as resistências podem se igualar às desenvolvidas aos 28 dias, sob cura úmida normal. É um processo bastante usual em indústrias de pré-moldados, onde o tempo é um fator importante. Geralmente resultam peças de alta qualidade.

6.3.5.2 Período de cura

O processo de cura deve iniciar tão logo seja possível. No caso de cura úmida, o momento de início pode ser avaliado pelo pressionar dos dedos na superfície do concreto: se não ficarem marcas, pode-se dar início ao processo de cura. Em casos desfavoráveis, como concreto exposto a forte aeração (locais com muita ventilação), a cura deve iniciar logo após o desempenho, antes mesmo do término da pega.

No caso de aplicação de membrana de cura, esta pode ser feita quando o concreto não mais apresentar sinais de água livre na superfície, ou seja, assim que perder o brilho superficial característico. Em superfícies verticais (faces laterais de vigas, pilares e paredes), obviamente a aplicação da membrana deve iniciar após a retirada das fôrmas.

A duração do período de cura depende da velocidade com que ocorrem as reações de hidratação do cimento. Normalmente, adota-se como duração mínima o tempo necessário para obter 70% da resistência especificada em projeto. A tabela 6.10 a seguir apresenta os tempos mínimo e ideal em função do cimento utilizado no concreto, para realizar-se a cura de maneira contínua.

Tabela 6.10 - Períodos de cura

	tempo mínimo de cura	tempo ideal de cura
Cimento Portland Comum	7 dias	14 dias
Cimento Portland Pozolânico	14 dias	30 dias