

## 10. SAPATAS DE FUNDAÇÃO

CEB 70  
Bol. 73

Fonte: CEB - Comité Euro-International du Béton -  
Boletim nº 73 - Fascículo 4.

### 10.1. DOMÍNIO DE APLICAÇÃO

O método de cálculo exposto neste capítulo refere-se a sapatas e blocos que apresentam as características geométricas definidas nas fig. 10.1 e 10.2.

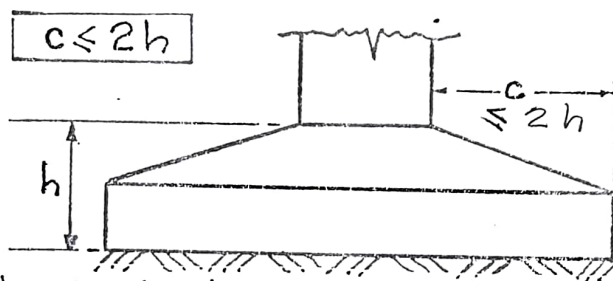
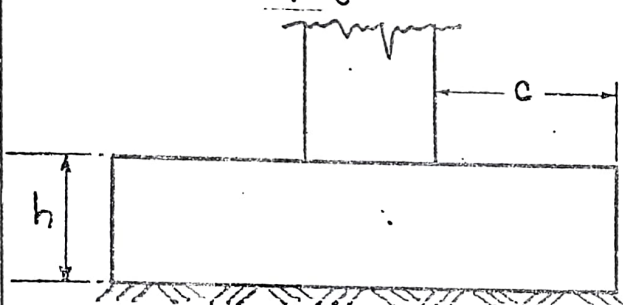


Fig. 10.1. Sapatas de fundação direta.

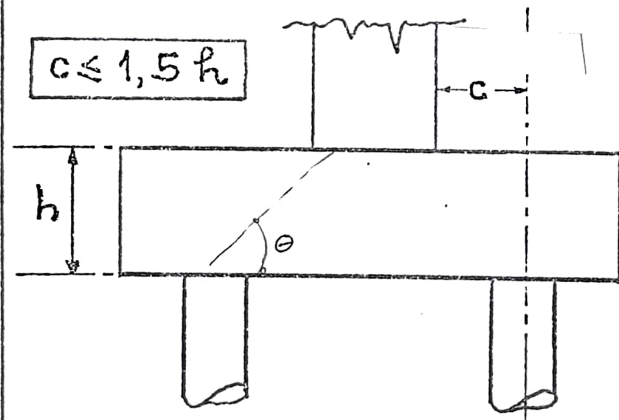


Fig. 10.2. Sapata sobre duas estacas verticais.

A altura da sapata pode ser linearmente decrescente, da face do pilar ou da parede até a extremidade livre da sapata, desde que as condições de resistência ao esforço cortante sejam verificadas em todas as seções e que o revestimento seja suficiente nas zonas de ancoragem.

Se as condições geométricas previstas acima não forem satisfeitas, a sapata pode ser considerada como viga ou como placa, e calculada de acordo com a teoria corresp.

Também devemos ter:

$$c \geq h/2$$

Se a aba  $c$  da sapata for inferior, em qualquer direção, à metade da altura  $h$ , admite-se que se trata de um bloco de fundação, e as recomendações deste capítulo não são aplicáveis.

### 10.2. BASES DO CÁLCULO.

Admite-se que o comportamento do solo seja elástico e que a estabilidade seja assegurada unicamente pelas forças elásticas que ele transmite à sapata através da superfície de apoio. Resulta daí que a distribuição das tensões devidas às reações do solo sobre a superfície de apoio da sapata é plana (fig. 10.3).

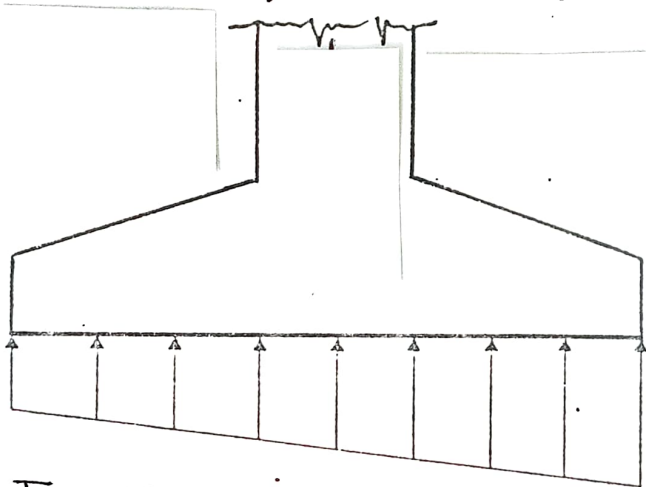


Fig. 10.3

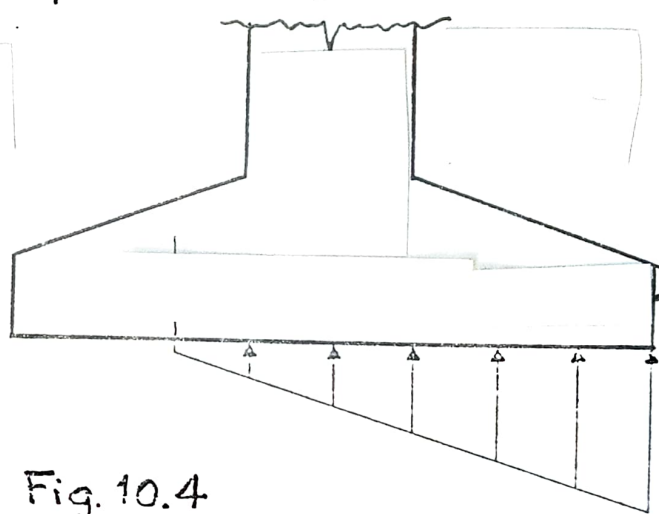


Fig. 10.4

Se o sistema de forças externas aplicadas à sapata não pode ser equilibrado sem fazer aparecer tensões de tração na superfície de apoio, pode-se admitir a distribuição de tensões representada na fig. 10.4.

Para as sapatas sobre estacas, pode-se supor que a estabilidade seja assegurada pela resistência das estacas à tração, desde que a força de tração seja equilibrada com segurança, levando em conta o peso próprio da estaca, sua resistência ao arrancamento, a seção

de sua armadura longitudinal e a eficiência da ancoragem desta armadura na sapata.

Admite-se que o equilíbrio das ações horizontais que eventualmente solicitem a sapata seja assegurado unicamente pelas forças de atrito desenvolvidas entre a superfície de apoio da sapata e o solo.

Não se admite que as forças de atrito possam reduzir a força de tração na armadura principal da sapata.

### 10.3. DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA INFERIOR.

#### 10.3.1. Seção de referência $S_1$ -

O momento fletor que determinará a armadura inferior é calculado em relação a uma seção de referência  $S_1$ , definida da maneira seguinte: ela é plana, normal à superfície de apoio, e afeta a totalidade da sapata, está situada entre as faces do pilar ou da parede, a uma distância da face igual a  $0,15a$ , onde  $a$  designa a

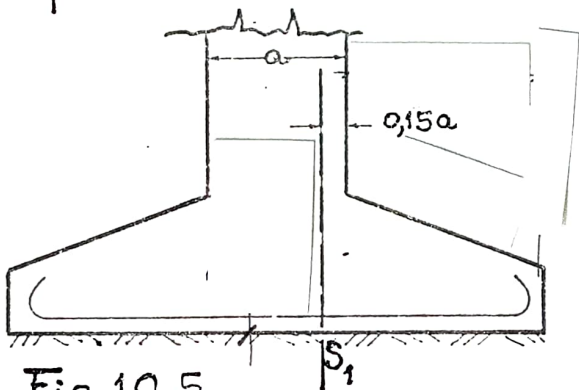


Fig. 10.5

medida no sentido perpendicular à seção considerada (fig. 10.5) dimensão do pilar ou da parede

medida no sentido perpendicular à seção considerada (fig. 10.5)

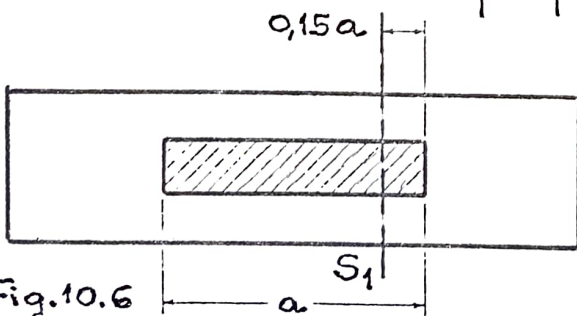


Fig. 10.6

Esta recomendação deve-se ao fato de que, no caso de pilares de seção alongada (fig. 10.6), o valor do momento pode crescer sensivelmente além da seção situada na face do pilar ou da parede.



A altura útil  $d$  da seção  $S_1$  é tomada igual à altura útil da seção paralela a  $S_1$  e situada na face do pilar ou da parede, salvo se esta altura exceder 1,5 vezes a aba  $c$  da sapata, medida perpendicularmente a  $S_1$ . Neste último caso, a altura útil deve ser limitada a  $1,5c$ :

$$d_1 = d \leq 1,5c.$$

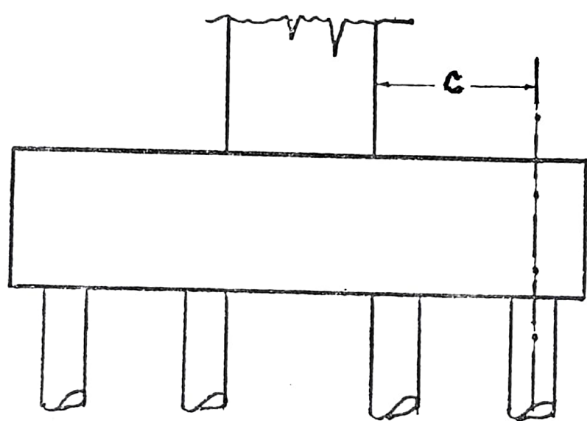


Fig. 10.7

No caso de sapatas sobre estacas, a aba  $c$  é avaliada a partir do eixo da estaca mais afastada da face do pilar ou da parede (fig. 10.7).

### 10.3.2. Área da seção transversal da armadura inferior.

O momento fletor relativo a uma seção de referência  $S_1$  é o momento calculado levando em conta a totalidade das reações do solo ou das estacas agindo sobre a parte da sapata limitada por essa seção e que não é atravessada pelo eixo do pilar ou pelo plano médio da parede paralelo a  $S_1$  (fig. 10.8).

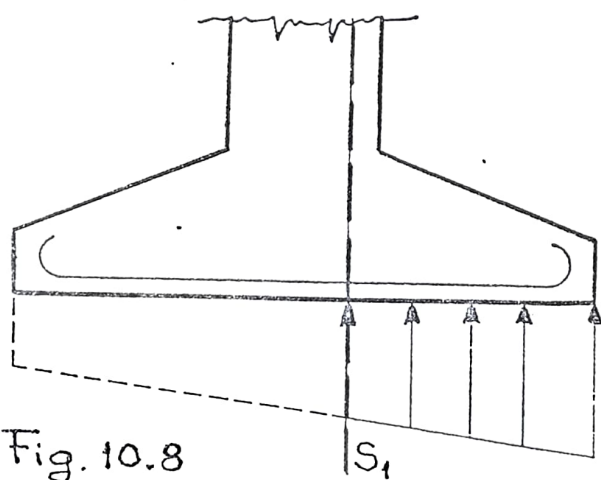


Fig. 10.8

O cálculo da área da seção da armadura que atravessa  $S_1$  é feito como nas vigas submetidas à flexão simples, a partir das características geométricas da seção de referência  $S_1$ , definidas no item anterior, e do momento fletor que a solicita.

O cálculo da área da seção da armadura que atravessa  $S_1$  é feito como nas vigas submetidas à flexão simples, a partir das características geométricas da seção de referência  $S_1$ , definidas no item anterior, e do momento fletor que a solicita.

No caso de a armadura inferior não ser normal à seção de referência  $S_1$ , sua participação na resistência aos momentos fletores deve ser avaliada segundo as recomendações referentes às lajes.

De uma maneira geral, o momento fletor que pode equilibrar sob resistência de cálculo uma das seções de referência não deve ser inferior a um quinto do momento ao qual pode resistir a seção de referência perpendicular.

No caso de rede ortogonal de armaduras, a relação das áreas das seções transversais das barras, correspondentes a cada direção, deve ser, pelo menos, igual a  $1/5$ .

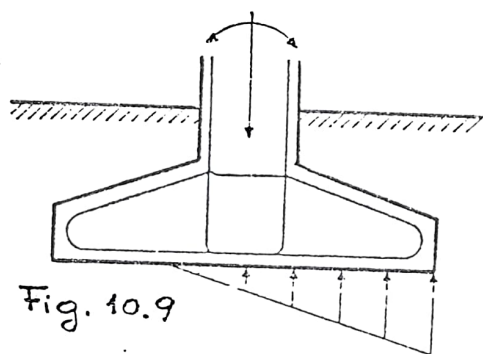


Fig. 10.9

Se o peso próprio da sapata e o peso da terra que fique por cima dela forem levados em conta na determinação das reações do solo, seus efeitos devem ser reti-

radados na avaliação dos momentos; se o momento fletor que resultar dessa operação for negativo, a sapata deverá ser munida, na sua parte superior, de uma armadura capaz de o equilibrar. (fig. 10.9).

#### 10.4. DISPOSIÇÃO DA ARMADURA INFERIOR.

##### 10.4.1. Regra geral.

Em todos os casos, a armadura inferior, cuja seção é definida de acordo com o parágrafo precedente, deve ser prolongada sem redução de seção sobre toda a extensão da sapata.

10.4.2. Sapatas de fundação direta.

Se a superfície de apoio da sapata é quadrada, a armadura pode ser uniformemente repartida, paralelamente aos lados do quadrado. Um acréscimo de resistência ao es-

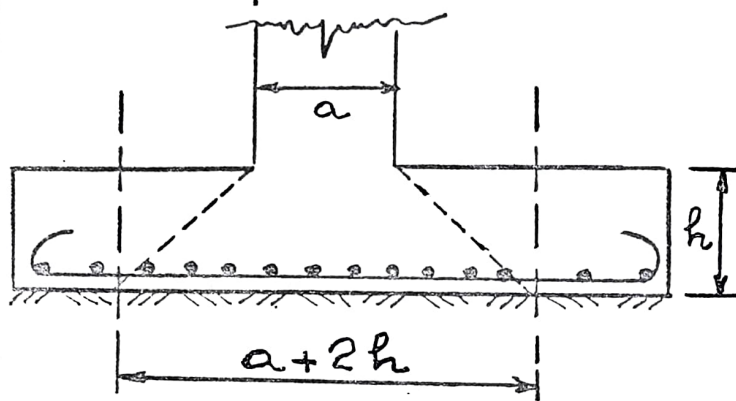


Fig. 10.10

forço cortante pode ser procurado nas sapatas-placas, localizando uma maior densidade de armadura nas faixas paralelas aos lados do quadrado, cen-

tradas sob o pilar, e de largura  $a+2h$  (fig. 10.10).

Nas sapatas de base retangular, a armadura paralela ao lado maior, de comprimento  $a'$ , deve ser uniformemente distribuída sobre a largura  $b'$  da sapata (fig. 10.11).

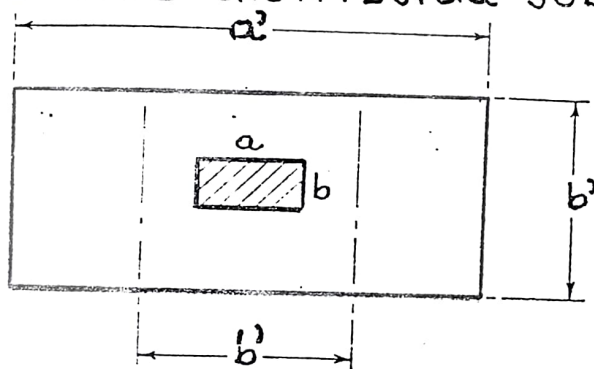


Fig. 10.11

$$b' \geq a + 2h$$

$$A_s \cdot \frac{2b'}{a' + b'} \text{ na faixa central de largura } b'$$

A armadura paralela ao lado menor  $b'$  deve ser colocada de modo que uma fração da seção total  $A_s$ , igual a  $\frac{2b'}{a' + b'}$ , fique situada numa faixa central sob o pilar e de largura igual a  $b'$  (fig. 10.11).

Em tudo o que precede,  $(a+2h)$  deve substituir  $b'$  se  $(a+2h)$  for superior a  $b'$  (fig. 10.12):



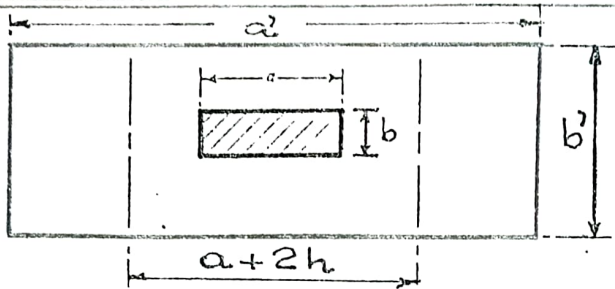


Fig. 10.12

$b' < (a+2h)$   
 $A_s \cdot \frac{2(a+2h)}{a'+a+2h}$  na faixa central  
 de largura  $(a+2h)$ .

Se a aba  $\underline{c}$  da sapata não exceder a altura  $h$ , a armadura inferior deve ser totalmente ancorada na vizinhança imediata da borda da sapata (fig. 10.13); o comprimento de ancoragem deve ser medido a partir da extremidade da parte retilínea das barras.

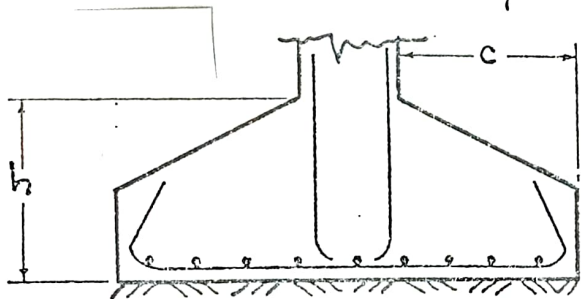


Fig. 10.13

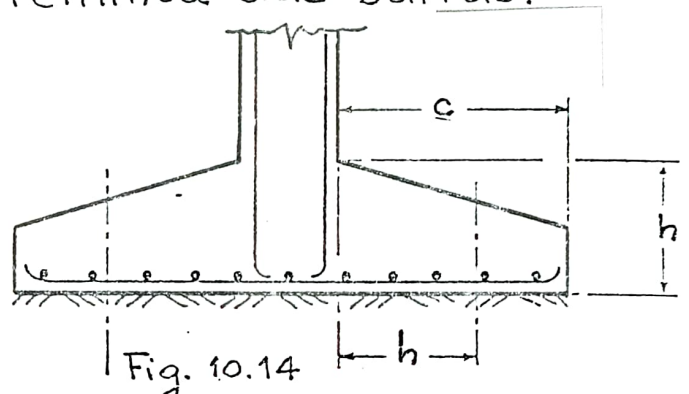


Fig. 10.14

Se a aba  $\underline{c}$  da sapata exceder a altura  $h$ , a armadura inferior deve ser totalmente ancorada além da seção situada à distância  $h$  da face do pilar (fig. 10.14).

Em nenhum caso a armadura pode ser parada antes de ter atingido a borda da sapata, como se viu em 10.4.1.

### 10.4.3 - Sapatas sobre estacas -

#### 10.4.3.1 - Sapata sobre duas estacas -

A armadura inferior deve ser prolongada sem redução de seção ao longo de todo o comprimento da sapata; ela deve ser, ainda, ancorada além do plano vertical do eixo das estacas para um esforço de tração igual a 0,8 do

esforço máximo para o qual ela foi calculada (fig. 10.15).  
(Ou seja, o comprimento de ancoragem será  $0,8l_b$ ).

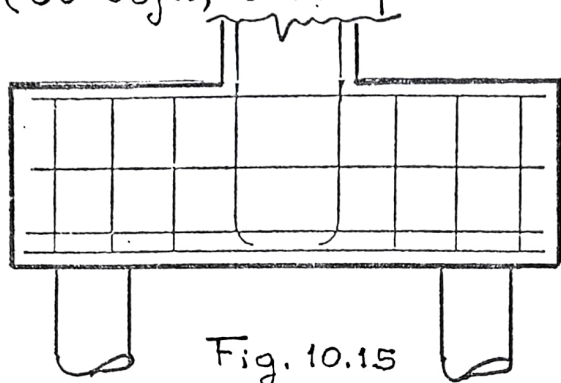


Fig. 10.15

Esta recomendação está de acordo com aquela referente à disposição da armadura principal das vigas-parede.

A armadura inferior pode

ser disposta em várias camadas e a qualidade da ancoragem pode ser melhorada enlaçando a armadura horizontal além das estacas (fig. 10.16).

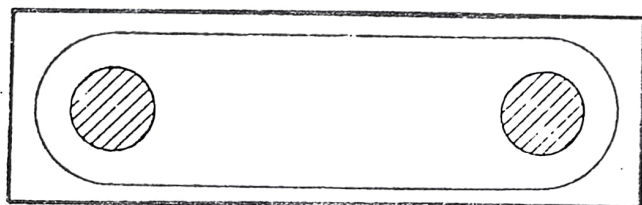


Fig. 10.16

Há também armaduras secundárias, como será visto no item 10.7.

#### 10.4.3.2 - Caso geral.

A armadura inferior requerida para equilibrar o momento pode ser em parte constituída por barras localizadas em faixas axiais em relação às estacas.

As disposições de armação exemplificadas nas figuras 10.17 a 10.19 podem ser adotadas no caso em que as estacas são dispostas segundo os vértices de um polígono

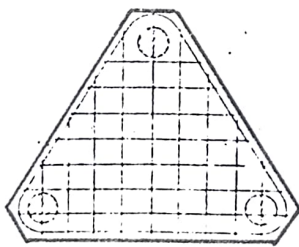


Fig. 10.17

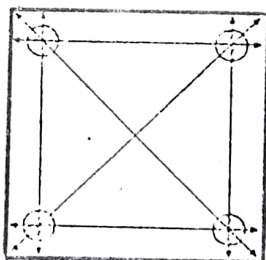


Fig. 10.18

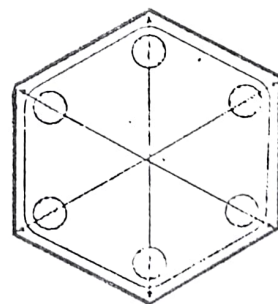


Fig. 10.19



regular centrado em relação ao eixo do pilar.

Em todos os casos a armadura deve ser disposta de maneira que sejam satisfeitas as condições de ancoragem além das estacas periféricas. Pode-se considerar que isto se dá quando a armadura inferior que atravessa a superfície cilíndrica circular axial sobre a estaca, e cujo raio é igual a 3 vezes o raio da estaca, pode equilibrar sob tensão de cálculo uma força de tração igual a 0,8 da reação da estaca; nesta avaliação, só as barras totalmente ancoradas além do plano axial da estaca que é perpendicular a elas podem ser consideradas (fig.10.20)

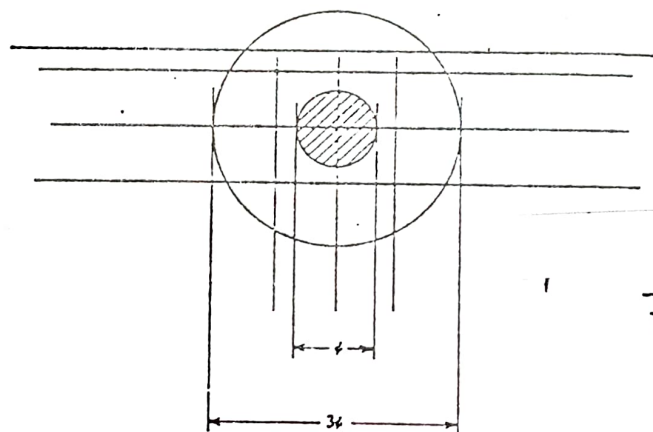


Fig. 10.20.

### 10.5 - CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA DA ARMADURA INFERIOR NAS SAPATAS DE FUNDAÇÃO DIRETA.

Definições:

$V_{1d}$  = esforço cortante de cálculo relativo à seção de referência  $S_1$  (por unidade de largura);

$n$  = número de barras por unidade de largura;

$\phi$  = diâmetro da barra de aço.

A relação a verificar é:

$$V_{1d} \leq 0,9 d \cdot n \pi \phi \cdot \tau_{bu}$$

onde  $\tau_{bu} = 1,6 (f_{cd})^{2/3}$  (em kgf/cm<sup>2</sup>)

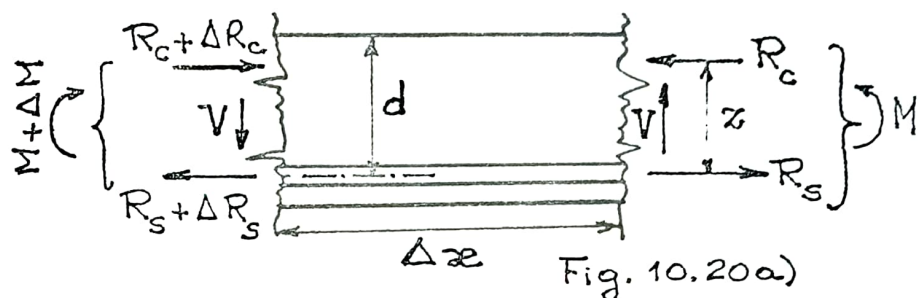
para barras de alta aderência (NB-1).

É uma condição para não haver escorregamento das barras.

Dedução:

$$\Delta R_s = \frac{\Delta M}{z};$$

$$\Delta R_s = \tau_b \cdot u \cdot \Delta x$$



onde  $\tau_b$  é tensão de aderência e  $u$  é o perímetro =  $n \cdot \pi \phi$

$$\tau_b \cdot u \cdot \Delta x = \frac{\Delta M}{z}; \quad \tau_b = \frac{\Delta M}{u \cdot z \cdot \Delta x};$$

$$\tau_{bu} = \frac{1}{u z} \cdot \frac{\Delta M_d}{\Delta x} = \frac{1}{u z} \cdot V_{1d} \approx \frac{V_{1d}}{n \cdot \pi \phi \cdot 0,9 d};$$

$$\therefore V_{1d} = 0,9 d \cdot n \pi \phi \cdot \tau_{bu}$$

## 10.6. RESISTÊNCIA AO ESFORÇO CORTANTE.

### 10.6.1. Esforço cortante de referência -

O esforço cortante de referência  $V_d$  é igual à componente normal à superfície de apoio da resultante das forças aplicadas sobre uma ou outra das partes da sapata limitadas pela seção de referência  $S_2$ , definida no parágrafo seguinte.

No caso de sapata suportando uma parede, o esforço cortante de referência é computado por unidade de largura da sapata.

### 10.6.2. Seção de referência $S_2$ -

#### 10.6.2.1. Caso geral -

A seção de referência  $S_2$  é perpendicular à superfície de apoio da sapata de fundação direta: sua largura  $b_2$  é dada por:

$$b_2 = b + d$$

( $S_2$  fica a  $d/2$  da face do pilar)  
(exceto nos casos dos § seguintes)

onde  $b$  designa a dimensão do pilar medida segundo a horizontal paralela à seção  $S_2$  e  $d$  é a altura útil da sapata avaliada junto ao pilar (fig. 10.21).

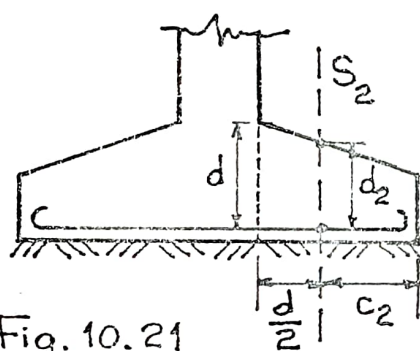
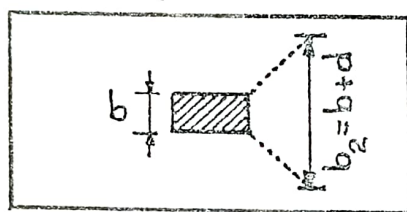


Fig. 10.21

No caso em que a superfície de apoio da sapata e a seção transversal do pilar são quadradas ou circulares, concêntricas e uniformemente carregadas, as características da seção de referência  $S_2$  são tais que conduzem às mesmas disposições previstas nas recomenda-

ções para as superfícies de punção das lajes; mas, no caso de sapatas de forma alongada, submetidas a reações não uniformes do solo, não se pode mais admitir que o valor médio da tensão de cisalhamento ao longo da superfície de punção seja suficientemente representativo da função de resistência.

No caso de sapata sob parede, a largura  $b_2$  é tomada igual à unidade de largura da sapata, para a qual é avaliado o esforço cortante de referência  $V_d$ .

A altura útil  $d_2$  da seção de referência  $S_2$  é igual à altura útil da sapata medida na seção  $S_2$  considerada; se essa altura  $d_2$  exceder 1,5 vezes a aba  $c_2$  da sapata,



medida a partir dessa seção  $S_2$ , a altura  $d_2$  fica limitada a  $1,5 c_2$ :  $d_2 \leq 1,5 c_2$ .

No caso de sapata sobre estacas, a aba  $c_2$  é a distância entre a seção  $S_2$  e o eixo da estaca mais afastada (fig. 10.22).

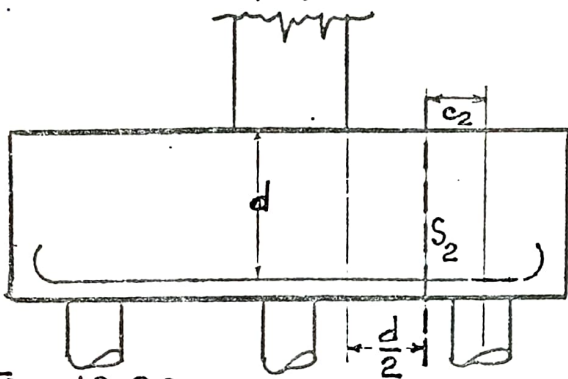


Fig. 10.22

A seção  $S_2$  é externa ao pilar e fica situada a uma distância da face dele igual à metade da altura útil  $d$  da sapata, medida junto à face do pilar, salvo nos dois

casos expressamente visados nos parágrafos seguintes.

#### 10.6.2.2 - Caso das sapatas alongadas.

Consideram-se alongadas as sapatas tais que a aba  $c$ , medida a partir da face do pilar, excede 1,5 vezes a largura  $b'$  da sapata, medida perpendicularmente a essa aba (fig. 10.23).

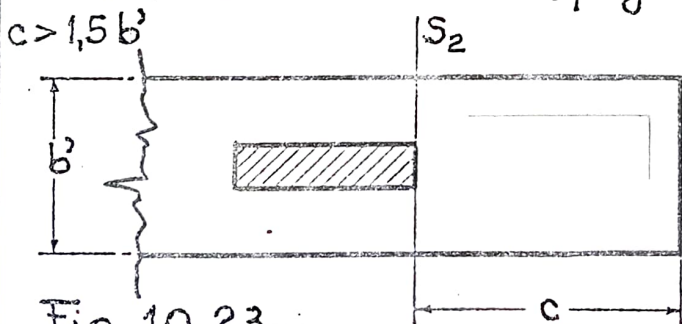


Fig. 10.23

Neste caso, a seção de referência  $S_2$ , relativa ao esforço cortante  $V_d$ , fica situada na face do pilar, perpendicular à direção de  $c$ .

#### 10.6.2.3 - Caso das sapatas sobre estacas vizinhas ao pilar.

Este caso refere-se a sapatas repousando sobre estacas e tais que uma ou várias estacas fiquem situadas a uma distância da face do pilar inferior à

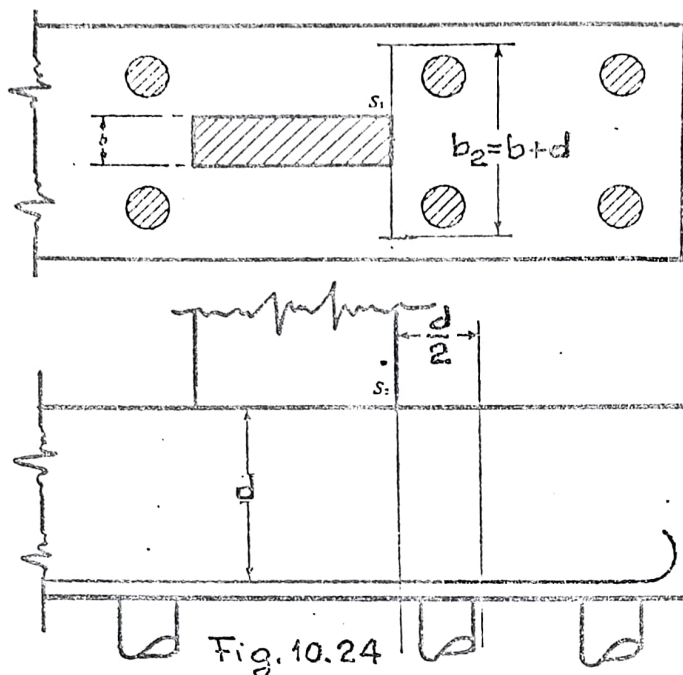


Fig. 10.24

à metade da altura útil  $d$  da sapata (fig. 10.24). Neste caso, também a seção de referência  $S_2$  fica situada junto à face do pilar (fig. 10.24).

### 10.6.3 - Esforço cortante limite -

#### 10.6.3.1 - Caso das sapatas de fundação direta -

Na seção de referência  $S_2$ , o esforço cortante não deve ultrapassar os valores seguintes:

$$V_{d,lim} = \frac{15 b_2 d_2 \sqrt{\rho} \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} \rightarrow \text{muito rigoroso}$$

(com  $f_{ck}$  em  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )

$$V_{d,lim} = \frac{1,5 b_2 d_2 \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} \quad (V_{d,lim} \text{ em kgf})$$

onde  $\rho$  é a taxa de armadura longitudinal na seção de referência  $S_2$ :  $\rho = \frac{A_s}{b_2 d_2}$

sendo  $A_s$  a área da seção da armadura longitudinal correspondente à largura  $b_2$  da seção  $S_2$ .

O segundo limite, que resulta do primeiro colocando  $\rho = 0,01$ , é indicado por razões de prudência, porque não se dispõe de resultados de ensaio em sapatas com  $\rho > 1\%$ . As porcentagens mais elevadas não são freqüentes, mas, quando for o caso, o critério de aderência do item 10.5 torna-se decisivo.

Os valores de  $V_{d,lim}$  podem ser majorados quando se dispuser de armadura de cisalhamento.

### 10.6.3.2 - Caso de sapatas sobre estacas -

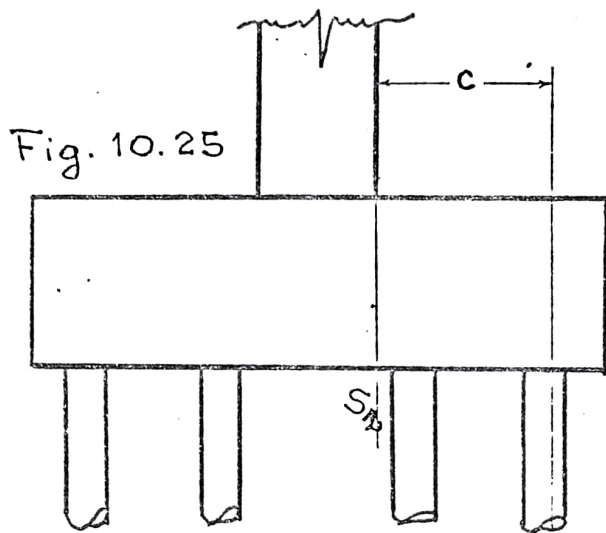


Fig. 10.25

O esforço cortante  $V_d$  de referência, avaliado na seção de referência  $S_2$  definida acima, deve ser inferior ou no máximo igual ao esforço cortante limite  $V_{d,lim}$  dado pela relação:

$$V_{d,lim} = \frac{2,5}{\gamma_c} \left(1 - \frac{c}{5d}\right) b_2 d_2 \sqrt{f_{ck}} \quad \begin{array}{l} \text{(com } f_{ck} \text{ em kgf/cm}^2\text{)} \\ \text{( } V_{d,lim} \text{ em kgf)} \end{array}$$

onde  $b_2$ ,  $d$  e  $d_2$  têm o significado dado no item 10.6.2 e  $c$  é a aba da sapata, medida a partir do eixo da estaca mais afastada da seção de referência  $S_2$ .

### 10.6.4 - Resistência local ao esforço cortante -

A resistência ao esforço cortante deve ser verificada em qualquer seção da sapata onde as características geométricas da seção e a intensidade ou a localização das reações podem provocar circunstâncias mais desfavoráveis que aquelas relativas às seções de referência; pode ser assim, em particular, na vizinhança das estacas de canto das sapatas.

Neste caso, o esforço cortante que solicita a seção é igual à reação  $R_d$  da estaca de canto.

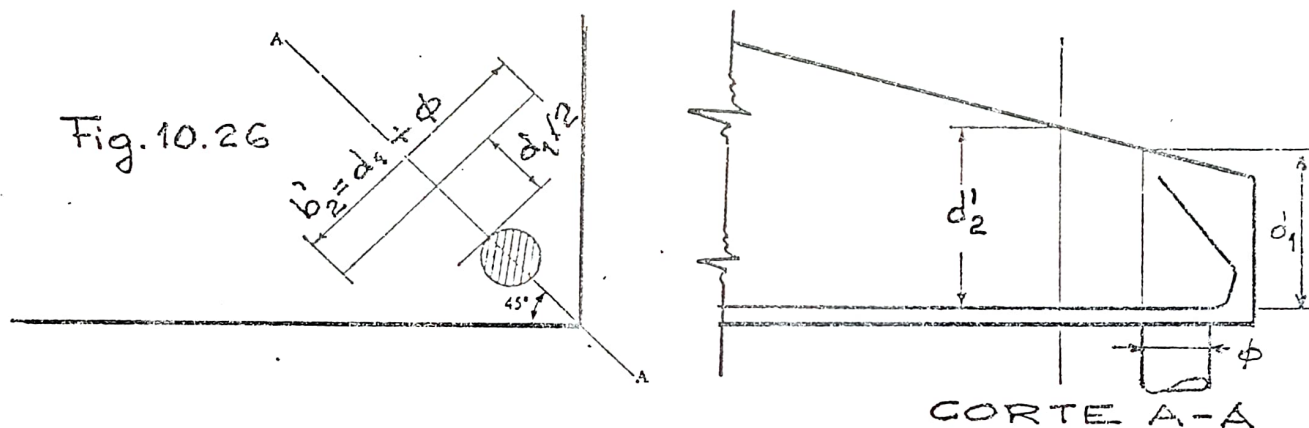
A seção que deve ser objeto de uma verificação ao



esforço cortante fica situada a uma distância da face da estaca igual à metade da altura útil  $d_1$  da sapata, medida junto à face da estaca; sua largura  $b'_2$  é igual à altura útil  $d_1$  acrescida da largura (diâmetro) da estaca; sua altura útil  $d'_2$  é a altura útil efetiva da seção  $S'_2$  assim definida.

A reação  $R_d$  da estaca deve ser no máximo igual à reação limite  $R_{d,lim}$  definida pela relação:

$$R_{d,lim} = \frac{1,2}{\gamma_c} b'_2 d'_2 \sqrt{f_{ck}} \quad \begin{array}{l} \text{(com } f_{ck} \text{ em kgf/cm}^2\text{)} \\ \text{(} R_{d,lim} \text{ em kgf)} \end{array}$$



O caso abordado neste item não se aplica às sapatas sobre duas estacas.

### 10.7. ARMADURAS SECUNDÁRIAS.

Em princípio, armaduras secundárias repartidas horizontal e verticalmente não são exigidas, salvo no caso das sapatas sobre duas estacas.

Uma sapata sobre duas estacas deve ser munida:

- na parte superior, de uma armadura longitudinal, estendida sobre todo o comprimento da sapata, e cuja seção transversal não deve ser inferior a 0,1 da seção da armadura longitudinal inferior;

• nas faces, de uma rede de armaduras verticais e horizontais: a armadura vertical é constituída por estribos formando enlaçamento das barras longitudinais superiores e inferiores, a armadura horizontal por estribos enlaçando a armadura vertical (fig. 10.27).

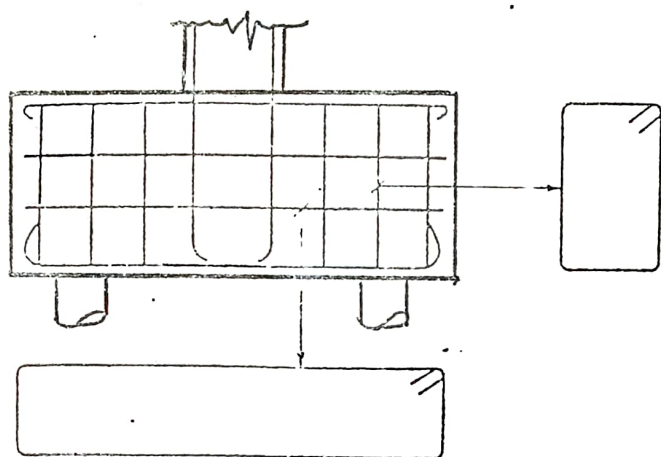


Fig. 10.27

A seção de uma barra da rede, em  $\text{cm}^2$ , é dada por:

$$A = 0,0025 b' t$$

no caso de barras lisas

$$\text{e } A = 0,0020 b' t$$

no caso de barras de alta aderência.

Nestas expressões,  $b'$  designa a largura da sapata, em cm, e  $t$  o espaçamento das barras da rede, em cm. Se a largura  $b'$  exceder a metade da altura total  $h$  da sapata,  $b'$  deve ser substituído por  $h/2$  nas expressões precedentes.