

# Estimativa da tensão admissível do solo e dimensionamento geométrico de sapatas isoladas e corridas com uso do Excel.

Estimation of permissible soil tension and geometric dimensioning of shallow foundation (pad and strip) using Excel.

Alinne Christinna Maria Portugal<sup>†</sup>, Bruna Brandão Alves do Pinho<sup>‡\*</sup>, Marcelle Brandão de Carvalho<sup>§</sup>

Como citar esse artigo. Portugal, A.C.M; Pinho, B.B.A; Carvalho, M.B. Estimativa da tensão admissível do solo e dimensionamento geométrico de sapatas isoladas com o uso do Excel. Revista Teccen. 2021 Jan./Jun.; 14 (1): 19-27.

## Resumo

Sapatas são elementos de fundações rasas, cuja função é transportar as cargas provenientes dos pilares até o solo. Por ser estruturas encobertas, raramente inspecionadas, o dimensionamento dos elementos de fundações deve ser realizado de forma segura e com métodos confiáveis. Um dos ensaios mais difundidos no Brasil, o ensaio com o SPT, fornece resultados que permitem estimar características do solo analisado. O presente artigo consiste no desenvolvimento de uma planilha elaborada no Microsoft Excel dedicada a otimizar a estimativa da capacidade resistiva do solo e tensão admissível de sapatas isoladas e corridas (cargas cêntricas) e estabelecer a área da seção transversal mínima, com base no SPT, utilizando-se de métodos empíricos (anteprojeto), semiempíricos e teórico. Como resultado, temos a estimativa de parâmetros importantes do solo, como ângulo de atrito interno, coesão não drenada (para solos argilosos), peso específico equivalente do solo e obtenção da tensão admissível com agilidade e minimização de erros, além do acompanhamento dos resultados através de gráfico.

**Palavras-chave:** Tensão Admissível do Solo; Fundações Superficiais; Capacidade de Carga; Dimensionamento Geométrico; Otimização.

## Abstract

Pad foundations, also known as pad footings or spread footings, are elements of shallow foundations, whose function is to transport the loads from the pillars to the ground. As they are covered structures, rarely inspected, the dimensioning of the foundation elements must be carried out safely and with reliable methods. One of the most widespread tests in Brazil, the simple soil recognition test with SPT, provides results that allow estimating parameters of the analyzed soil. The present article consists in the development of an electronic spreadsheet elaborated in Microsoft Excel dedicated to optimize the estimate of the load capacity and allowable tension of the ground of isolated shoes and running with centered vertical load and to establish the area of the minimum cross section, from the test. of simple soil recognition, the SPT, using empirical (preliminary), semi-empirical and theoretical methods. As a result, we have the estimation of important soil parameters, such as internal friction angle, undrained cohesion (for clay) and equivalent specific weight of the soil, influence of the water table and obtaining the permissible tension with agility and minimizing errors, in addition to monitoring the results through graph.

**Keywords:** Permissible Soil Tension; Shallow Foundations; Load Capacity; Geometric Dimensioning; Optimization.

## Introdução

Sapatas são elementos de fundações localizados próximo a superfície do terreno, cuja função é transportar as cargas estruturais até o solo. O solo que irá resistir a esse carregamento, por sua vez, apresenta propriedades relacionadas a sua constituição, compacidade etc.

Por serem estruturas encobertas, raramente inspecionadas, o dimensionamento dos elementos de fundações deve ser realizado de forma segura e com métodos confiáveis. Cardoso (2011) revela que, apesar da sua importância, os projetos de infraestrutura, por vezes, não recebem a mesma relevância que a superestrutura.

Segundo Teixeira (2015), são vários os fatores que influenciam na escolha e no dimensionamento das fundações. A análise dos parâmetros demanda metodologia de cálculos, que feitos de forma manual, acabam solicitando muito tempo.

Atualmente, o tempo disponível para o desenvolvimento de projetos está gradativamente mais limitado e a resposta requer processos informatizados que permitam o dimensionamento seguro, célere e econômico (CARDOSO, 2011).

Com o objetivo de otimizar o dimensionamento geométrico dos elementos de fundações do tipo sapata, de modo que alterações e correções sejam realizadas sempre que demandadas, com a agilidade requerida,

Afiliação dos autores:

<sup>†</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>‡</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>§</sup> Me. em Engenharia Geotécnica e Docente pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

\* Email de correspondência: bruna\_brandao89@hotmail.com

Recebido em: 22/09/20. Aceito em: 24/03/21.

faz-se necessário o desenvolvimento de uma formulação computacional que permita analisar diferentes substratos e estimar a tensão de ruptura ( $\sigma_r$ ) e conseguinte a tensão admissível do solo ( $\sigma_{adm}$ ).

Um dos ensaios mais difundidos no Brasil, o ensaio de simples reconhecimento do solo com o SPT ou simplesmente SPT, como popularmente conhecido, fornece resultados que permitem estimar parâmetros do solo analisado. A  $\sigma_{adm}$  pode ser obtida com base nesta investigação (RUYER, 2005).

Como vantagens do teste, pode-se citar seu baixo custo, sua simplicidade de execução e seu resultado representado por um valor numérico, afirma Rocha e Moraes (2015).

Delimitou-se o presente trabalho em: revisão de literatura, escolha do programa apto a resolver diferentes tarefas de cálculos, escolha dos elementos de fundações superficiais, desenvolvimento do roteiro de cálculo e análise dos métodos de estimativa da tensão admissível do solo previstos na NBR 6122 (ABNT, 2019).

Posteriormente aos estudos, foi elaborada planilha eletrônica no programa Microsoft Excel para estimativa da  $\sigma_r$  e  $\sigma_{adm}$  de sapatas isoladas e corridas com carga centrada, utilizando os métodos empíricos (anteprojeto), semiempíricos e teórico, com base no ensaio de SPT.

Nas próximas seções, serão exibidas a revisão bibliográfica, os materiais e métodos utilizados, o delineamento e detalhamento da planilha eletrônica, os resultados alcançados e, por fim, as considerações finais.

## Revisão Bibliográfica

Em Oliveira e Amancio (2016), utiliza-se o programa Microsoft Excel com intuito de reduzir o tempo despendido na obtenção da  $\sigma_{adm}$  para sapatas isoladas e com cargas centradas. Os parâmetros do solo devem ser fornecidos pelo usuário. Os resultados alcançados foram positivos, tendo em vista que a planilha analisa diferentes tipos de solo, com ou sem a presença do lençol freático e oferece uma análise gráfica das distintas técnicas de cálculo empregadas.

Em Lima (2017), foi desenvolvido no programa Excel uma planilha capaz de otimizar a estimativa da capacidade resistiva do solo, dimensionar sapatas isoladas e rígidas em concreto armado e realizar verificações. Os resultados foram eficazes, haja vista o dimensionamento absoluto do elemento de fundação, a redução no tempo para obtenção das respostas e simplicidade de operação. Para tanto, é necessário informar parâmetros do solo e realizar o dimensionamento prévio da área da base da sapata.

Em Alves (2018), a otimização do dimensionamento, detalhamento e verificação de fundações superficiais foi realizada através do ambiente

Excel. Para detalhar o elemento de fundação, devem ser inseridos dados do solo, o tipo e dimensionamento prévio da base da fundação, a ruptura, dados do pilar, a ocorrência de excentricidade e a capacidade resistiva do solo estimada pela versão de 1996 da NBR 6122 (ABNT, 1996). Os resultados apontaram uma precisão satisfatória.

Em Melo (2018), utiliza-se o software Excel para o desenvolvimento de uma planilha que auxilia no desenvolvimento de “projetos estruturais e geotécnicos de elementos de fundação do tipo sapatas”. Tendo como resultado uma folha de cálculos com linguagem familiar e acessível que fornece as dimensões e área de aço mínimas da sapata e verifica o atendimento no que tange o recalque elástico.

## Material e Métodos

Projetou-se planilha de cálculo no programa Excel utilizando recursos gráficos e funções básicas, como somar e dividir, e funções mais elaboradas, como a busca condicional de dados.

Primeiramente, foi feita pesquisa bibliográfica em normas técnicas da ABNT, como NBR 6122 (ABNT, 2019) e a NBR 6484 (ABNT, 2001), em livros e trabalhos acadêmicos voltados ao tema. O passo seguinte foi nutrir a planilha com dados necessários para obter a  $\sigma_r$ , como a designação do solo, ruptura em que o mesmo está sujeito, fatores de carga e de forma da fundação, coesão não drenada do solo ( $S_u$ ), ângulo de atrito interno ( $\phi$ ) e a correlação entre peso específico do solo ( $\gamma$ ) e o  $N_{SPT}$  (índice de resistência à penetração do amostrador padrão no solo).

Vale ressaltar que a planilha foi desenvolvida para analisar uma gama diversificada de substratos, sujeitos ou não a influência do lençol freático, através do método empírico (fase de anteprojeto), método semiempírico e método teórico, aplicável as geometrias de sapatas corrida, quadrada, retangular e circular.

Adiante, serão apresentados os métodos e formulações utilizadas para obter parâmetros do solo, capacidade de carga e tensão admissível do solo.

### Capacidade de carga do solo ( $\sigma_r$ ) e tensão admissível ( $\sigma_{adm}$ )

A determinação da  $\sigma_r$  consiste na carga máxima que o solo suporta até a sua fratura (CABRAL, 2018).

De acordo com NBR 6122, a tensão suprema que o solo atende ao estado limite último e de serviço, utilizando-se de fator de segurança é denominada tensão admissível do solo ( $\sigma_{adm}$ ). A norma contempla três métodos distintos para determinar a  $\sigma_{adm}$ : método semiempírico, teórico e prova de carga (ABNT, 2019).

Em Melo (2018), utiliza-se formulação desenvolvida por Cintra, Aoki e Albiero (2011) para

a obtenção da  $\sigma_{adm}$ , dividindo-se a  $\sigma_r$  por um fator de segurança global (FS) (Equação 1) que, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2019), pode ser igual a “3”, caso a  $\sigma_r$  tenha sido estimada por métodos semiempíricos ou analíticos, ou igual a “2” caso essa tensão tenha sido estimada através de, pelo menos duas provas de carga na fase de projeto, acrescido do método semiempírico ou analítico.

onde:

$$\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_r}{FS} \quad \text{Eq. 1}$$

$\sigma_r$ : tensão de ruptura do solo

FS: fator de segurança.

### Simplificação da classificação do solo

De acordo com Rebello (2008), solos puros raramente são encontrados na natureza, especialmente siltes e argilas. Portanto é usual considerar o solo em predominância na camada para o uso de tabelas que fazem a relação de correspondência com o ensaio de SPT. A Tabela 1 especifica o solo de acordo com a compacidade e consistência.

**Tabela 1.** Nomeação do solo de acordo com o  $N_{SPT}$ .

Nomeação	$N_{SPT}$
Areia ou Silte (fofo)	$\leq 4$
Areia ou Silte Arenoso (pouco compacto)	5 a 8
Areia ou Silte Arenoso (medianamente compacto)	9 a 18
Areia ou Silte Arenoso (compacto)	19 a 40
Areia ou Silte Arenoso (muito compacto)	$> 40$
Argila ou Silte Argiloso (muito mole)	$\leq 2$
Argila ou Silte Argiloso (mole)	3 a 5
Argila ou Silte Argiloso (médio)	6 a 10
Argila ou Silte Argiloso (rijo)	11 a 19
Argila ou Silte Argiloso (duro)	$> 19$

Fonte: ABNT, 2001.

### Bulbo de tensões

Em Oliveira (2015), utiliza-se do método de Barata (1984) para estabelecer o comprimento de influência do bulbo de tensões a partir da relação L (maior lado da sapata) sobre B (menor lado da sapata). Em posse do valor de  $\alpha$  (Tabela 2), a estimativa do comprimento do bulbo é dada por  $\alpha \cdot B$ .

### Peso específico do solo ( $\gamma$ )

Em Camilo, Amorim e Terra (2019), as correlações entre o  $N_{SPT}$  e o  $\gamma$  de solos coesivos (Tabela 3) e granulares (Tabela 4) são feitas a partir de Godoy (1972, apud CINTRA e AOKI, 2011).

**Tabela 2.** Valores de  $\alpha$ .

L/B	Valores de $\alpha$
1,0*	2,0
1,5	2,5
2,0	3,0
3,0	3,5
4,0	4,0
5,0	4,25
10,0	5,25
20,0	5,5
Infinito	6,0

\*válido para sapatas circulares

Fonte: OLIVEIRA, 2015.

**Tabela 3.** Peso Específico de Solos Argilosos ( $\gamma$ ).

Consistência	$N_{SPT}$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Argila ou Silte Argiloso muito (mole)	$\leq 2$	13
Argila Mole ou Silte Argiloso (mole)	3-5	15
Argila Média ou Silte Argiloso (médio)	6-10	17
Argila Rija ou Silte Argiloso (rijo)	11-19	19
Argila Dura ou Silte Argiloso (duro)	$\geq 20$	21

Fonte: OLIVEIRA, 2015.

**Tabela 4.** Peso Específico de solos arenosos ( $\gamma$ ).

Compacidade	$N_{SPT}$	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )		
		Seco	Úmido	Saturado
Fofa	$< 5$	16	18	19
Pouco Compacta	5-8	17	19	20
Medianamente Compacta	9-18	18	20	21
Compacta	19-40	18	20	21
Muito Compacta	$> 40$	18	20	21

Fonte: CAMILO et al., 2019.

### Método Empírico (fase de anteprojeto)

Na fase de anteprojeto foi adotado o método empírico para estimativa das pressões básicas do solo contemplado na NBR 6122 (ABNT, 1996), demonstrados na Tabela 5, e a relação estabelecida entre o índice de resistência do solo e tensão admissível desenvolvida pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT, exposto na Tabela 6, com o objetivo de dimensionar previamente a área da base da sapata.

**Tabela 5.** Estimativa da pressão admissível ( $\sigma_{adm}$ ).

Tipologia do Solo	$s_{adm}$ (kPa)
Areia medianamente compacta	200
Areia compacta	400
Areia muito compacta	500
Argila média	100
Argila rijá	200
Argila dura	300
Silte médio ou medianamente compactos	100
Silte rijo ou compactos	200
Tipologia do Solo	$s_{adm}$ (kPa)
Silte duro ou muito compacto	300

Fonte: OLIVEIRA, 2015.

**Tabela 6.** Estimativa da taxa do solo pelo IPT.

Tipologia	Consistência	Taxa do Solo (kPa)
Areias ou Siltes	Muito fofa (o)	0 – 100
	Pouco compacta(o)	100 – 200
	Medianamente compacta (o)	200 – 300
	Compacta(o)	≥ 400
Argilas	Muito Mole	0 – 25
	Mole	50 – 100
	Média	150 – 300
	Rija	300 – 400
	Dura	≥ 400

Fonte: REBELLO, 2008.

### Métodos semiempíricos

Ruver (2005) traz alguns métodos utilizados para obtenção da  $\sigma_{adm}$ .

Para solos argilosos e  $5 \leq NSPT \leq 20$ , disponível em Cintra, Aoki e Albiero (2003).

$$\sigma_{adm} = 20 \cdot N_{SPT} \text{ (kPa)} \quad \text{Eq. 2}$$

Para solos arenosos pelo método de Teixeira (1996, apud CINTRA, AOKI e ALBIERO, 2003).

$$\sigma_{adm} = 50 + (10 + 4B) \cdot N_{SPT} \text{ (kPa)} \quad \text{Eq. 3}$$

onde:

B é a menor dimensão da sapata.

E solos sem distinção e  $4 \leq NSPT \leq 16$  pelo método de Mello (1975, apud CINTRA, AOKI e ALBIERO, 2003).

$$\sigma_{adm} = 100 \cdot \sqrt{N_{SPT}} - 1 \text{ (kPa)} \quad \text{Eq. 4}$$

Em Rebello (2008), utiliza-se o NSPT médio ( $\bar{N}$ ) para obter a  $\sigma_{adm}$ . O método também é aplicável a variáveis tipos de solo.

$$\sigma_{adm} = \frac{\bar{N}}{5} \cdot 100 \text{ (kPa)} \quad \text{Eq. 5}$$

### Método teórico para determinação da capacidade de carga do solo

A estimativa da capacidade de carga do solo pode ser feita através de formulações propostas por pesquisadores, como Terzaghi (1943) e Vésic (1975). As exposições são embasadas na compressibilidade do solo e na resistência ao cisalhamento (OLIVEIRA & AMANCIO, 2016).

As rupturas consagradas são a generalizada, ocorrente em solos compactos ou rijos, ruptura por cisalhamento por punção, suscetível em solos fofos, moles ou pouco compactos e ruptura local por cisalhamento do solo, que é o meio termo entre a ruptura geral e a ruptura por punção (AGUIAR, 2015).

Terzaghi (1943) elaborou suas considerações tendo como premissa uma sapata corrida. As transmissões dos esforços e quais regiões do solo eram estimuladas foram objetos do seu estudo. (CAPUTO & CAPUTO, 2015).

Posteriormente, a sua teoria foi adaptada por Vésic (1975, apud CINTRA, AOKI e ALBIERO, 2003) chegando na formulação para as demais sapatas, adotando-se fatores de correção ( $Sc$ ,  $Sq$ ,  $Sy$ ), de acordo com o formato da base da sapata (TIZOTT, 2013).

com:

$$\sigma_r = c \cdot N_c \cdot Sc + q \cdot N_q \cdot Sq + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \quad \text{Eq. 6}$$

$\sigma_r$ : capacidade de carga do solo (kPa);

$c$ : coesão do solo (kPa);

$q$ : tensão efetiva na cota de apoio (kPa);

$\gamma$ : peso específico do solo (kN/m<sup>3</sup>);

$B$ : menor dimensão da fundação (m);

$N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$ : fatores de capacidade de carga;

$Sc$ ,  $Sq$  e  $S_\gamma$ : fatores de forma da fundação.

A mesma equação pode ser empregada para ruptura por punção, basta admitir a redução empírica do ângulo de atrito ( $\phi'$ ) e da coesão não drenada ( $c'$ ) (OLIVEIRA & AMANCIO, 2016).

$$c' = \frac{2}{3} \cdot c \quad \text{Eq. 7}$$

onde:

$c$  = coesão do solo.

$$\tan \phi' = 2/3 \tan \phi \quad \text{Eq. 8}$$

onde:

$\phi$  = ângulo de atrito interno do solo.

Os valores de  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  são fatores de carga estabelecidos através de Vésic (1975) e apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Fatores de carga.

(°)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	(°)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5,14	1	0	23	18,05	8,66	8,2
1	5,38	1,09	0,07	24	19,32	9,6	9,44
2	5,63	1,2	0,15	25	20,72	10,66	10,88
3	5,9	1,31	0,24	26	22,25	11,85	12,54
4	6,19	1,43	0,34	27	23,94	13,2	14,47
5	6,49	1,57	0,45	28	25,8	14,72	16,72
6	6,81	1,72	0,57	29	27,86	16,44	19,34
7	7,16	1,88	0,71	30	30,14	18,4	22,4
8	7,53	2,06	0,86	31	32,67	20,63	25,99
9	7,92	2,25	1,03	32	35,49	23,18	30,21
10	8,34	2,47	1,22	33	38,64	26,09	35,19
11	8,8	2,71	1,44	34	42,16	29,44	41,06
12	9,28	2,97	1,69	35	46,12	33,3	48,03
13	9,81	3,26	1,97	36	50,59	37,75	56,31
14	10,37	3,59	2,29	37	55,63	42,92	66,19
15	10,98	3,94	2,65	38	61,35	48,93	78,02
16	11,63	4,34	3,06	39	67,87	55,96	92,25
17	12,34	4,77	3,53	40	75,31	64,2	109,41
18	13,1	5,26	4,07	41	83,86	73,9	130,21
19	13,93	5,8	4,68	42	93,71	85,37	155,54
20	14,83	6,4	5,39	43	105,11	99,01	186,53
21	15,81	7,07	6,2	44	118,37	115,31	224,63
22	16,88	7,82	7,13	45	133,87	134,87	271,75

Fonte: AGUIAR, 2015.

**Tabela 8.** Fatores de forma modificados por De Beer (1967, modificado por VESIC, 1970).

Forma da Sapata	$S_c$	$S_q$	$S_\gamma$
Corrida	1,0	1,0	1,0
Quadrada ou Circular	$1+(N^*q/N^*c)$	$1+\tan\phi$	0,60
Retangular	$1+(B/L)(N^*q/N^*c)$	$1+(B/L)\tan\phi$	$1-0,4 B/L$

Fonte: AGUIAR, 2015.

### Ângulo de atrito interno do solo ( $\phi$ ) e coesão não drenada ( $S_u$ ).

De acordo com Almeida e Oliveira (2018), para estimar ( $\phi$ ), a partir do ensaio de SPT, é possível empregar as correlações de Godoy (1983) e Teixeira (1996).

$$\phi = 28^\circ + 0,4N_{SPT} \quad \text{Eq. 9}$$

$$\phi = (\sqrt{20 + N_{SPT}}) + 15 \quad \text{Eq. 10}$$

Para a estimativa da coesão não drenada ( $S_u$ ) de argilas, foi utilizada a equação proposta por Teixeira e Godoy (1996) (ALMEIDA & OLIVEIRA, 2018).

$$S_u = N_{SPT} \cdot 10 \quad \text{Eq. 11}$$

### Dimensionamento geométrico (área da seção transversal)

Alva (2007) enrobustece a relação explicitada pela Equação 12 para obtenção da área da sapata.

$$A = \frac{P \cdot \alpha}{\sigma} \quad \text{Eq. 12}$$

A: área da base;

P: ação vertical;

$\alpha$ : coeficiente de majoração da carga.

Sapatas com seção transversal retangular devem prever balanços equivalentes em ambas as direções, de maneira que satisfaça a igualdade  $a - a_0 = b - b_0$  (ALVA, 2007).

onde:

a: maior lado sapata;

$a_0$ : maior lado do pilar;

b: menor lado da sapata;

$b_0$ : menor lado do pilar.

Desta forma, resulta na equação:

$$A = a \cdot b = a [a - (a_0 - b_0)] \quad \text{Eq. 13}$$

O desdobramento da área se dá de acordo com a geometria da base da sapata.

1) Sapatas quadradas:

$$A = L^2 \quad \text{Eq. 14}$$

onde:

A: área;

L: lado.

2) Sapatas circulares:

$$A = \pi r^2 \quad \text{Eq. 15}$$

onde:

r: raio.

O dimensionamento geométrico de sapatas corridas é realizado por metro linear e, de acordo com a NBR 6122 (ABNT,2019), a menor dimensão de sapatas isoladas é de 0,60 m.

## Resultados e Discussão

### A planilha eletrônica

A aba inicial da planilha contém o catálogo de abas no qual o usuário poderá escolher, dentre quatro opções: “Instruções de Preenchimento”, “Dados de Entrada”, “Resultados” e “Fórmulas” (Figura 1). Ao clicar sobre uma das opções informadas, o usuário será direcionado a aba correspondente.

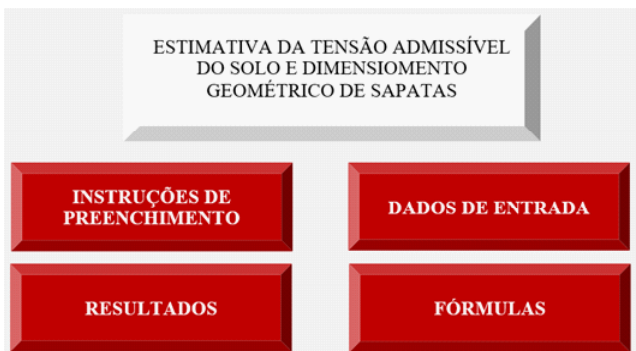


Figura 1. Catálogo de abas da planilha.

Fonte: AUTORES, 2020.

Na aba “Dados de Entrada” o usuário irá preencher as células em branco com bordas vermelhas as informações relativas ao pilar (como carga proveniente e medidas da seção geométrica) e a cota de assentamento da sapata (Figura 2).

CARGA DO PILAR E INFORMAÇÕES DA COTA DE ASSENTAMENTO					
Carga Pilar (kPa)	Seção transversal do pilar	Solo predominante na cota de assentamento	N <sub>SPT</sub> do solo	Cota de assentamento (m)	Fator de Segurança
250,00	QUADRADA	SILTE_ARENOSO	12,00	1,00	3,00
	Menor dimensão em planta do pilar (b)	Maior dimensão em planta do pilar (a)	Em se tratando de pilar-parede, preencher o comprimento total.		
	0,20	0,20			

Figura 2. Informações da carga do pilar e cota de assentamento.

Fonte: AUTORES, 2020.

A Figura 3 exibe as informações inerentes a sobrecarga que o solo acima da sapata propicia. A planilha possibilita informar até três diferentes camadas de solos.

A Figura 4 expressa os campos a serem preenchidos com dados acerca da magnitude do bulbo de tensões.

Após o usuário preencher as células relativas às informações da carga do pilar e cota de assentamento, a planilha irá fornecer o comprimento estimado do bulbo de tensões.

SOBRECARGA SOLO				
Solo 1	Condição do solo	N <sub>SPT</sub>	Altura da camada de solo (m)	Presença de água na camada avaliada
ARGILA		12,00	1,00	NÃO
Solo 2	Condição do solo	N <sub>SPT</sub>	Altura da camada de solo (m)	Presença de água na camada avaliada
Solo 3	Condição do solo	N <sub>SPT</sub>	Altura da camada de solo (m)	Presença de água na camada avaliada

Figura 3. Sobrecarga “q”.

Fonte: AUTORES, 2020.

BULBO DE TENSÕES				
Comprimento de Influência (m)		2,55		
Solo 1	Condição do solo	N <sub>SPT</sub>	Altura da camada de solo (m)	Presença de água na camada avaliada
ARGILA		12,00	1,20	NÃO
Solo 2	Condição do solo	N <sub>SPT</sub>	Altura da camada de solo (m)	Presença de água na camada avaliada
AREIA	ÚMIDO	14,00	1,35	NÃO
Solo 3	Condição do solo	N <sub>SPT</sub>	Altura da camada de solo (m)	Presença de água na camada avaliada
Solo 4	Condição do solo	N <sub>SPT</sub>	Altura da camada de solo (m)	Presença de água na camada avaliada
Solo 5	Condição do solo	N <sub>SPT</sub>	Altura da camada de solo (m)	Presença de água na camada avaliada

Figura 4. Bulbo de tensões.

Fonte: AUTORES, 2020.

Com base neste comprimento, o usuário irá inserir as informações do boletim de sondagem referentes às camadas de solos atingidas pelo bulbo.

Tanto os campos de sobrecarga do solo (q) e bulbo de tensões há figuras ilustrativas que buscam auxiliar o usuário no preenchimento (Figura 5).

A aba “Resultados” dispõe das  $\sigma_{adm}$  do solo pelos métodos empíricos, semiempíricos e teórico.

Além das tensões supracitadas, são dadas as demais informações estimadas ao longo do processo de obtenção da  $\sigma_r$ , como: classificação do solo; ruptura suscetível; peso específico equivalente; peso específico da sobrecarga; ângulo de atrito interno e coesão não drenada do solo (Figura 6); fatores de carga e forma e, por fim, a área mínima e dimensões em planta (B e L) da base da sapata.

### Demonstração de uso da planilha

Para análise da funcionalidade da planilha foram simulados 2 locais com terrenos distintos.

Trata-se o primeiro local de um solo heterogêneo com o nível d’água (N.A) a - 3,7 m. A análise qualitativa

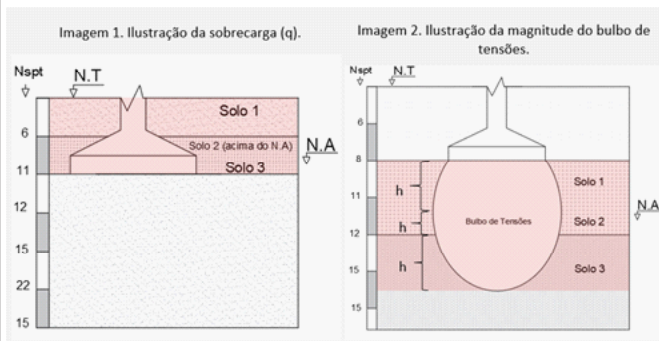


Figura 5. Ilustrações auxiliaadoras no preenchimento da planilha.

Fonte: AUTORES, 2020.

Resultados	
Designação do solo	AREIA MEDIANAMENTE COMPACTA
Yeq (kN/m <sup>2</sup> )	17,32
Tipo de ruptura do solo	LOCALIZADA
Coesão não drenada (S <sub>u</sub> ) para solos argilosos (kPa)	0,00
Tensão de ruptura geral (kPa) - Vésic (1975)	718,84
Ângulo de atrito (°) - Método Goddy para solos arenosos	34,40
Tensão de ruptura local (kPa) - Vésic (1975)	257,77
Ângulo de atrito (°) - Método Teixeira para solos arenosos	32,89
q (kN/m <sup>2</sup> )	17,00
Forma fundação	RETANGULAR

Figura 6. Resultados complementares.

Fonte: AUTORES, 2020.

aponta a sucessão de camadas de diferentes tipologias. A sapata isolada foi assentada a -1,0 m sobre uma argila arenosa siltosa, cujo índice de resistência do solo ( $N_{SPT}$ ) é igual a 9. A fundação recebe a carga proveniente do pilar de seção transversal quadrada (0,20 x 0,20) m e carga centrada de 600 kPa.

O local 2 corresponde a um solo homogêneo até -4,2 m e com o N.A não atingido, tendo um elemento de fundação assente a -1,0 m sobre areia siltosa com  $N_{SPT}$  de 16. A fundação recebe carga distribuída de uma parede de alvenaria estrutural com 0,20 m de largura e 7,5 m de comprimento e carga distribuída de 30 kN/m.

Os esquemas de sondagens de ambos os locais são representados na Figura 7.

Após preencher todas as informações necessárias para os casos 1 e 2 na aba “Dados de Entrada”, a Tabela 9 sintetiza os valores obtidos de tensões admissíveis e área mínima da base da sapata em ambos os cenários.

Com o objetivo de proporcionar uma visualização mais satisfatória dos resultados, desenvolveu-se o gráfico com  $\sigma_{adm}$  do solo pelos diferentes métodos aqui tratados. As Figuras 8 e 9 apresentam o gráfico das tensões obtidas no cenário 1 e 2, respectivamente.

Constata-se que o método empírico, atualmente abolido da ABNT 6122 desde a revisão de 2010, apresenta tensões admissíveis do solo mais conservadoras que o estipulado pelo IPT.

A análise considerada no procedimento

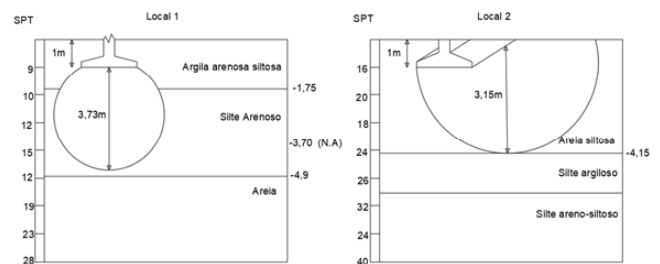


Figura 7. Sondagens dos locais 1 e 2.

Fonte: AUTORES, 2020.

Tabela 9. Resultados de tensões admissíveis e área da base da sapata.

Local	Método de obtenção da tensão admissível (kPa)					Área base (Método Teórico)	
	Empírico Média (IPT e NBR 6122)	Semiempírico Teixeira (1996) (Arenosos) Mello (1975) Rebello (2008)			Cintra, Aoki e Albiero (2003) (Argilosos)		Teórico Vésic (1975)
1	181,0	N/A	282,8	230,0	180,00	159,17	3,96 m <sup>2</sup>
2	238,5	248,4	387,3	360,0	N/A	123,5	0,35 m <sup>2</sup>

Fonte: AUTORES, 2020.

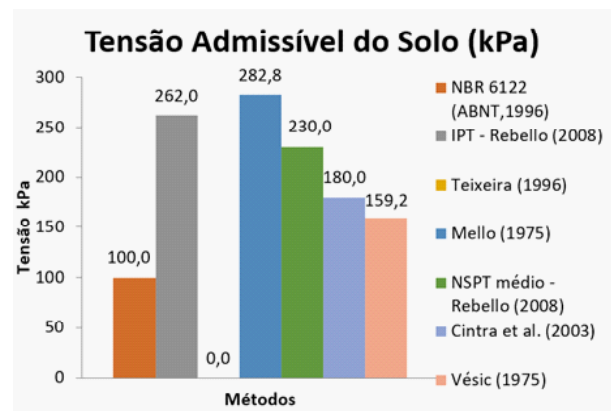


Figura 8. Gráfico das tensões obtidas no local 1.

Fonte: AUTORES, 2020.

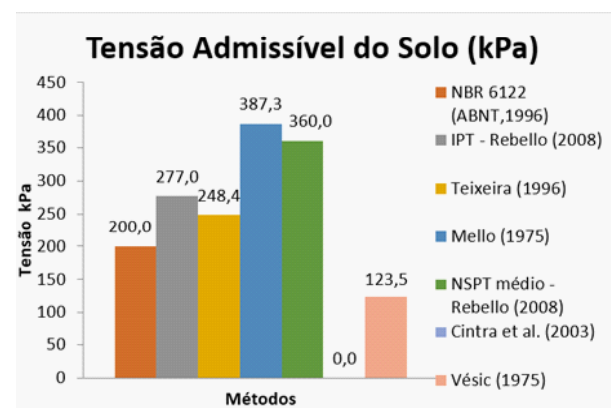


Figura 9. Gráfico das tensões obtidas no local 2.

Fonte: AUTORES, 2020.

semiempírico com formulações elaboradas por Teixeira (1996), empregada em solos arenosos, e Mello (1975), para solos sem distinção, aduzem resultados longínquos no local 2. No local 1, a equação de Teixeira (1996) não é aplicável devido ao solo argiloso.

As tensões obtidas pelo método demonstrado em Cintra, Aoki e Albiero (2003) e pelo método teórico mantiveram congruentes com o método Vésic (1975) no local 1, ao passo que no local 2, Cintra, Aoki e Albiero (2003) não é aplicável devido ao solo arenoso.

O método teórico apresentou queda comparada aos demais métodos, justificando-se o declive devido a ocorrência de ruptura localizada em ambos os cenários.

Pelo método do NSPT médio apresentado em Rebello (2008) as tensões se mantiveram elevadas, comparadas aos outros métodos, nos dois casos.

## Conclusão

Sendo assim, concluiu-se que a automação do processo de estimativa da  $\sigma_{adm}$ , utilizando dados do ensaio de SPT, através da planilha desenvolvida no Microsoft Excel proporciona agilidade no processo de dimensionamento geométrico de sapatas isoladas e corridas, visto que eximi a utilização de tabelas e ábacos elaborados por pesquisadores.

Ademais, permite uma análise gráfica comparativa que minimiza os erros na volição e traz vantagens pela facilidade de manuseio, aplicável à área acadêmica e à área profissional.

Apesar da planilha trazer ilustrações didáticas que permitem o fácil preenchimento, a interpretação dos resultados requer conhecimento teórico dos métodos empregados.

Sugere-se, como trabalho futuro, a expansão do uso da planilha para estimativa da capacidade resistiva do solo e dimensionamento geométrico de fundações profundas.

## Referência Bibliográfica

ABNT (2001). NBR 6484 - Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio.

ABNT (1996). NBR 6122 - Projeto e execução de fundações. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencingomes/disciplinas/construcao-de-edificios/nbr-06122-1996-projeto-e-execucao-de-fundacoes> . Acesso: 13 de março de 2020.

ABNT (2019). NBR 6122 - Projeto e execução de fundações.

AGUIAR, A. N. S. (2015). Capacidade de Carga de Fundação Superficial de Tanque de Armazenamento de Grande Diâmetro. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ALMEIDA; M. A.; OLIVEIRA. R. M. M.; (2018). Estimativa do Ângulo de Atrito e Coesão Através de Índices de Resistência Obtidos pela Sondagem SPT em Solo Laterítico e Colapsível Característico da Cidade de Cascavel no Estado do Paraná. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano.

ALVA, G. M. S (2007). Projeto Estrutural de Sapatas. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia - Departamento de Estruturas e Construção Civil. Disciplina: ECC 1008 – Estruturas de Concreto.

ALVES, A.D. (2018) Automação do Dimensionamento Estrutural de Fundações – Sapatas e Blocos. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, campus Pau dos Ferros, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Barata, F.E. (1984). Propriedades Mecânicas dos Solos: Uma Introdução ao Projeto de Fundações, Livros Técnicos e Científicos, 1 st ed., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DE BEER, E. E. (1967). “Proefondervindelijke bijdrage tot de studie van het gransdraagvermogen van zand onder funderingen op staal”, Annales des Travaux Publics de Belgique, Belgique, 68, No 6, pp. 481-506; 69, No 1, pp. 41-88; No 4, pp. 321-360; No 5, pp. 395-442; No 6, pp. 495-522.

CABRAL, M. P. (2018). Análise do Comportamento de um Edifício apoiado em Fundação Direta na Orla de Santos. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

CAMILO, A. K. S., AMORIM, B. F. C., TERRA, V. S. (2019) Desempenho de Muros de Contenção de Gabião e Concreto Ciclópico com Avaliação de seus Respetivos Sistemas de Drenagem. Universidade do Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

CAPUTO, A. N., CAPUTO, H. P. (2015) Mecânica dos Solos e suas Aplicações - Mecânica das Rochas, Fundações e Obras de Terra - Vol. 2, 7ª edição .Editora: GEN – LTC. Minha Biblioteca. Retirado de <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-3007-4/>

CARDOSO, A. F. C. (2011). Desenvolvimento de um programa de cálculo de sapatas de Betão Armado. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal.

CINTRA, J. C. A., AOKI, N., & ALBIERO, J. H. (2003). Tensão admissível em fundações diretas. São Carlos: RiMa.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N. (2011) Fundações por estacas: projeto geotécnico. Oficina de Textos, São Paulo.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N., & ALBIERO, J. H. (2011) Fundações diretas: Projeto Geotécnico. São Paulo, Oficina de Textos, Edição 1.

GODOY, N. S. (1983). Interpretação de provas de carga em estacas. Encontro Técnico Sobre Capacidade de Carga de Estacas Pré-Moldadas, 1983, São Paulo. Anais. São Paulo: ABMS – NRSP, p. 25-60.

MELO, A. A. (2018). Desenvolvimento de uma planilha eletrônica voltado ao auxílio de projetos estruturais e geotécnicos de elementos de fundação do tipo sapatas. Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

LIMA, J. M. (2017). Ferramenta em Ambiente Excel para o Projeto de Sapatas Rígidas Isoladas. Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

OLIVEIRA, B. L. M.; AMANCIO, L. B. (2016). Otimização do cálculo da capacidade de carga e tensão admissível do solo para sapatas isoladas. REEC Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Vol. 12, Nº 2, 53-66.

OLIVEIRA, A.L.R.V. (2015). Análise dos Recalques e da Estabilidade Global de uma Estrutura de Atracação em Angra dos Reis. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

REBELLO, Y. C. P. (2008). Fundações: Guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 4ª edição. São Paulo: Editora ZIGURATE.

ROCHA, B. P.; MORAIS, T. S. O. (2015). Considerações sobre a Execução e a Interpretação de Ensaio de SPT. 8º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia 2ª Feira da Indústria de Fundações e Geotecnia São Paulo, 23 a 25 de junho de 2015.

RUVER, C. A. (2005). Determinação do Comportamento Carga Recalque de Sapatas em Solos Residuais a partir de Ensaio de SPT. Dissertação apresentada ao programa pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TEIXEIRA, A. H.(1996). Projeto e execução de fundações. Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 3. Anais... Vol. 1, São



Paulo.

TEIXEIRA, A.H.; GODOY, N.S. (1996) Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: Hachichet al. (eds.) Fundações: teoria e prática. São Paulo: Pini, p. 227-264.

TEIXEIRA, J. F. C. (2015). Elaboração de um programa de cálculo automático para Dimensionamento de Sapatas Retangulares de Betão Armado submetidas a Esforços de Flexão Composta Desviada, de acordo com as disposições do Ec2 E Ec7. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

TIZOTT, R. M. (2013). Comparação do Custo Benefício entre dois tipos de Fundações: Sapata Rígida e Radier. Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

TERZAGHI, K. (1943). Theoretical soil mechanics. NePw York, John Wiley & Sons, Inc.

VESIC, A. S. (1970) “Tests on instrumented piles”. In: Journal of Soil Mechanics & Foundations, Duke University, Durham.

VÉSIC, A. S. (1975). Bearing capacity of shallow foundations. In: H. F. Winterkorn; H. Y. Fang (Eds.); New York: Van Nostrand Reinhold Co.