

INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense

Câmpus
Passo Fundo

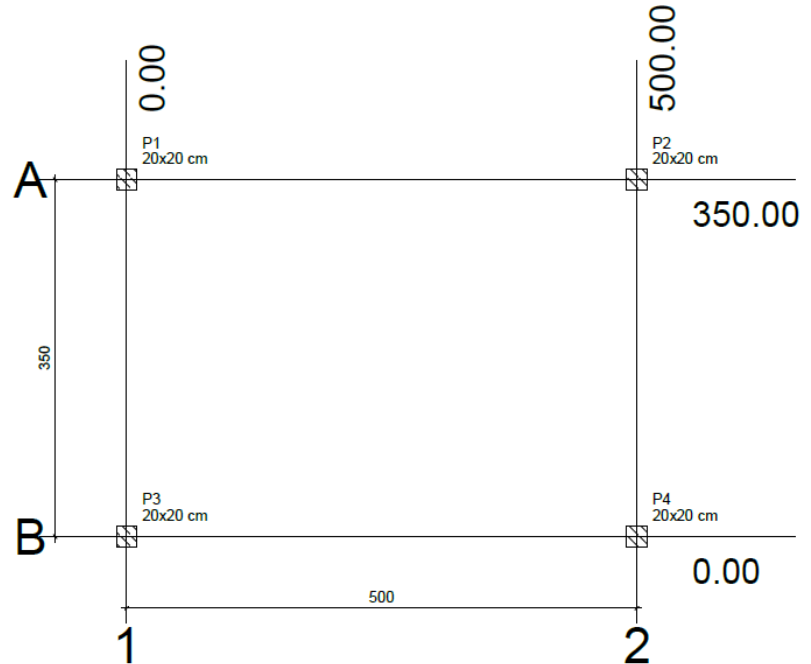
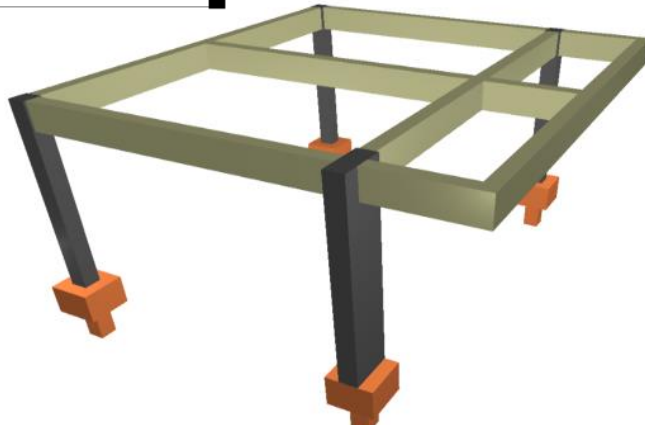
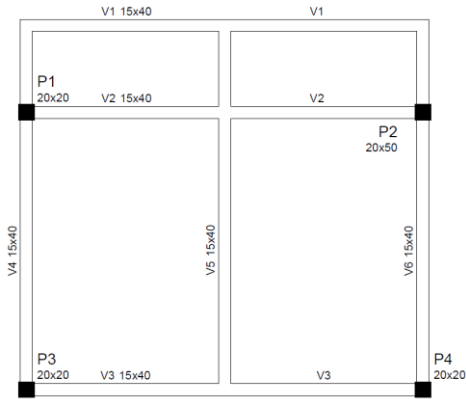
EDUCAÇÃO
PÚBLICA
100%
GRATUITA

Estrutura de concreto armado III

Unidade IV - Elementos complementares em concreto armado
4.5 Sapatas



Planta de cargas



Planta de cargas

Nome	Seção (cm)	X (cm)	Y (cm)	Carga Máx. (tf)	Carga Min. (tf)	Pilar							
						Mx Máximo (kgf.m)		My Máximo (kgf.m)		Fx Máximo (tf)		Fy Máximo (tf)	
						Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
P1	20x20	0.00	350.00	1.9	1.6	100	0	0	-300	0.0	-0.3	0.0	0.0
P2	20x20	500.00	350.00	1.9	1.6	100	0	200	0	0.2	0.0	0.0	0.0
P3	20x20	0.00	0.00	1.0	0.7	0	0	0	-100	0.0	-0.1	0.1	0.0
P4	20x20	500.00	0.00	1.0	0.7	0	0	200	0	0.2	0.0	0.1	0.0



- Blocos de concreto simples
- Sapatas
- Estacas
- Blocos
- Vigas de equilíbrio
- Radiers
- Tubulões



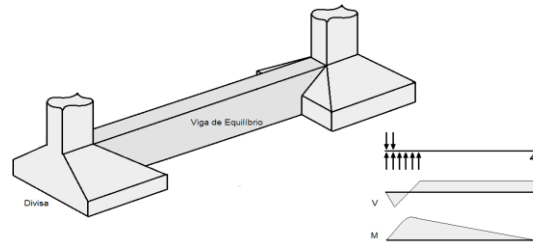
https://fotos.habitissimo.com.br/foto/blocos-e-vigas-alavancas-concretadas_1474071



<https://engenhariaconcreta.com/sapatas-isoladas-processo-executivo-e-dicas-importantes/>



https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/radier-de-concreto-e-solucao-de-fundacao-rasa-para-varios-tipos-de-solo_17269_10_0



SOLO

X

CONCRETO



SOLO

X

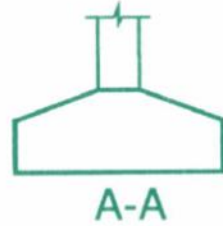
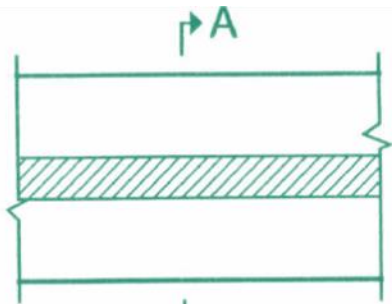
CONCRETO

NBR 6122 – 2022
Projeto e execução
de fundações

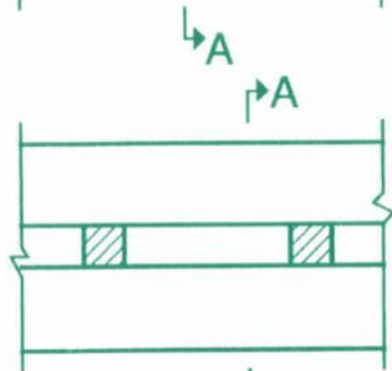
NBR 6118 – 2024
Projeto de estruturas
de concreto



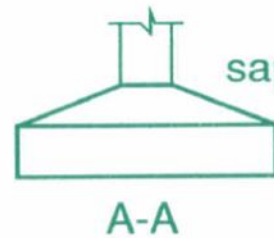
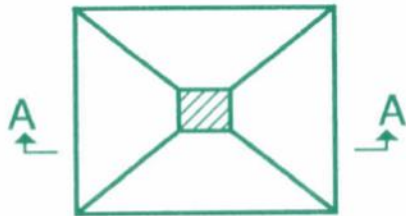
Tipos usuais de sapatas



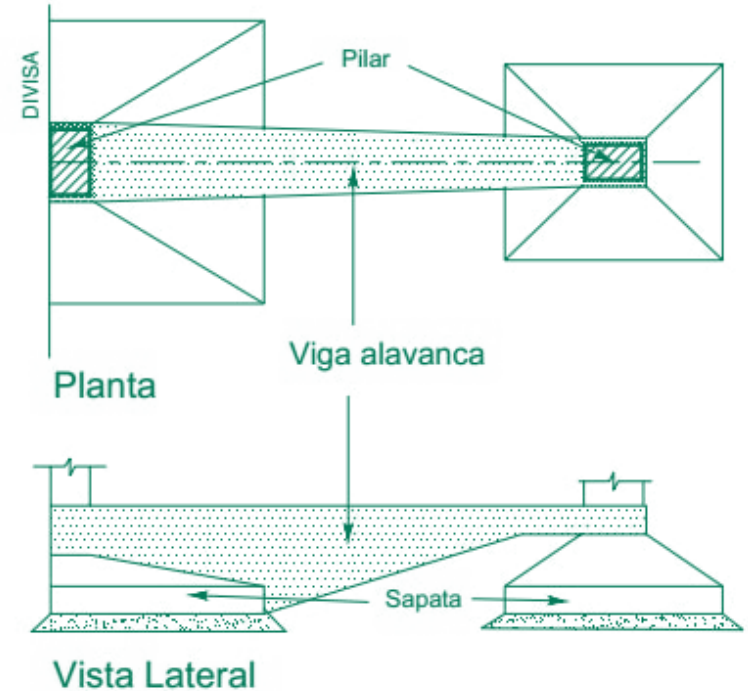
sapata corrida
sob parede



sapata contínua
sob pilares



sapata isolada



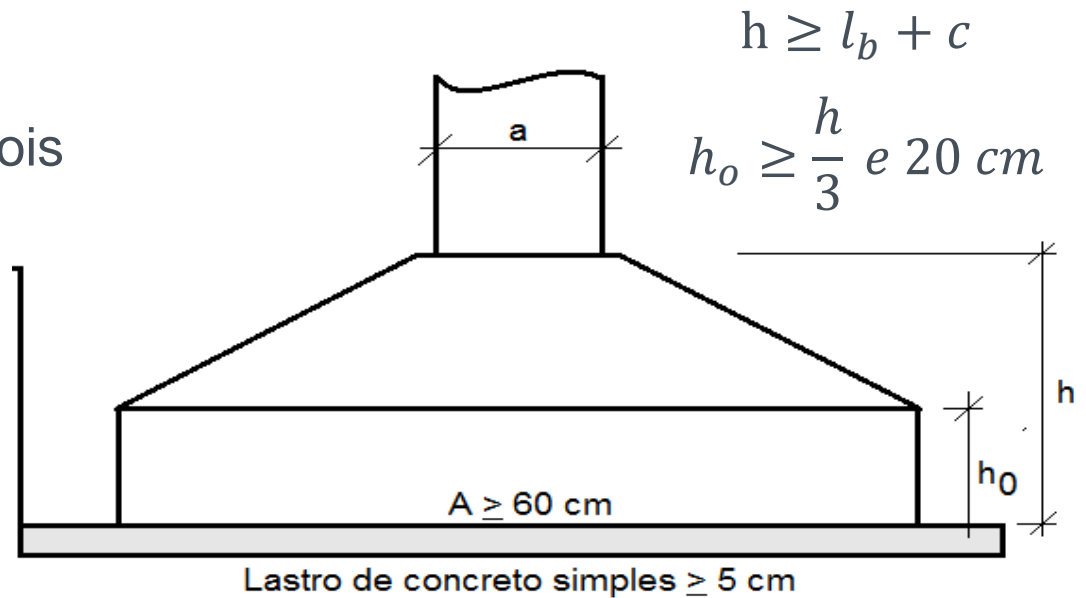
http://blog.construir.arq.br/fundacao_sapata/



- Estruturas de volume usadas para transmitir ao terreno as cargas de fundação → fundação direta
- Sapata rígida → admite-se plana a distribuição de tensões normais no contato sapata-terreno
- Sapata flexível → verificar a distribuição de tensões → cargas pequenas e solos fracos

- Sapata rígida – verificar nos dois sentidos:

$$h \geq \frac{(A - a)}{3}$$





- a) trabalho à flexão nas duas direções, admitindo-se que, para cada uma delas, a tração na flexão seja uniformemente distribuída na largura correspondente da sapata. Essa hipótese não se aplica à compressão na flexão, que se concentra mais na região do pilar que se apoia na sapata e não se aplica também ao caso de sapatas muito alongadas em relação à forma do pilar;
 - b) trabalho ao cisalhamento também em duas direções, não apresentando ruptura por tração diagonal, e sim por compressão diagonal verificada conforme 19.5.3.1. Isso ocorre porque a sapata rígida fica inteiramente dentro do cone hipotético de punção, não havendo, portanto, possibilidade física de punção.
- A armadura de flexão deve ser uniformemente distribuída ao longo da largura da sapata, estendendo-se integralmente de face a face da sapata e terminando em gancho nas duas extremidades.



- a) trabalho à flexão nas duas direções, não sendo possível admitir tração na flexão uniformemente distribuída na largura correspondente da sapata. A concentração de flexão junto ao pilar deve ser, em princípio, avaliada;

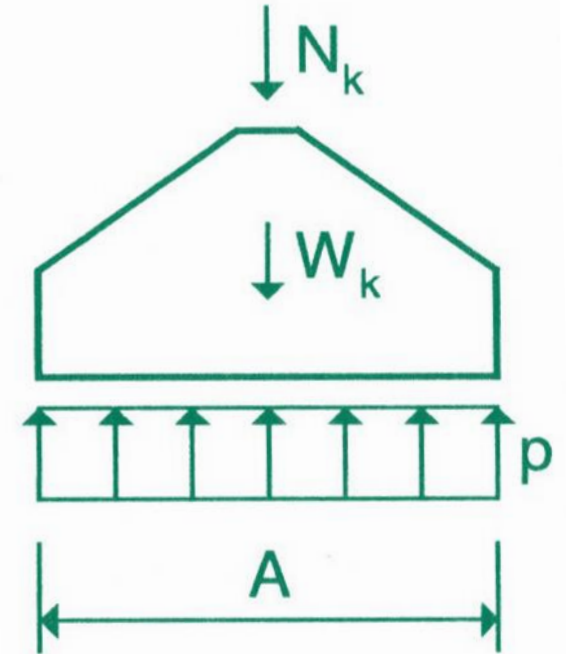
- b) trabalho ao cisalhamento que pode ser descrito pelo fenômeno da punção. A distribuição plana de tensões no contato sapata-solo deve ser verificada.



Pressões de contato

Carga centrada

sapata rígida			
	solo rochoso	solo argiloso	solo arenoso
sapata flexível			



$$p = \frac{\gamma_f (N_k + W_k)}{S}$$

- NBR 6122 – Deve ser considerado o peso próprio de blocos de coroamento ou sapatas, ou no mínimo 5% da carga vertical permanente.

$$p = \frac{1,1 \cdot N_d}{S}$$



Blocos de Concreto Simples

- Dimensões → Tensão admissível do solo $\Rightarrow p = \frac{\gamma_f \cdot (N_k + W_k)}{S}$

- Resistência a tração do concreto

- Altura do bloco

- Ângulo β em radianos

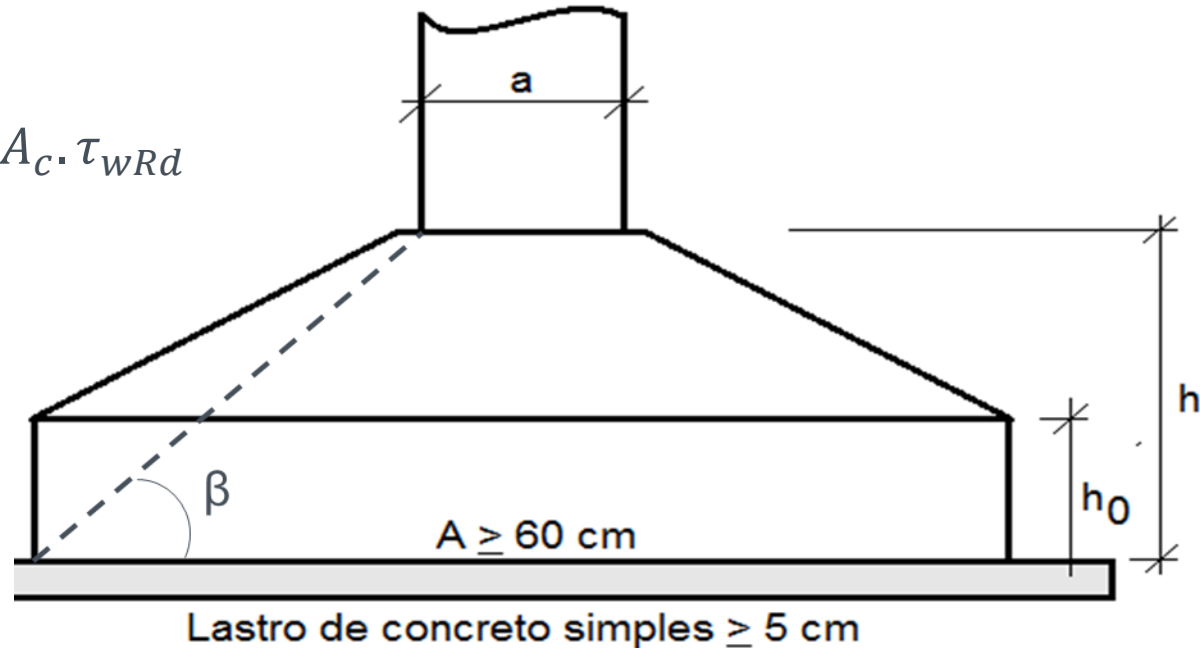
- $\beta \geq 60^\circ$

- Cisalhamento $\Rightarrow V_{Sd} \leq A_c \cdot \tau_{wRd}$

$$\Rightarrow \frac{\tan \beta}{\beta} \geq \frac{p}{f_{ctd}} + 1 \quad f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$\tau_{wRd} = 0,3 \cdot f_{ctd} \left(1 + \frac{3 \cdot \sigma_{cmd}}{f_{ck}} \right)$$

$$\sigma_{cmd} = \frac{1,1 \cdot N_k + W_k}{2} \left(\frac{1}{a \cdot b} + \frac{1}{A \cdot B} \right)$$

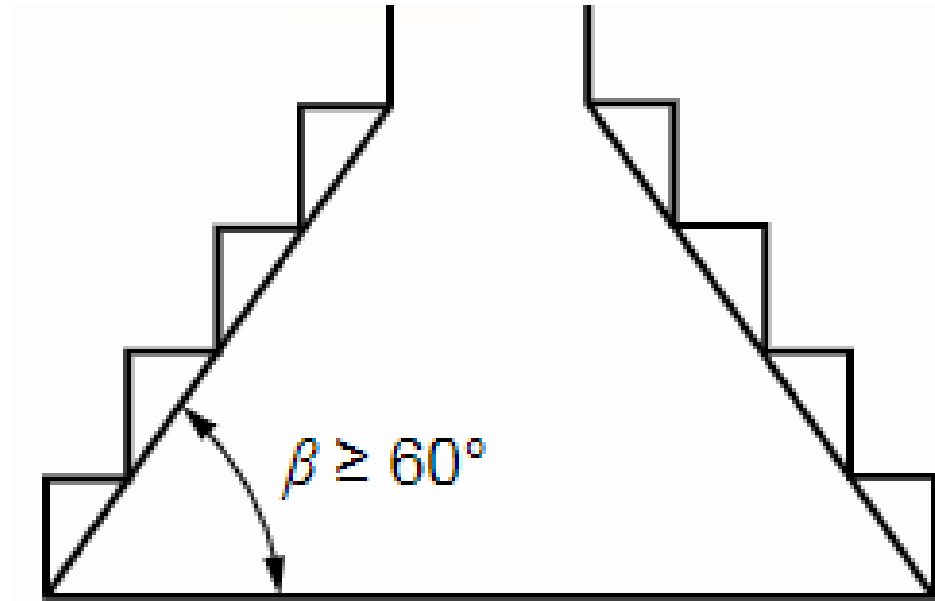




- Dimensionar um bloco de fundação para suportar um pilarete de 50 cm x 40 cm com carga de 3500 kN.

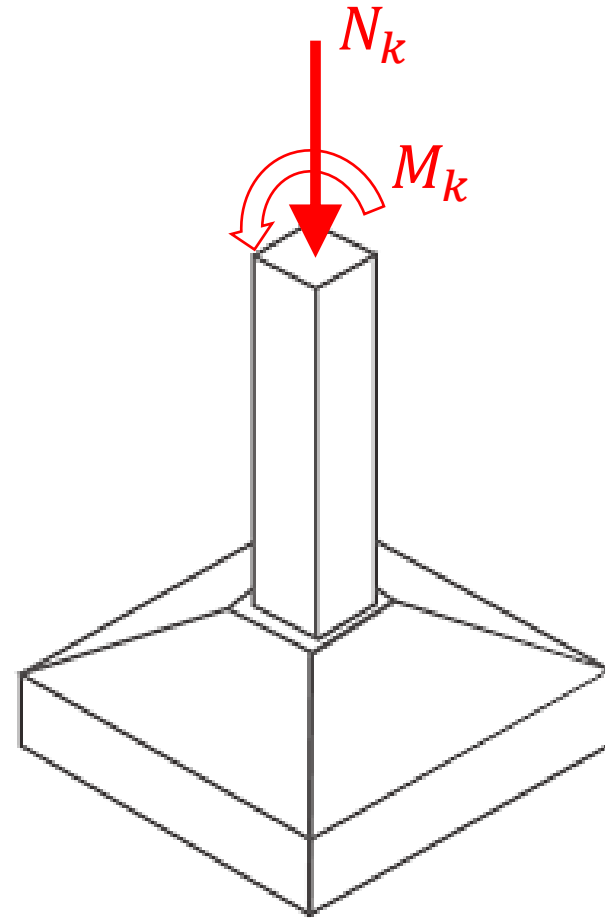
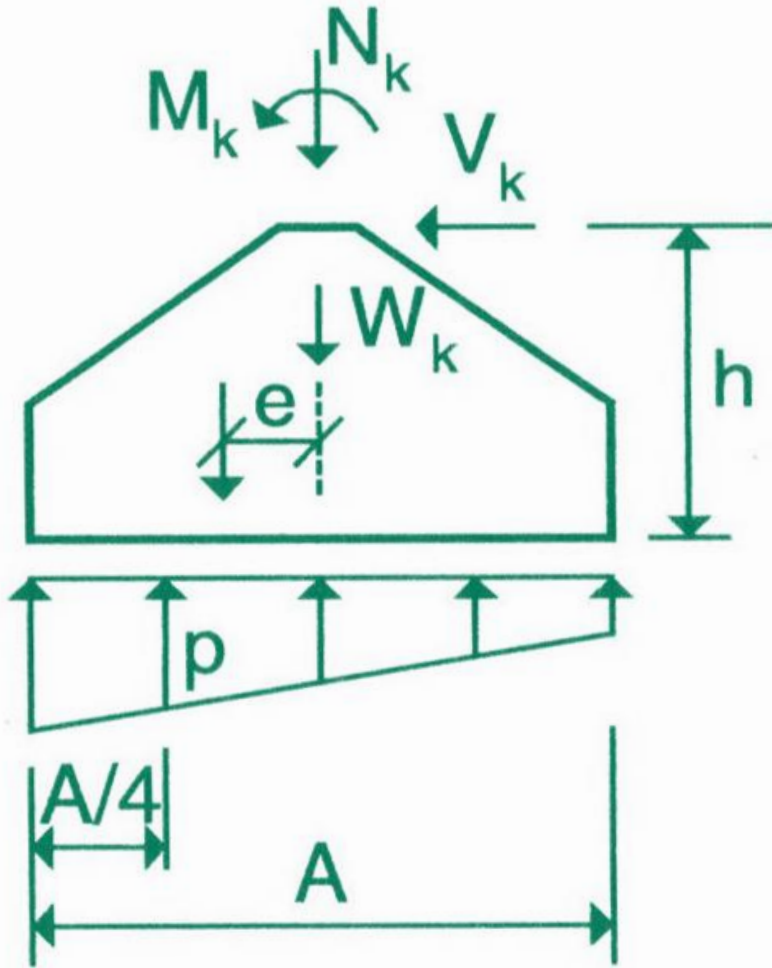
$$\sigma_{adm} = 0,4 \text{ MPa}$$

Concreto C-25



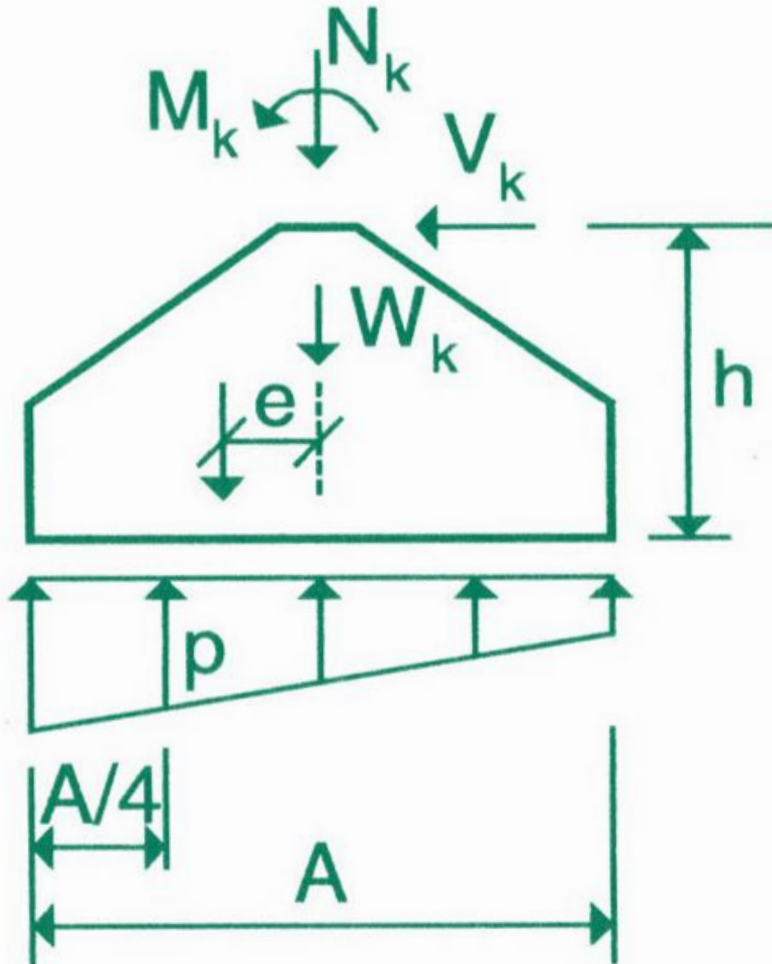


Sapata com momento em uma direção





Pressões de contato Momentos aplicados



- Pressão nos bordos:

$$p = \left(\frac{N}{S} \right) \pm \left(\frac{M}{W} \right)$$

Parcela de
tensão dos
momentos

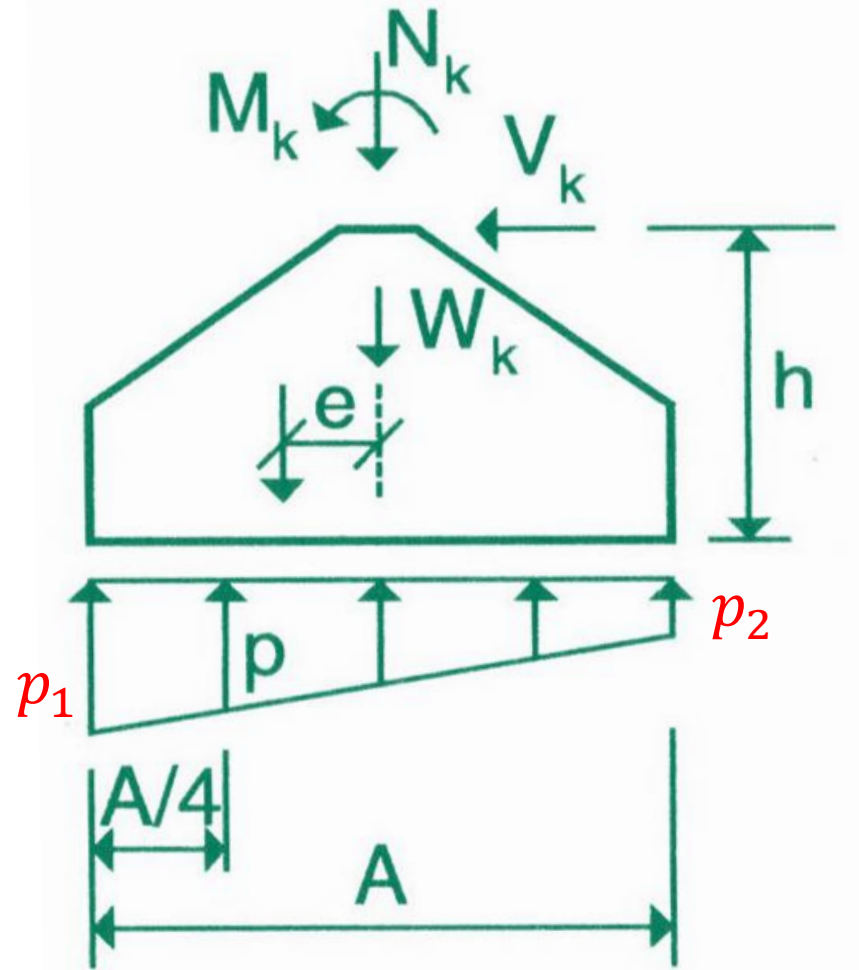
$$\frac{M}{W} = \frac{M \cdot \bar{y}}{I}$$

Parcela
de tensão
da força
normal



Pressões de contato Momentos aplicados

- Pressão nos bordos:



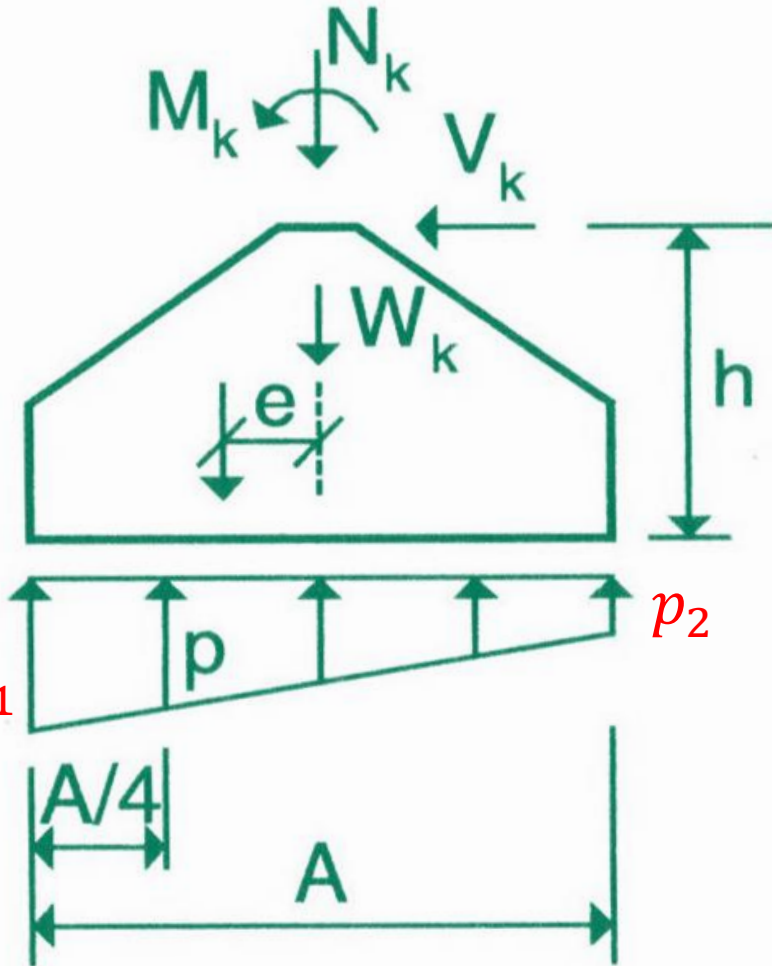
$$p = \left(\frac{N}{S} \right) \pm \left(\frac{M}{W} \right)$$

$$p_1 = \left(\frac{N_d + W_d}{A \cdot B} \right) + \frac{(M_d + V_d \cdot h) \cdot \frac{A}{2}}{\frac{B \cdot A^3}{12}}$$

$$p_2 = \left(\frac{N_d + W_d}{A \cdot B} \right) - \frac{(M_d + V_d \cdot h) \cdot \frac{A}{2}}{\frac{B \cdot A^3}{12}}$$



Pressões de contato Momentos aplicados



- Pressão nos bordos:

$$p = \left(\frac{1,1 \cdot N_d}{S} \right) \pm \left(\frac{M_d}{W} \right)$$

$$p_1 \leq \sigma_{adm}$$

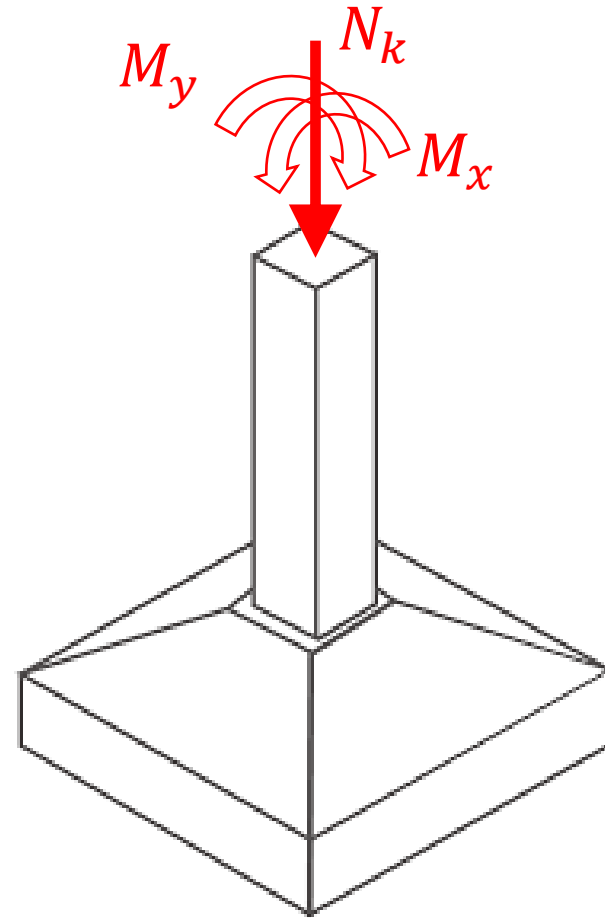
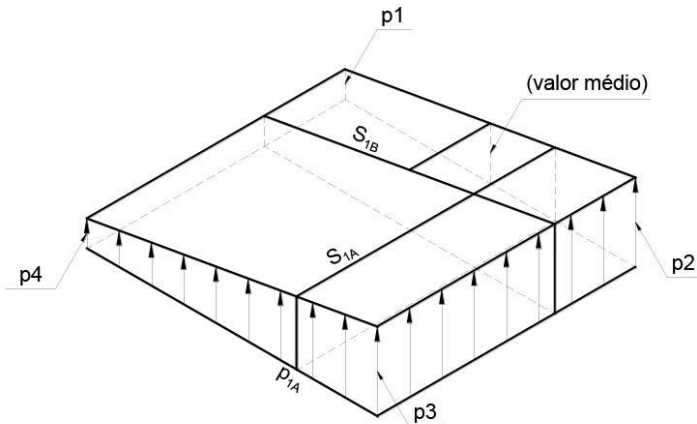
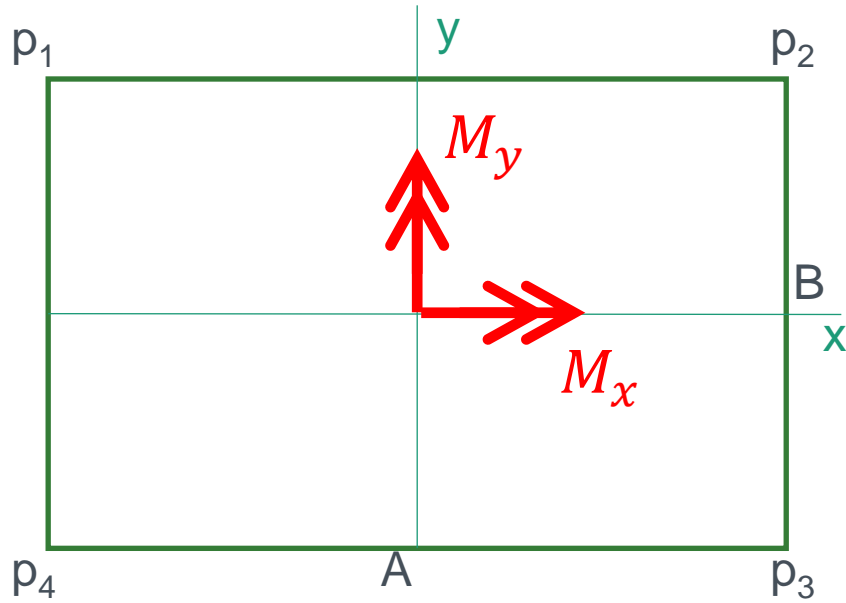
- Para não existir tração: Núcleo central de inércia

$$e \leq \frac{A}{6} \quad p_2 \leq 0$$

- “...a área comprimida deve ser de no mínimo 2/3 da área total, se consideradas as solicitações características, ou 50% da área total, se consideradas as solicitações de cálculo. Deve-se assegurar, ainda, que a tensão máxima de borda satisfaça os requisitos de segurança.”

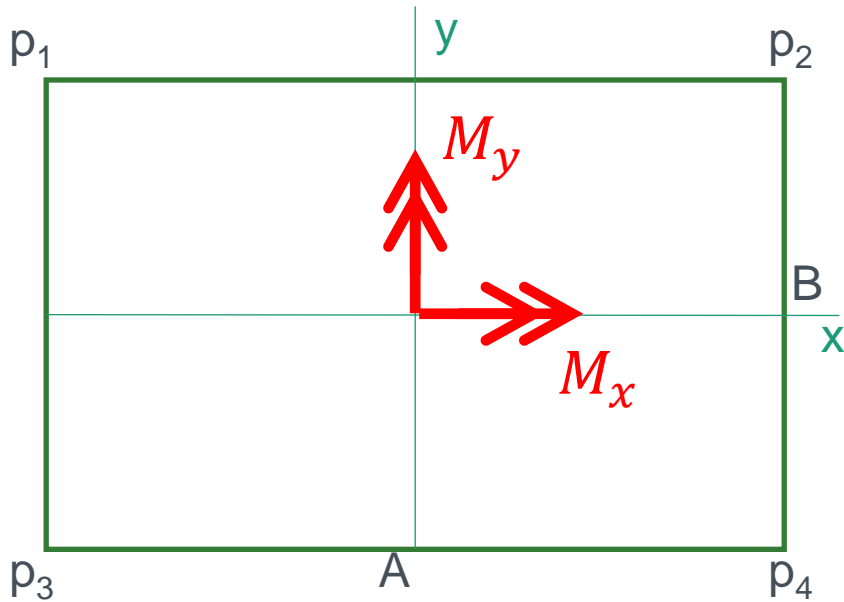


Sapata com momento em duas direção





Pressões de contato Momentos aplicados



- Pressão nos bordos:

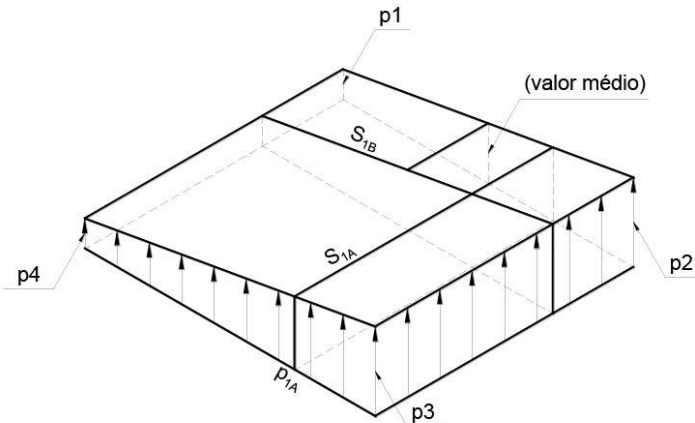
$$p_i = \frac{1,1 \cdot N_d}{S} \pm \frac{M_{dx}}{W_x} \pm \frac{M_{dy}}{W_y}$$

$$W_x = \frac{A \cdot B^2}{6} \quad W_y = \frac{B \cdot A^2}{6}$$

$$p_{m\acute{a}x} \leq \sigma_{adm}$$

- Sem tração:

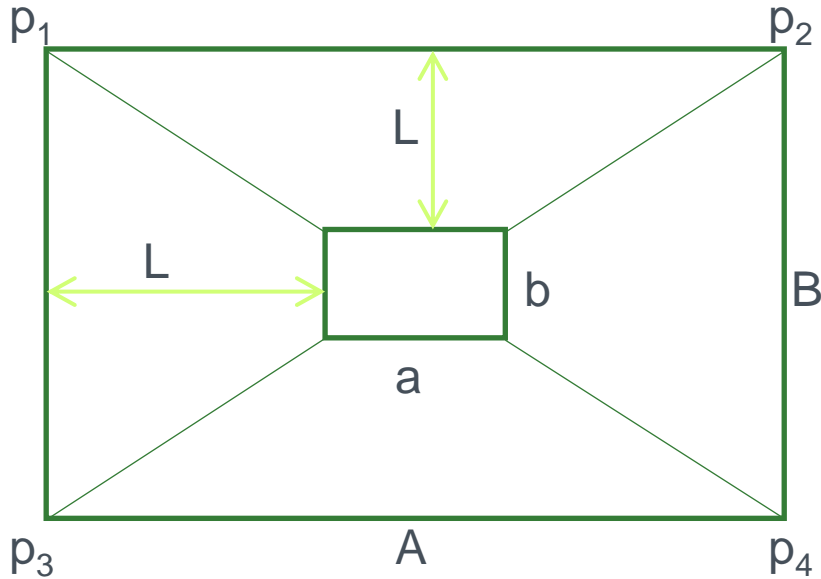
$$p_{m\acute{i}n} \leq 0$$





Pressões de contato

Dimensões da sapata



- Sapatas isoladas: recomendam-se que os balanços livres (L) sejam iguais em todos os lados

$$\left. \begin{aligned} A &= a + 2.L \\ B &= b + 2.L \end{aligned} \right\} B = A - (a - b)$$

$$S = A.B \rightarrow A = \frac{a - b}{2} + \sqrt{\frac{(a - b)^2}{4} + S}$$

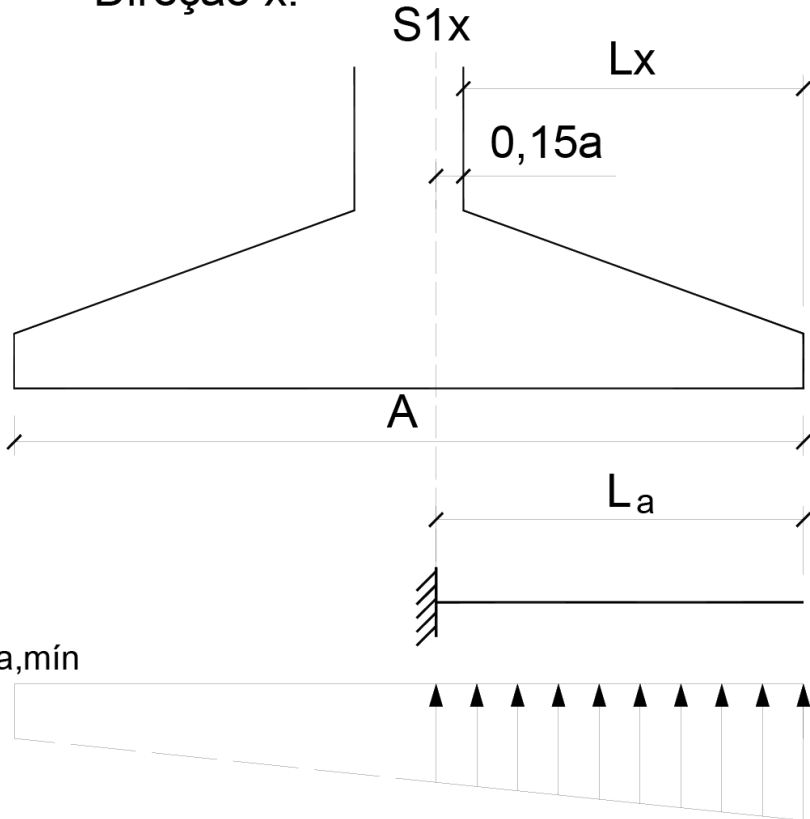


- Flexão → Balanços

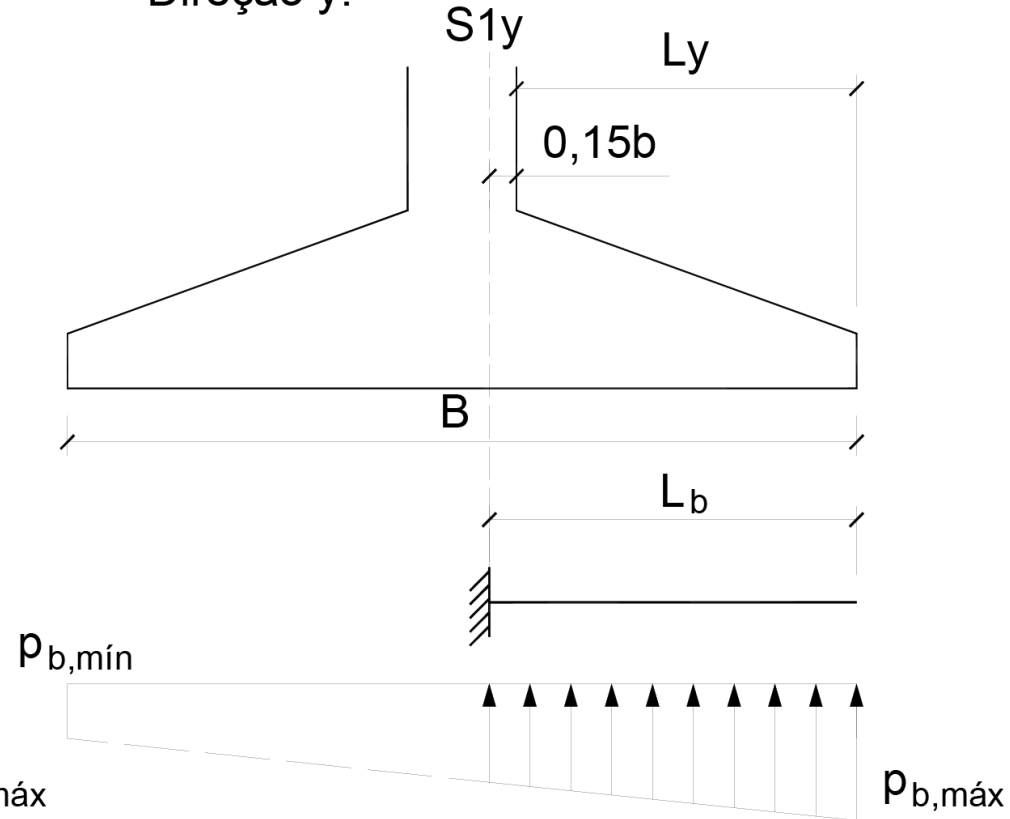
$$L_a = L_x + 0,15 \cdot a = \frac{(A + a)}{2} + 0,15 \cdot a$$

$$L_b = L_y + 0,15 \cdot b = \frac{(B + b)}{2} + 0,15 \cdot b$$

Direção x:

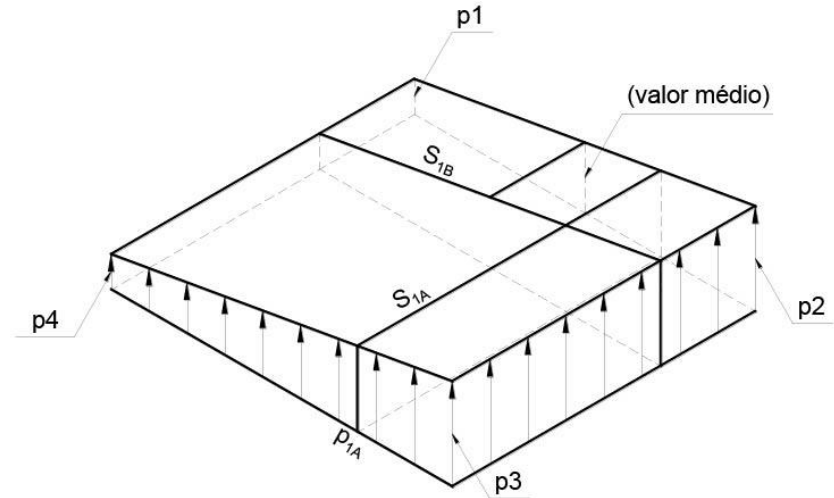
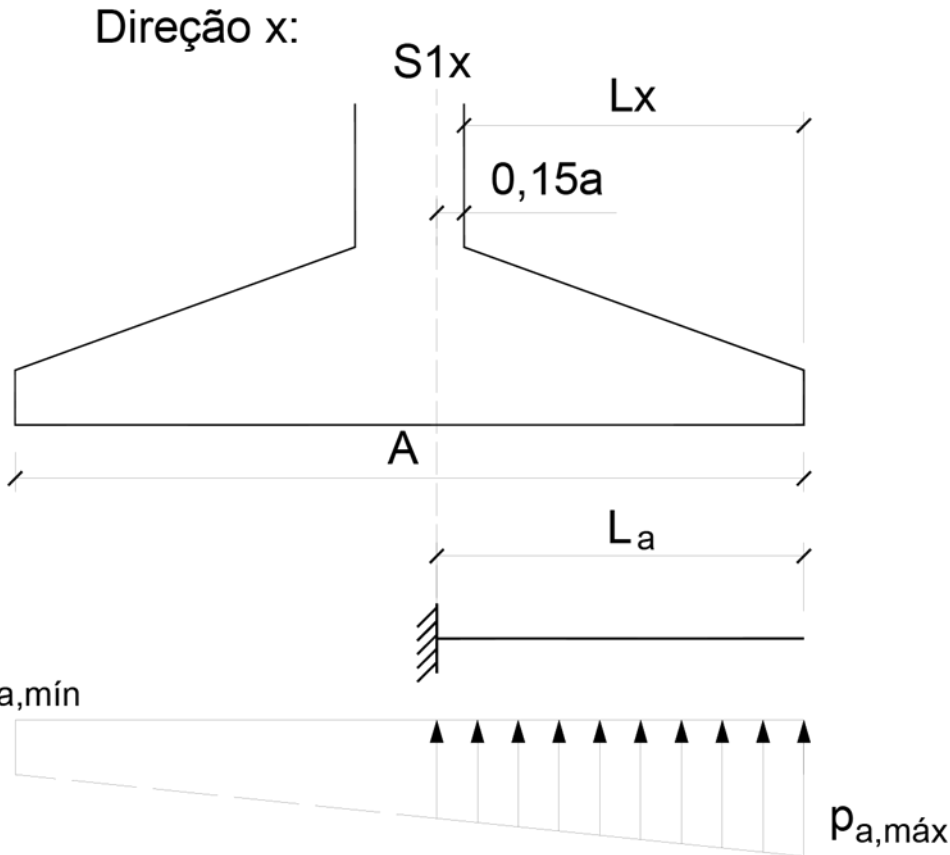


Direção y:





• Flexão → Balanços



- Valor médio – mínimo e máximo

$$\sigma_{solo} = \left(\frac{p_i + p_j}{2} \right)$$

- Valor médio por metro linear

$$p_a = \sigma_{solo} \cdot B$$

$$p_b = \sigma_{solo} \cdot A$$



- A armadura mínima pode ser considerada atendida se forem respeitadas as taxas mínimas de armadura da Tabela 17.3.

Tabela 17.3 – Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas

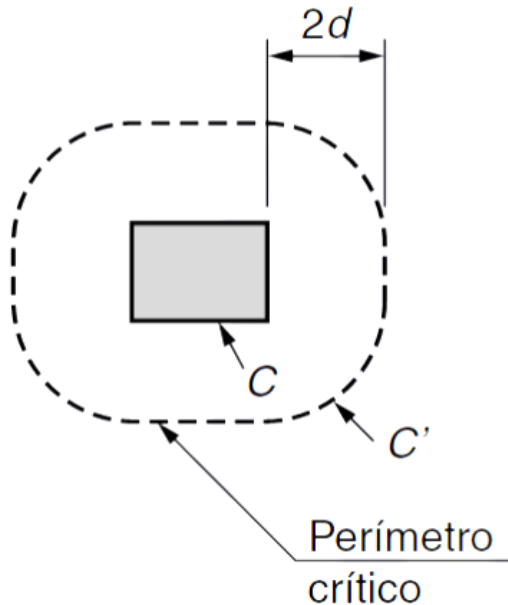
Forma da seção	Valores de ρ_{\min}^a ($A_{s,\min}/A_c$) %														
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256

^a Os valores de ρ_{\min} estabelecidos nesta Tabela pressupõem o uso de aço CA-50, $d/h = 0,8$ e $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, ρ_{\min} deve ser recalculado.

- A armadura não pode ter valor maior que 4% A_c , calculado fora da zona de emendas.
- Armadura de flexão deve ter diâmetro no máximo igual a $h/8$.
- Armadura principal de flexão devem apresentar espaçamento no máximo igual a 2 h ou 20 cm.



- Verificação da ruptura por compressão diagonal – Punção no contorno C
 - Contorno C: Superfície junto ao pilar → verificada indiretamente a tensão de compressão do concreto



$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{ud}$$

d : média das alturas úteis

u : perímetro do contorno crítico

- Tensão resistente na superfície C – Compressão diagonal:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd2} = 0,27 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) f_{cd}$$



- 19.4.1 Lajes sem armadura para força cortante
- Verificação em uma seção distante $d/2$ do pilar

$$V_{sd} \leq V_{rd1}$$

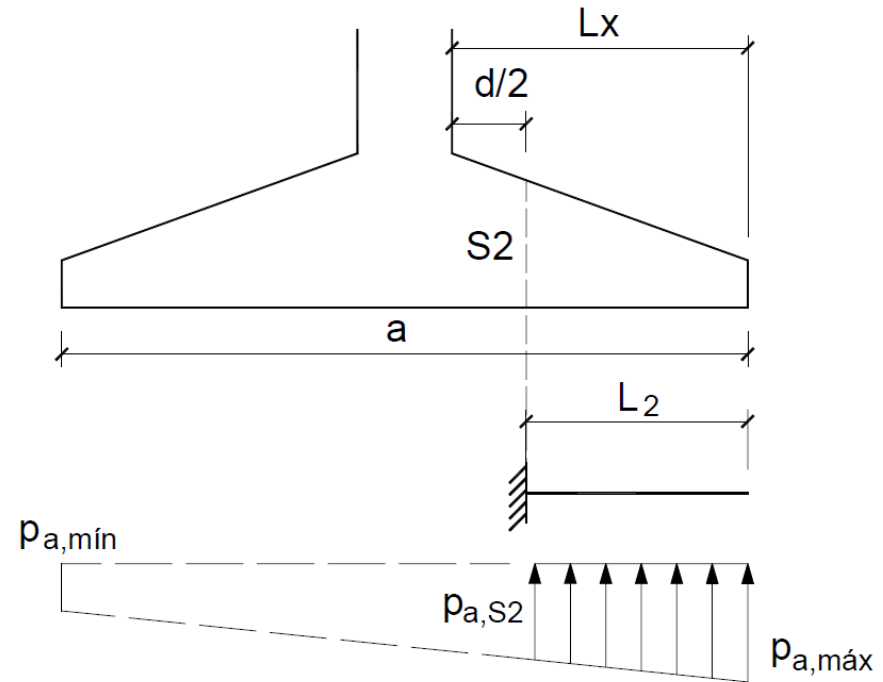
$$V_{rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k(1,2 + 40\rho_1)]b_w d$$

$$\tau_{Rd} = 0,25f_{ctd}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{0,21f_{ck}^{2/3}}{\gamma_c}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w d}, \text{ não maior que } |0,02|$$

$$k = |1,6 - d|, \text{ não menor que } 1 \text{ com } d \text{ em metros}$$





Dimensionar uma sapata isolada, retangular e com carga centrada:

Carga $P = 850 \text{ kN}$

$F_{ck} = 25 \text{ MPa}$

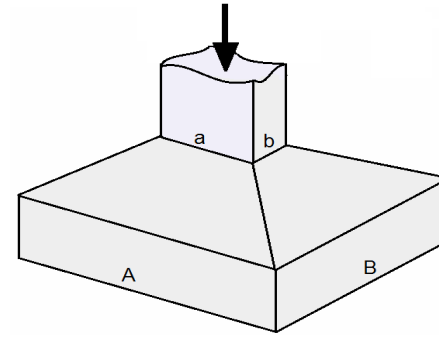
Aço = CA50

Pilar = $(a \times b)$ 25x50 cm

Tensão Adm do Solo = 0,29 Mpa

Pilar – $\varnothing 12,5 \text{ mm}$

- Roteiro:
 - Dimensões em planta
 - Verificações das pressões no solo
 - Dimensionamento das armaduras
 - Verificação do cisalhamento
 - Detalhamento



1,70 m x 2,00 m
 $h = 0,75 \text{ m}$
20,7 cm² e 20,8 cm²



Exemplo 3

Dimensionar uma sapata isolada, retangular e com carga centrada e momento:

Dados:

Carga $P = 920 \text{ kN}$

Momento $M_x = 74,0 \text{ kN}$

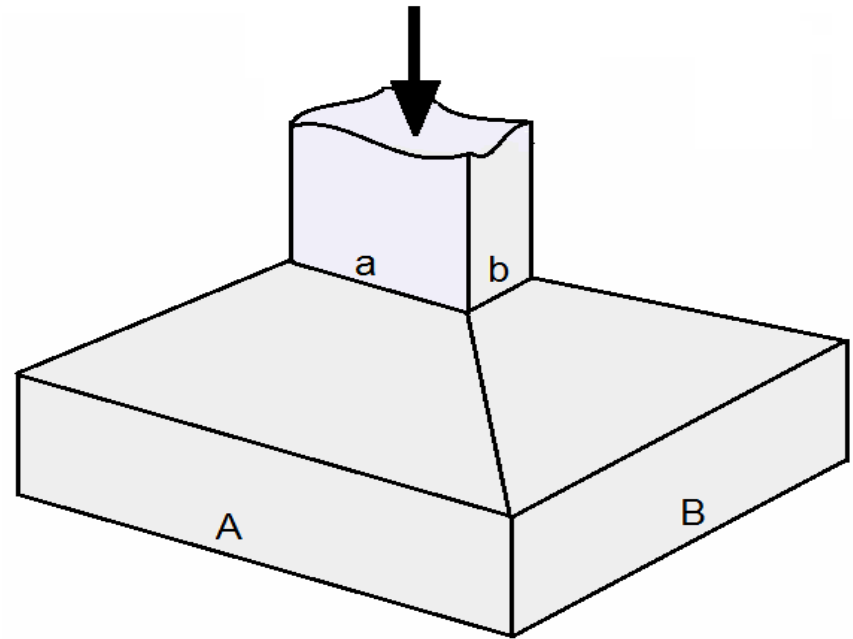
$F_{ck} = 20 \text{ MPa}$

Aço = CA50

Pilar = (a x b) 25x40 cm

Tensão Adm do Solo = 0,20 Mpa

Pilar – $\varnothing 12,5\text{mm}$



2,40 m x 2,60 m
 $h = 0,85 \text{ m}$
30,8 cm² e 28,4 cm²



Dimensionar uma sapata isolada, retangular e com carga centrada e momento:

Dados:

$$P = 1000 \text{ kN}$$

$$M_x = 110,0 \text{ kN}$$

$$M_y = 40,0 \text{ kN}$$

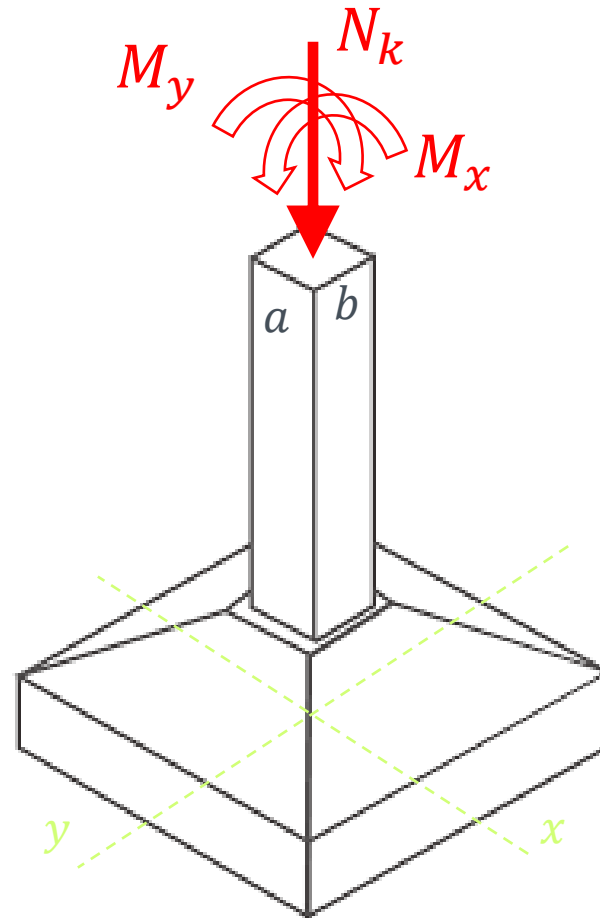
$$F_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Aço} = \text{CA50}$$

$$\text{Pilar} = (a \times b) 25 \times 40 \text{ cm}$$

$$\text{Tensão Adm do Solo} = 0,25 \text{ MPa}$$

$$\text{Pilar} - \varnothing 12,5 \text{ mm}$$





- Araújo, J. M. Curso de concreto armado. Volume 3. Rio Grande: Dunas, 2003.
- ABNT. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- Bastos, P. S. dos S. Sapatas de fundação. Notas de aula. Bauru: UNESP, 2019.
- Bastos, P. S. dos S. Blocos sobre sapatas. Notas de aula. Bauru: UNESP, 2019.
- Alonso, U. R. Exercícios de fundações. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- ABNT NBR 6118:2014. Comentários e Exemplos de Aplicação. Ed. IBRACON, 2015.
- Alva, G. M. S. Projeto estrutural de sapatas. Notas de aula. Santa Maria: UFSM, 2007.