

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SAPATAS QUADRADAS ISOLADAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS COM CARGA CENTRADA

Antonio Eduardo Paulino de Matos (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) antonioematos@gmail.com, (2) avargas@unesc.net

RESUMO

Sapatas quadradas de concreto armado podem ser classificadas em rígidas e flexíveis. Essas últimas, podem ser dimensionadas com ou sem armadura de combate à punção. A escolha do modelo de cálculo é prerrogativa do projetista. Objetivando apresentar uma ferramenta de auxílio na decisão do modelo a ser adotado, elaborou-se um estudo comparativo entre os três métodos de dimensionamento: rígida, flexível sem armadura de punção e flexível com armadura de punção. Com o auxílio de planilhas de cálculos utilizando o software MS Excel e estabelecendo alguns parâmetros, procedeu-se o dimensionamento de sapatas nessas condições. Como resultados obteve-se as alturas mínimas para cada método em função da carga aplicada, da tensão admissível do solo e da classe do concreto, além de uma planilha para dimensionar sapatas de acordo com os três métodos de cálculo. Através dos resultados pode-se observar que para cada conjunto de situações existe um modelo de sapata adequado. Ficando na responsabilidade do engenheiro, interpretar os resultados e escolher o melhor modelo para o seu projeto.

Palavras-chave: sapata; fundação; fundação direta.

1. INTRODUÇÃO

Sapatas isoladas são um tipo de fundação rasa ou também chamada de fundação direta, que transmitem as cargas da estrutura ao solo através da distribuição superficial na sua base. Elas são classificadas, no seu dimensionamento, em sapatas isoladas rígidas ou flexíveis. Essa classificação, de acordo com a NBR 6118 (2014) ocorre em função das dimensões da sapata proveniente do modelo de cálculo adotado. Como cada projeto apresenta características próprias, tanto no que corresponde ao tipo de solo como nas cargas oriundas do projeto estrutural, o engenheiro deve ter experiência e competência para escolher a fundação mais apropriada à cada projeto (ARAUJO, 2010, p.241). Segundo ALVA (2007), as sapatas isoladas rígidas são comumente adotadas como elementos de fundações em terrenos que possuem boa resistência em camadas próximas da superfície. A NBR 6118 (2014) afirma que não é possível a ocorrência de punção nesse tipo de sapata, e o modelo de cálculo que deve ser usado para dimensioná-las é o modelo de bielas e tirantes. ARAUJO (2010),

afirma que as sapatas rígidas consomem menos aço e podem ser usadas com concreto de menor resistência, porém devem ser empregadas em solos de melhor qualidade para que se tornem econômicas. TURAZZI (2009) afirma que para solos com tensão admissível acima de 0,15 MPa sapatas rígidas apresentam altura mínima inferior na ordem de 30% em relação às flexíveis. Já as sapatas flexíveis consomem menor volume de concreto, mas exigem um maior consumo de armadura e são indicadas para solos com menor capacidade de carga (ARAUJO, 2010,p.242). De acordo ALVA (2007), esses tipos de sapatas são mais raras de serem usadas pois são empregadas sob a ação de cargas de menor intensidade e solos relativamente frágeis. ANDRADE (1989) sugere a utilização de sapatas flexíveis para solos com pressão admissível abaixo de 0,15 Mpa. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é fazer um estudo comparativo de sapatas isoladas com carga centrada do tipo rígida e flexível (com e sem armadura de punção), a fim de encontrar o método de cálculo mais adequado para cada situação de projeto. Como objetivos específicos essa pesquisa se propõe: (a) determinar alturas mínimas para cada modelo de cálculo adotado, além de encontrar, nas sapatas flexíveis, as alturas mínimas sem e com armadura de combate a punção, (b) encontrar, nas sapatas rígidas, intervalos de altura útil (Z) para cada tipo de solo e classe de concreto, (c) montar uma planilha de dimensionamento de sapatas para os dois métodos de cálculo, estabelecendo, nas sapatas flexíveis, a altura limite para dispensar armadura de combate à punção, bem como o limite inferior de altura utilizando armadura de combate à punção.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada no presente trabalho será relatada nesta etapa. Após a revisão bibliográfica, foram determinados parâmetros, limites e métodos de cálculos para os dois tipos de sapatas. Na sequência foram desenvolvidas planilhas com o auxílio do software MS Excel, considerando os dois modelos de cálculo.

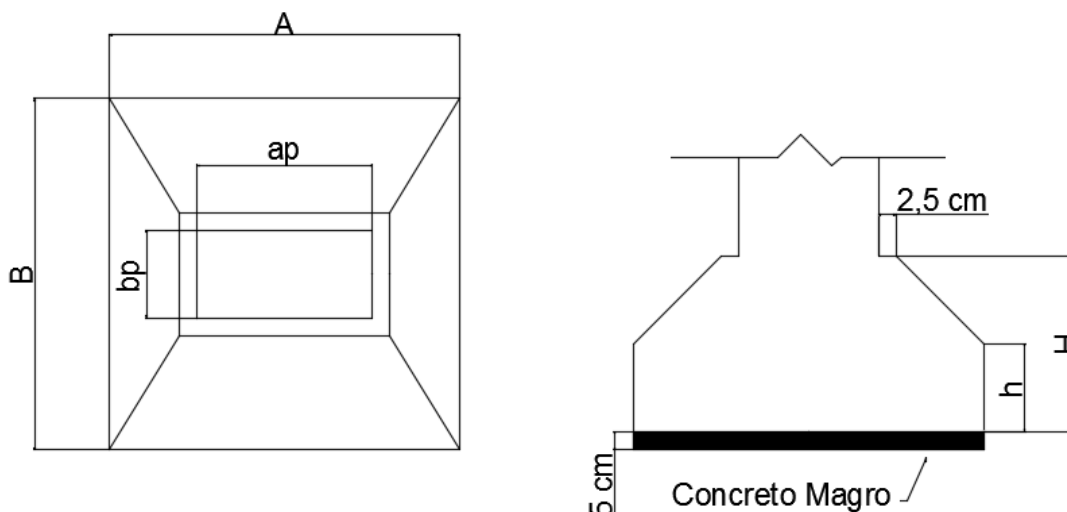
2.1. Abrangências e Limitações

Para a execução do presente trabalho foram pré-definidos alguns parâmetros e limitações:

- Foram estudadas apenas sapatas quadradas;

- Os pilares possuem seção retangular com carga centrada;
- Os recalques do solo foram desconsiderados nesse estudo;
- As tensões admissíveis do solo variaram de 0,05 MPa até 0,40 MPa em intervalos de 0,05 MPa;
- As bases das sapatas “A” (ver Figura 1) não terão dimensão inferior a 60 cm para atender a NBR 6122 (2010);
- As dimensões encontradas para a base das sapatas, terão arredondamentos para múltiplos de 5cm, para cima em relação aos valores encontrados;
- A altura na extremidade da sapata (h) foi considerada como sendo $h = 0,4 \times H$
- A distância d' que vai da base da sapata até o centro de gravidade da armadura tracionada, será fixada em 6,0 cm, adotando cobertura igual a 5 cm, sendo, portanto, a altura útil da sapata (d) igual a $H-6\text{cm}$;
- O aço utilizado nos cálculos é o CA 50;

Figura 1: Modelo de sapata objeto desse estudo



Fonte: do autor

2.2. Dimensionamento da seção transversal dos pilares

Para o pré-dimensionamento da seção dos pilares foi utilizado uma equação empírica (Equação 1) que considera 70% da resistência característica do concreto, isso para que se possa considerar os efeitos de flambagens e excentricidades. A seção mínima estabelecida foi de 20x20 cm com arredondamentos de 5 cm para cima em casos de

números não inteiros. Para efeito desse trabalho, será acrescido 5 cm além das dimensões dos pilares, 2,5 cm de cada lado, na face superior da sapata, onde ocorre a região de introdução de esforços, para considerar o apoio das formas dos pilares.

$$ap \times bp = \frac{Pk}{0,7 \cdot f_{ck}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- ap é a maior dimensão da base do pilar;
- bp é a menor dimensão do pilar
- Pk é a carga de serviço;

2.3. Modelos de cálculos adotados

2.3.1. Altura Sapata Rígida

A NBR 6118 (2014) estabelece como condição para uma sapata ser considerada rígida que se verifique expressão apresentada na Equação 2.

$$H \geq \frac{A - bp}{3} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- A é a dimensão da base da sapata;
- bp é a menor dimensão da base do pilar;
- H é a altura da sapata.

2.3.2. Altura da Sapata Flexível

Caso verifique-se a Equação 3, então a NBR 6118 (2014) determina que a sapata será flexível.

$$H < \frac{A - bp}{3} \quad (\text{Equação 3})$$

Além do dimensionamento como rígidas e flexíveis, o presente trabalho analisa o comportamento de sapatas flexíveis com e sem armadura de punção, encontrando a

altura limite para essas duas situações de cálculo, além do limite inferior de altura utilizando armadura de punção.

2.4. Cálculo da sapata rígida

No cálculo das sapatas rígidas foram adotadas as definições e equações propostas por Araújo (2010). Utilizou-se o modelo de bielas e tirantes para o dimensionamento de sapatas rígidas. A altura da sapata será considerada a mínima que atenda a equação 2, com arredondamento para cima em múltiplo de 5cm.

As dimensões da base da sapata foram calculadas através da equação 3.

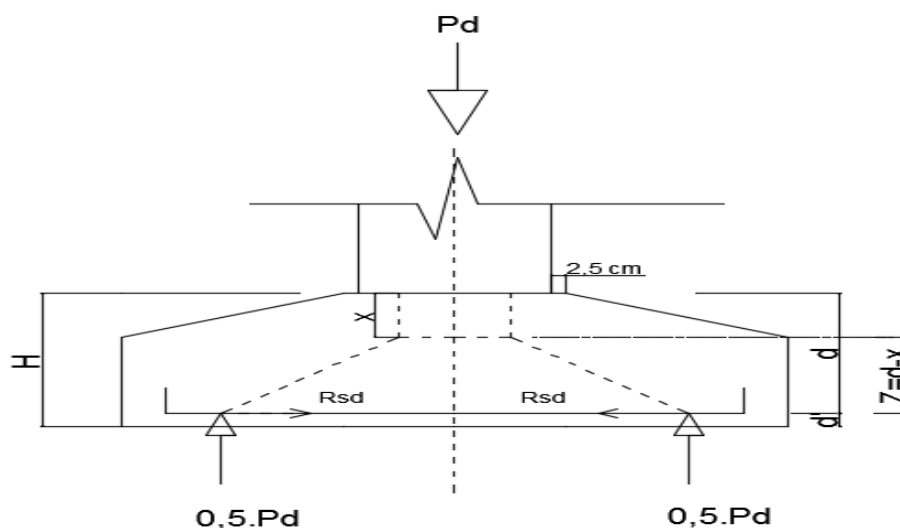
$$A = \sqrt{\frac{Pk \times 1,1}{\sigma_{adm}}} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

- A é a dimensão da base da sapata;
- Pk é a carga de serviço;
- σ_{adm} é a tensão admissível do solo.

A armadura foi calculada conforme o modelo exposto na Figura 2, e através das equações 5 e 6.

Figura 2: Modelo para o cálculo de sapata rígida



Fonte: do autor.

$$A_s = \left(\frac{Pd \times (A - a)}{8 \times Z \times f_{yd}} \right) \quad (\text{equação 5})$$

$$A_s = \left(\frac{Pd \times (A - b)}{8 \times Z \times f_{yd}} \right) \quad (\text{equação 6})$$

Sendo:

Para $\sigma < 0,20 \cdot f_{cd}$ adota-se $Z = d$;

Para $\sigma \geq 0,20 \cdot f_{cd}$ adota-se $Z = d - x$.

Onde:

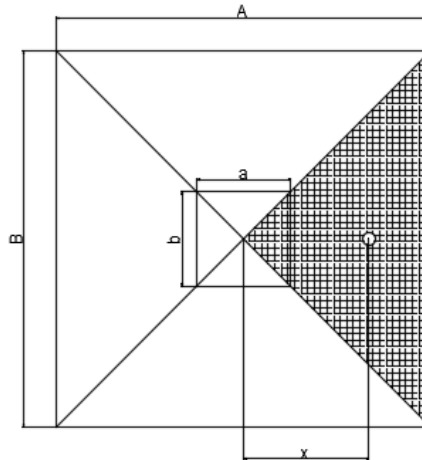
- A_s é a área de aço necessária em cada direção;
- Pd é a carga de cálculo (majorada);
- A é a dimensão da base da sapata;
- a_p é a maior dimensão da base do pilar;
- b_p é a menor dimensão da base do pilar;
- Z é o percentual de altura útil;
- f_{yd} é a resistência de cálculo ao escoamento do aço.
- “ x ” é obtido por:
$$\frac{a_p \cdot b_p}{(a_p + 4 \cdot X) \cdot (b_p + 4 \cdot X)} \cdot \sigma d = 0,2 \cdot f_{cd}$$

Dessa forma, quando $\sigma \geq 0,20 \cdot f_{cd}$ ocorre o esmagamento das bielas comprimidas e, nessa situação, deve ser feita uma redução na altura útil de cálculo. Essa redução visa aumentar a área considerada na aplicação da carga e desta forma reduz-se a tensão. Essa redução é apenas teórica, ou seja, para fins de cálculos, pois a altura das sapatas e a seção do pilar continuaram as mesmas adotadas.

2.5. Cálculo da sapata flexível sem armadura de punção

Nesta etapa do estudo utilizou-se a teoria da flexão para o dimensionamento das sapatas flexíveis, levando-se em conta as considerações feitas pela NBR 6118 (2014), que utiliza métodos empíricos para o dimensionamento de sapatas. Dentre os métodos utilizados, adotou-se a regra dos triângulos para o cálculo do momento fletor na base da sapata por se considerar antieconômico outros métodos (Figura 3).

Figura 3: Método dos triângulos



Fonte: do autor

As dimensões da base foram calculadas da mesma forma como nas sapatas rígidas (Equação 4). Para estabelecer a altura mínima, abaixo da qual adota-se armadura de combate à punção, foram utilizadas as equações preconizadas pela NBR 6118 (2014) para as lajes sujeitas ao puncionamento. A verificação da necessidade de armadura no combate a punção é feita pela condição estabelecida na Equação 7. Caso não se verifique essa condição a sapata necessitará de armadura de punção.

$$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd1} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

- τ_{sd} é a tensão cisalhante solicitante de projeto;
- τ_{Rd} é a tensão cisalhante resistente da sapata.

Obtém-se a tensão cisalhante solicitante de projeto através da Equação 8:

$$\tau_{sd} = \frac{Pd}{u' \times d} \quad (\text{Equação 8})$$

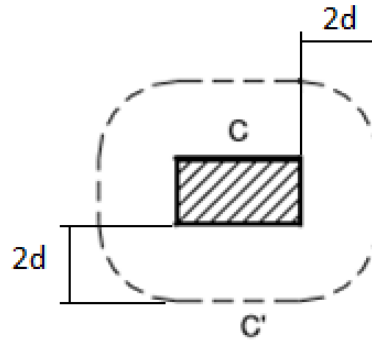
Onde:

- τ_{sd} é a tensão solicitante de projeto;
- Pd é a carga de cálculo (majorada);
- u' é o perímetro de contorno crítico C' (Figura 4);
- d é altura útil ao longo perímetro crítico;

Sendo:

$$d = \frac{(dx+dy)}{2} = \text{altura útil em } C';$$

Figura 4: Contorno crítico C', sem armadura de punção.



Fonte: Do Autor.

A tensão de cisalhamento resistente da sapata é calculada através da Equação 9.

$$\tau R d 1 = 0,13 \times \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \times \sqrt[3]{100 \times \rho \times f c k} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

- $\tau R d 1$ é a tensão de cisalhamento resistente da sapata.
- d é altura útil ao longo perímetro crítico C' .
- ρ é a taxa geométrica de armadura de flexão aderente;
- $f c k$ é a resistência característica do concreto.

Sendo:

$$d = \frac{(dx+dy)}{2} = \text{altura útil em } C';$$

$\rho = \sqrt{\rho x + \rho y}$, onde ρx e ρy são taxas de armaduras nas direções ortogonais x e y , e para esse trabalho foram utilizados os valores mínimos da tabela 17.3 da NBR 6118 (2014), a qual estabelece taxas de armaduras de flexão mínimas para vigas, aplicando-se também a outros elementos estruturais, conforme estabelece a mesma norma. A tabela pode ser visualizada na Figura 5.

Figura 5: Tabela de armaduras mínimas.

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	0,217	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.

Fonte: Norma NBR 6118 (2014).

Verificando-se verdadeira a Equação 7 determina-se a área de aço necessária de flexão sem que necessite de armadura de punção. À partir da determinação do momento fletor, chega-se a área de aço através da Equação 10, resolvendo-a de forma análoga às vigas:

$$A_s = \left(\frac{Md}{Z \times f_{yd}} \right) \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

- A_s é a área de aço total necessária na direção do momento;
- M_d momento fletor calculado;
- Z braço de alavanca;
- f_{yd} é a resistência de cálculo ao escoamento do aço.

Sendo:

- $Z = d - 0,4 \cdot x$
- $M_d = (0,68 \cdot x \cdot d - 0,272 \cdot x^2) \cdot b_w \cdot f_{cd}$, " b_w " foi considerado a dimensão da base da sapata.

2.6. Cálculo da sapata flexível com armadura de punção

Nesta fase do estudo, buscou-se encontrar a altura mínima suficiente para suportar os esforços solicitantes na sapata, porém com o uso de armadura de combate a punção. Para esses cálculos foram verificadas as tensões resistentes nas três

superfícies críticas, C, C' e C'' a fim de atender o item 19.5.3 da norma NBR 6118 (2014).

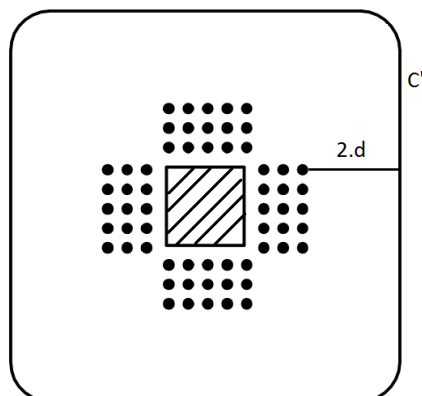
Nos casos em que se usa armadura de punção, esta deve ser posicionada em contornos paralelos a C', de modo que este não será mais o contorno crítico. O C'' surge a uma distância 2.d afastado da face da última armadura de punção, sendo esse o novo contorno crítico, verificando-se, portanto, se a Equação 11 é satisfeita nesse contorno.

$$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd1} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

- τ_{sd} é a tensão cisalhante solicitante de projeto;
- τ_{Rd1} é a tensão cisalhante resistente da sapata.

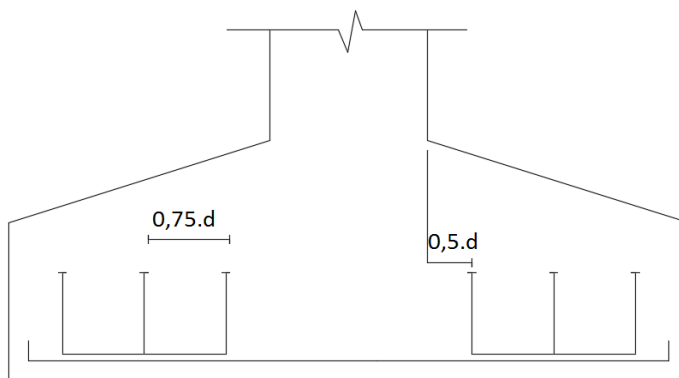
Figura 6: Definição do contorno crítico C'', com armadura de punção.



Fonte: Do Autor.

Para que fosse possível o cálculo das tensões no C'', alguns parâmetros foram fixados de acordo com a norma NBR 6118 (2014). A distância entre a face do pilar e a primeira linha de armadura de punção será de 0,5.d, as armaduras serão dispostas a uma distância de 0,75.d uma das outras, a taxa de armadura utilizada nos cálculos foi de 0,150 e foram usadas somente três linhas de conectores tipo pino com a extremidade alargada. Lembrando que essas variáveis foram fixadas a fim de viabilizar o estudo.

Figura 7: Disposição da armadura de punção em corte.



Fonte: Do Autor.

Posteriormente foram feitas manipulações algébricas na Equação 6, para que com essa nova equação (Equação 12), e com os parâmetros fixados fosse possível encontrar a altura mínima com armadura de combate a punção.

$$\frac{Pd}{u'' \times d} = 0,13 \times \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \times \sqrt[3]{100 \times \rho \times fck} \quad (\text{Equação 12})$$

Sendo:

$$u'' = (2 \times ap + 2 \times bp) + 8 \times \pi \times d$$

$$d = \frac{(dx+dy)}{2} = \text{altura útil em C}'';$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x + \rho_y}, \text{ onde } \rho_x \text{ e } \rho_y \text{ são taxas de armaduras nas direções ortogonais}$$

Onde:

- τsd é a tensão solicitante de projeto;
- Pd é a carga de cálculo;
- d é altura útil ao longo perímetro crítico C'';
- u'' é o perímetro do contorno crítico C'';
- ap é a maior dimensão da base do pilar;
- bp é a menor dimensão da base do pilar;
- ρ é a taxa geométrica de armadura de flexão aderente;
- fck é a resistência característica do concreto.

A partir da Equação 12, com o auxílio do software Excel foi utilizado o método de iteração linear para encontrar a altura útil mínima (dmín). Nomeou-se esta de mínima

devido ao fato de que ao igualar a Equação 12 trabalhou-se no limite mínimo aceitável. Após calculado o d_{\min} foi somado seu valor com d' e encontrado a altura mínima necessária da sapata com armadura de punção (Equação 13).

$$H_{\min} = d_{\min} + 6 \text{ cm} \quad (\text{Equação 13})$$

Com essa altura mínima foram realizados os cálculos restantes, de forma análoga aos cálculos de sapata flexível sem armadura de punção. A armadura de combate a flexão foi calculada pela equação 9.

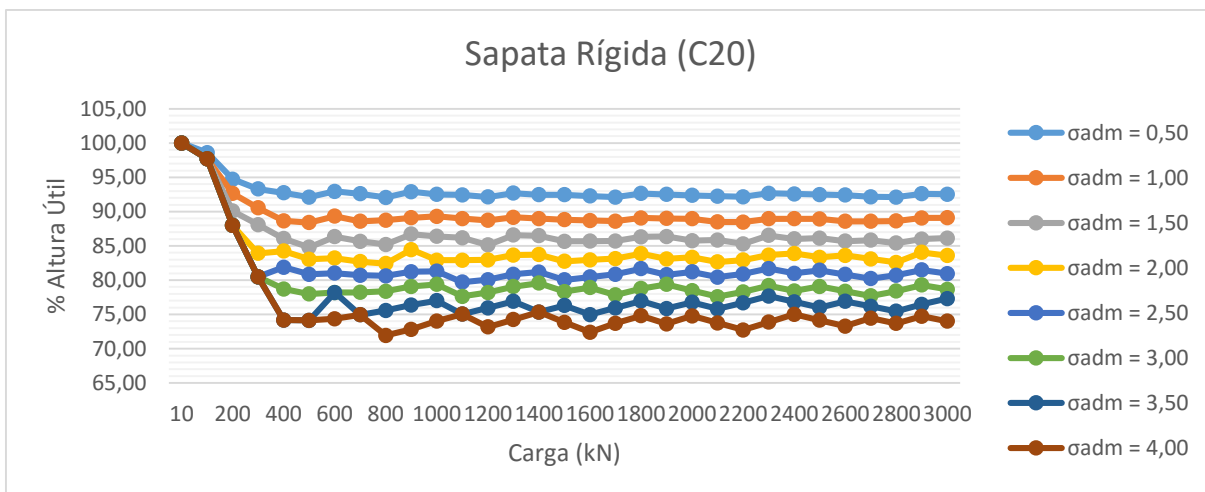
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores foi possível obter os mais diversos resultados os quais descrevem de forma teórica o comportamento desses três modelos de sapatas estudados. Em função da abrangência do presente estudo e dos objetivos propostos, serão analisados somente, o comportamento da altura útil para cada situação de cálculo e o comportamento da altura mínima calculada para cada modelo de sapata abordados nesse trabalho. Por fim será exposto a planilha de dimensionamento produzida.

3.1. Altura de cálculo (Z) para sapatas rígidas

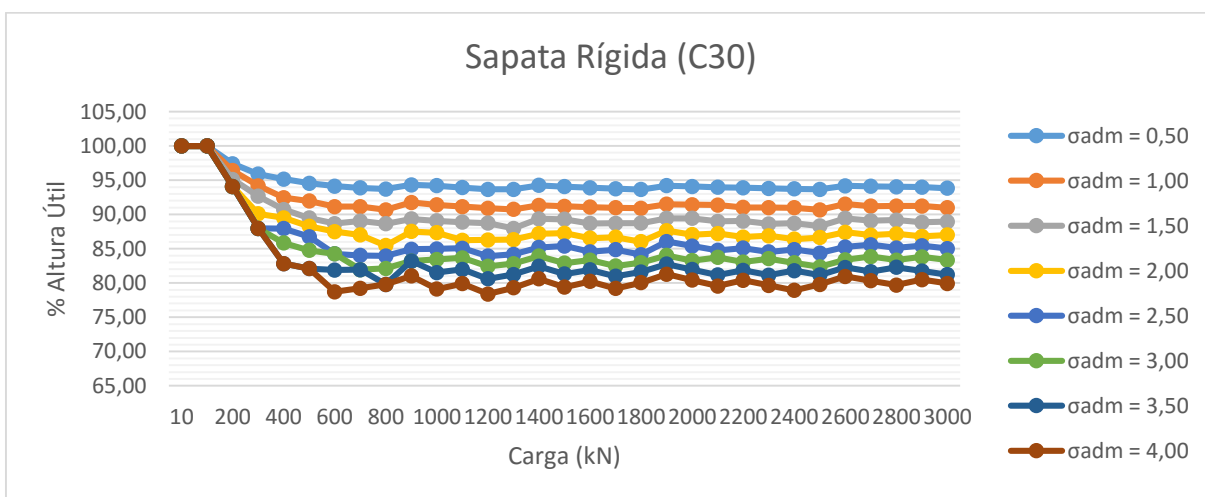
Como já citado nesse trabalho, quando $\sigma < 0,20.f_{cd}$ adota-se $Z = d$, e quando ocorrer a condição a seguir $\sigma \geq 0,20.f_{cd}$ aplica-se $Z = d - x$, porém Araújo (2010) afirma que nesta última condição devido ao esmagamento que ocorre na biela pode-se considerar diretamente o $Z=0,85.d$, no presente trabalho foi usado $Z = d - x$ e calculado um novo “x” para cada caso (ver figura 2). Com isso pode-se observar a influência que o aumento da classe de concreto causa nessa altura de cálculo. As Figuras 8, 9 e 10, trazem os gráficos que demonstram o percentual de altura útil (Z) encontrada para cada situação de cálculo, considerando as variáveis carga, solo e classe do concreto.

Figura 8: percentual de altura útil (Z) para concreto classe C20.



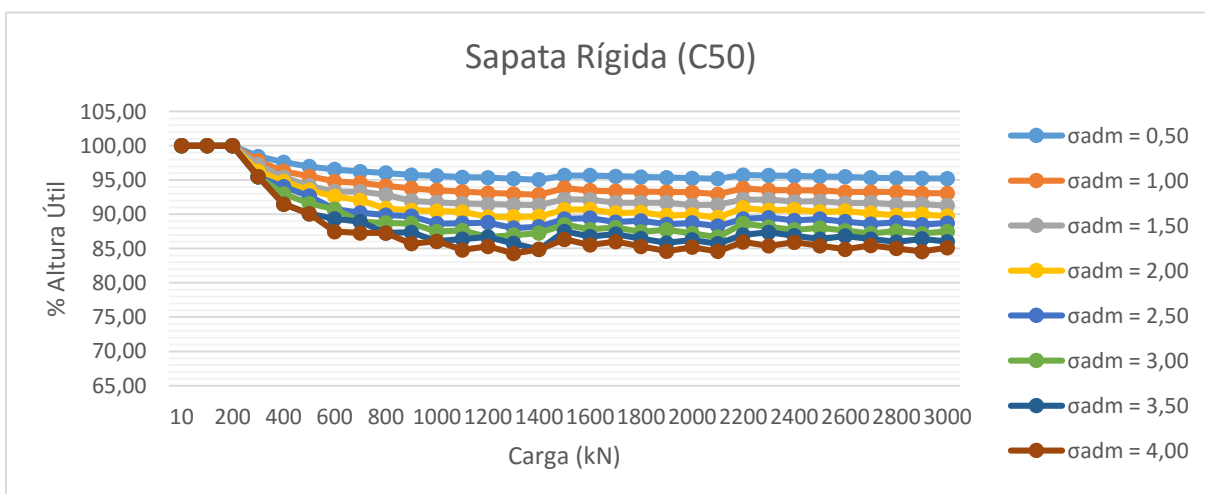
Fonte: Do Autor.

Figura 9: percentual de altura útil (Z) para concreto classe C30.



Fonte: Do Autor.

Figura 10: percentual de altura útil (Z) para concreto classe C50.



Fonte: Do Autor.

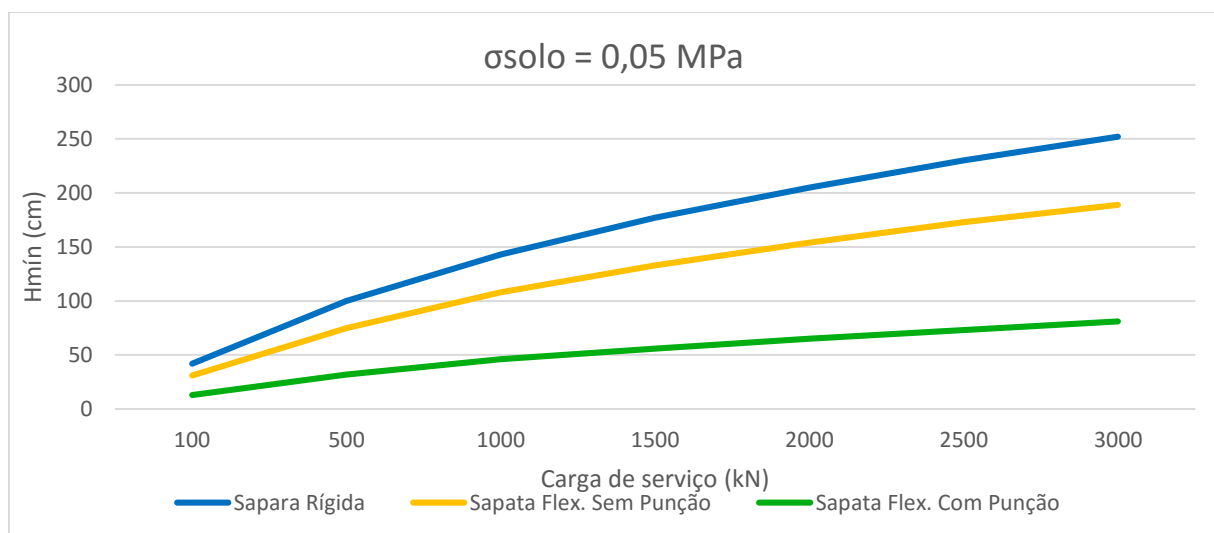
Analisando os gráficos (Figura 8, 9 e 10) é possível observar que para cada valor de tensão admissível do solo existe uma faixa linear de altura útil, esse fato vai contra o que afirma Araújo (2010) que adota 85% para todos os casos.

É possível observar também que com o aumento da classe do concreto houve uma elevação do percentual de altura útil. Isto explica-se pelo fato de a classe do concreto estar diretamente ligada a resistência das bielas de compressão. Vale salientar também que a classe do concreto apesar de influenciar na resistência da biela, não exerce uma influência direta na altura da sapata visto que esta é calculada pela equação 2 do presente trabalho.

3.2. Alturas mínimas obtidas

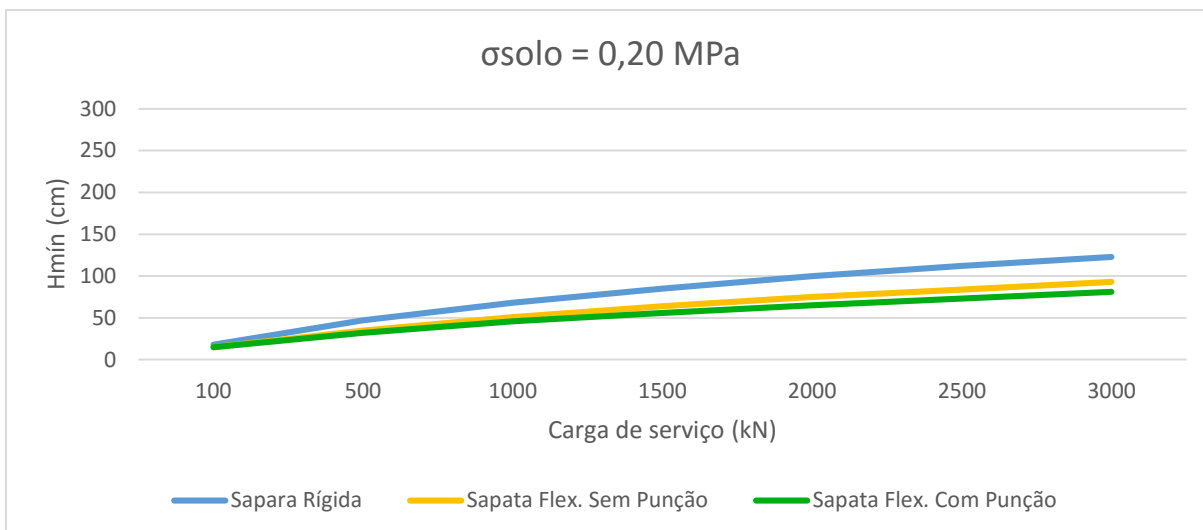
Nesta etapa serão apresentadas as alturas mínimas obtidas para cada modelo calculado em função da resistência do solo e da carga aplicada. As Figuras 11, 12 e 13, apresentam os gráficos que mostram as alturas mínimas calculadas para cada situação, considerando-se solos com resistência admissível de 0,05 MPa, 0,20 MPa e 0,40 MPa respectivamente.

Figura 11: Alturas mínimas para solo com baixa resistência.



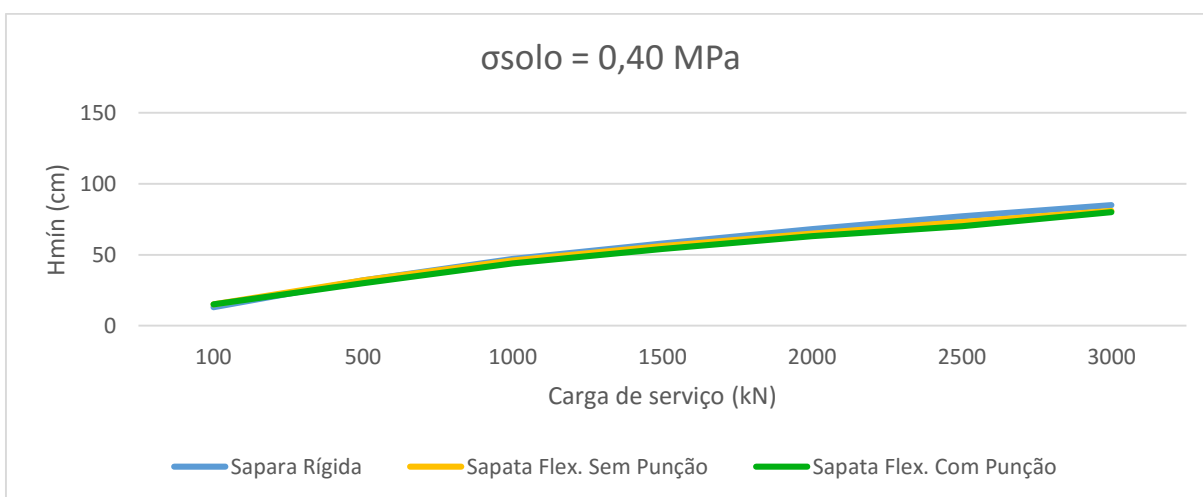
Fonte: Do Autor.

Figura 12: Alturas mínimas para solo com resistência média.



Fonte: Do Autor.

Figura 13: Alturas mínimas para solo com boa resistência.

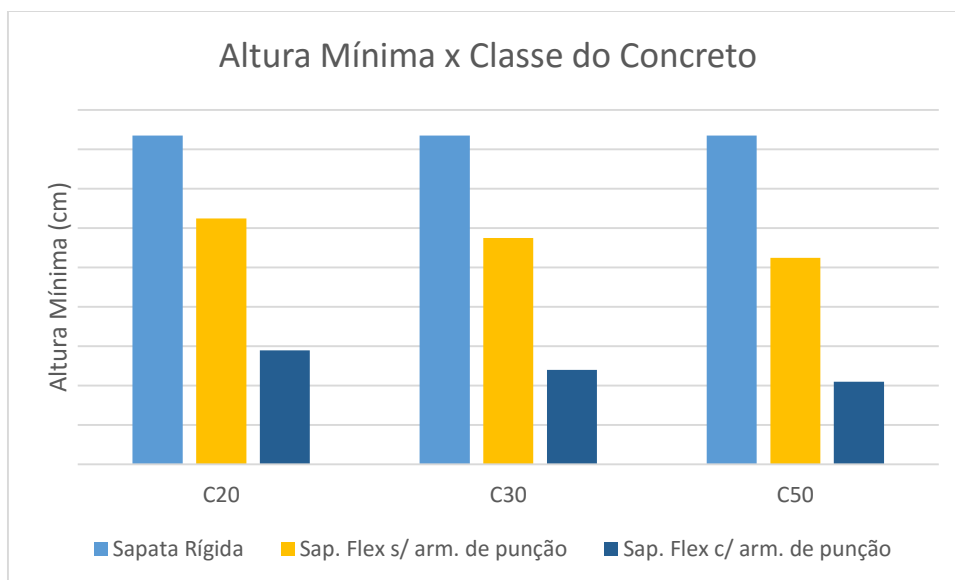


Fonte: Do Autor.

Nota-se nos gráficos das Figuras 11,12 e 13 que para solos considerados mais frágeis (com tensões admissíveis até 0,20 MPa) as sapatas flexíveis possuem alturas mínimas até 40% menor. No entanto para solos com maiores tensões admissíveis esses números são revertidos em favor das sapatas rígidas, pois estas consomem menos aço e suportam cargas maiores com altura semelhante as flexíveis.

Na Figura 14, é apresentado um gráfico que relaciona a altura mínima com as classes de concreto. Para a elaboração desse gráfico foi utilizado uma carga média no valor de 1500 kN, porém o comportamento exposto no gráfico também se repete quando aplicado outras cargas.

Figura 14: Alturas mínimas em função da classe do concreto.



Fonte: Do Autor.

Quanto as diferentes classes de concreto, notou-se diferentes comportamentos para os três modelos de sapata. As sapatas rígidas não tiveram resultados significativos ao se aumentar a classe do concreto, obtendo uma redução em média de 10% no consumo de armadura, porém não reduzindo nada a altura mínima calculada, o que vai de encontro ao que afirma Araujo (2010) sobre esse tipo de sapata. Isso se explica pelo fato da resistência à compressão não estar diretamente ligado ao cálculo da altura da sapata, como já explicado anteriormente. A sapata flexível com armadura de punção foi a que obteve resultados melhores com o aumento da classe do concreto, com um concreto C30 atingiu-se em média 7% de redução na altura em relação ao C20, já o concreto C50 essa redução chegou até 15% também em relação ao C20.

3.3. Planilha de cálculo obtida

Como um dos objetivos iniciais do presente trabalho, chegou-se a uma planilha no MS Excel, esta tem a função de calcular e dimensionar sapatas de acordo com a NBR 6118 (2014) e utilizando os três modelos de cálculos abordados nesse trabalho. Na guia “Dados de Entrada”, é possível entrar com a carga de serviço, classe do concreto, tensão admissível do solo, tensão de escoamento do aço, taxa de armadura, e as dimensões da seção do pilar. Através dessas variáveis serão feitos os cálculos para os três modelos de sapata. Então na guia “Resultados Propostos” são expostos os

resultados propostos, que são a dimensão da base da sapata quadrada, altura mínima, área de aço e volume para cada modelo de cálculo. A guia “Dimensionamento Adotado” possibilita que o usuário entre com uma nova altura que ele deseja utilizar em seu projeto, então todos os demais dados são recalculados, além de avisar ao usuário qual modelo de sapata se enquadra seu projeto. Nesta etapa também é oferecido ao usuário a opção de usar o maior “As” nas duas direções a fim de facilitar a execução. Por fim a tabela fornece a guia “Detalhamento” onde é apresentado a quantidade de barras necessárias e o espaçamento entre elas para cada diâmetro nominal de mercado. Na figura 11 pode-se ver como ficou a interface do usuário.

Figura 11: Planilha de dimensionamento de sapatas.

Dados de Entrada					
Carga (kN)	1500	ap é a MAIOR dimensão do pilar bp é a menor dimensão do pilar	ap (cm)	50	Seção do pilar OK
Fck (MPa)	20		bp (cm)	30	
Solo (MPa)	0,05				
Fyk (MPa)	500				
ρ (Tx armadura)	0,15				
Resultados Propostos					
A=B (cm)	550,00	A e B são as dimensões da base da sapata			
Tipos de Sapatas	Hmín (cm)	As (cm ²)(ap)	As (cm ²)(bp)	Vol. (m ³)	
Sapata Rígida	173	14,84	15,43	33,74	
Sapata Flex. S/ Arm. de punção	130	16,64	17,70	24,19	
Sapata Flex. C/ Arm. de punção	56	38,93	41,36	11,36	
Dimensionamento Adotado					
H adotado (cm)	200	Tipo de Sapata	Sapata Rígida		
As (cm ²) (ap)	12,76	➔	As (cm ²) adotado nas duas direções		13,27
As (cm ²) (bp)	13,27				
Volume (m ³)	38,57	Maior As adotado nas duas direções para simplificar a execução			
h (cm)	80				
Detalhamento					
Bitola (mm)	Área (cm ²)	Qtde de Barras	Esp. (cm)		
5,0	0,20	67	8,0		
6,3	0,32	42	13,0		
8,0	0,50	27	20,0		
10,0	0,8	17	33,0		
12,5	1,25	11	54,0		
16,0	2,00	7	90,0		
20,0	3,15	5	135,0		
25,0	5,00	3	270,0		
32,0	8,00	2	540,0		

Fonte: Do Autor.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu que fossem analisadas três metodologias diferentes de calcular sapatas. Pode-se então concluir que:

- ✓ Sapatas flexíveis tendem a ser mais eficazes para solos frágeis e com baixas cargas de serviço.
- ✓ Sapatas rígidas são mais econômicas quando empregadas em solos com tensão admissível acima de 0,20 MPa.
- ✓ Não é eficiente do ponto de vista econômico aumentar a classe do concreto das sapatas rígidas.
- ✓ Para solos com boa resistência, sapatas rígidas e flexíveis possuem consumo de concreto semelhante, porém sapatas rígidas consomem menos armadura.
- ✓ A planilha produzida durante a elaboração desse trabalho é capaz de auxiliar no dimensionamento e na visualização de resultados, porém o papel principal nesse processo continua sendo do engenheiro que irá utiliza-la, pois é ele que deve saber interpretar os resultados e escolher o modelo de sapata mais adequado.

REFERÊNCIAS

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas, **Projeto Estrutural de Sapatas**. Departamento de Estruturas e Construção Civil – Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Sapatas.pdf>>.

ANDRADE, J. R. L. (1989). **Dimensionamento estrutural de elementos de fundação**. São Carlos, EESC – USP. (Notas de aula).

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. 321 p. (4).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2010. 91 p.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Sapatas De Fundação**: Notas de Aula. Bauru: Unesp - Universidade Estadual Paulista, 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: Segundo a NBR 6118 (2014). 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2014. 416 p.

TURAZZI, Renata de Bittencourt. **Estudo comparativo entre sapatas isoladas rígidas e flexíveis com carga centrada.** 2009. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.