

## Estimativa de Vínculos Elásticos de Fundação

O conceito de “edifício engastado na base” não representa corretamente o comportamento das fundações, independentemente de seu tipo (sapatas ou estacas) e já vem sendo atacado a muito tempo para todos os tipos de estruturas.

Para casos mais simples de elementos de fundação, é possível estimar o comportamento da interação solo-estrutura de forma simplificada e com poucos parâmetros de entrada. Obviamente esta estimativa é muito genérica e pode não representar corretamente o comportamento esperado, mas é um bom “ponto de partida”.

### Sapatas

Para o caso das sapatas, a principal característica do solo que devemos ter é o coeficiente de reação vertical do solo ( $k_v$ ).

Atualmente, no sistema TQS, o usuário precisa definir um valor de tensão admissível do solo ( $\sigma_{adm}$ ) para o dimensionamento das sapatas. Com base neste valor e na utilização da tabela do autor Morrison (SAFE - 1993) é feita a correlação entre  $\sigma_{adm}$  e  $k_v$ .

O usuário também define o valor do coeficiente de atrito ( $\mu$ ) no arquivo de critérios.

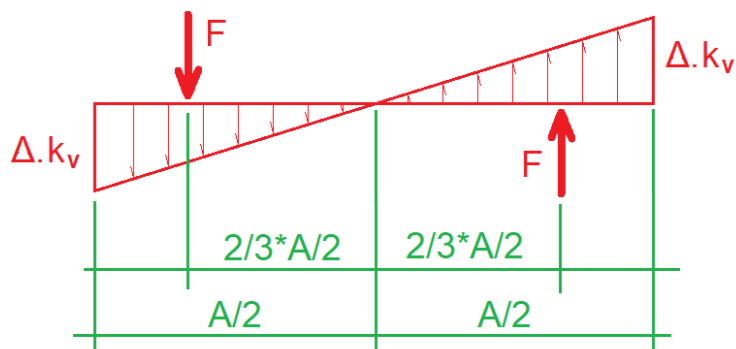
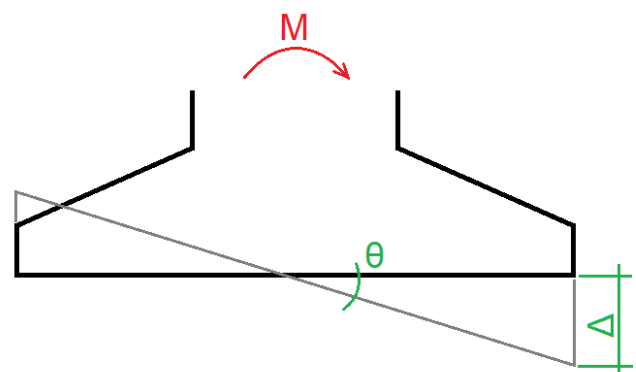
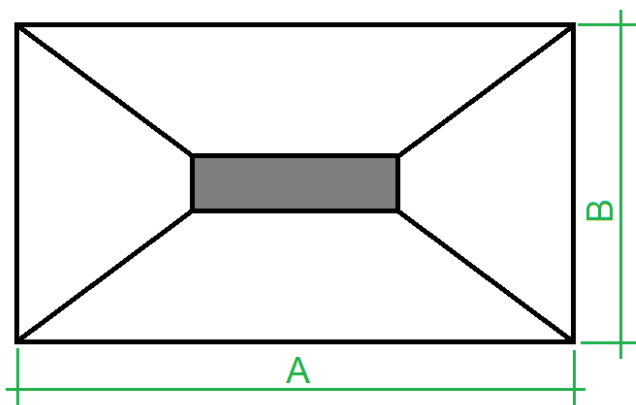
### Dedução da formulação

Para o caso de sapatas, os dados necessários são:

Geometria (A, B);

Coeficiente de reação vertical ( $k_v$ );

Coeficiente de atrito ( $\mu$ );



$$F = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{A}{2} \cdot \Delta \cdot K_v \right) \cdot B$$

$$\operatorname{tg} \theta \sim \theta \sim \frac{\Delta}{\left( \frac{A}{2} \right)} = \frac{2 \cdot \Delta}{A}$$

$$K_\theta = \frac{M}{\theta} = \frac{F \cdot 2 \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot \frac{A}{2} \right)}{\theta} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \left( \frac{A}{2} \cdot \Delta \cdot k_v \right) \cdot B \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot A \right)}{\frac{2 \cdot \Delta}{A}} = \frac{\frac{1}{6} \cdot A^2 \cdot \Delta \cdot k_v \cdot B}{\frac{2 \cdot \Delta}{A}}$$

$$K_\theta = \frac{M}{\theta} = \frac{1}{12} \cdot A^3 \cdot B \cdot K_v = I \cdot k_v$$

$$K_v = A \cdot B \cdot k_v$$

$$K_h = \mu \cdot K_v$$

## Tabela SAFE

A tabela do SAFE a ser utilizada é a seguinte:

Tensão admissível (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kv (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensão admissível (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kv (kgf/cm <sup>2</sup> )
0,25	0,65	2,15	4,30
0,30	0,78	2,20	4,40
0,35	0,91	2,25	4,50
0,40	1,04	2,30	4,60
0,45	1,17	2,35	4,70
0,50	1,30	2,40	4,80
0,55	1,39	2,45	4,90
0,60	1,48	2,50	5,00
0,65	1,57	2,55	5,10
0,70	1,66	2,60	5,20
0,75	1,75	2,65	5,30
0,80	1,84	2,70	5,40
0,85	1,93	2,75	5,50
0,90	2,02	2,80	5,60
0,95	2,11	2,85	5,70
1,00	2,20	2,90	5,80
1,05	2,29	2,95	5,90
1,10	2,38	3,00	6,00
1,15	2,47	3,05	6,10
1,20	2,56	3,10	6,20
1,25	2,65	3,15	6,30
1,30	2,74	3,20	6,40
1,35	2,83	3,25	6,50
1,40	2,92	3,30	6,60
1,45	3,01	3,35	6,70
1,50	3,10	3,40	6,80
1,55	3,19	3,45	6,90
1,60	3,28	3,50	7,00
1,65	3,37	3,55	7,10
1,70	3,46	3,60	7,20
1,75	3,55	3,65	7,30
1,80	3,64	3,70	7,40
1,85	3,73	3,75	7,50
1,90	3,82	3,80	7,60
1,95	3,91	3,85	7,70
2,00	4,00	3,90	7,80
2,05	4,10	3,95	7,90
2,10	4,20	4,00	8,00

Fonte: (SAFE, MORRISON 1983 apud ALEXANDRE JUNIOR, 2012)

Para simplificação, a tabela SAFE será linearizada para a seguinte expressão:

$$K_v = -0.0257 \cdot \sigma_{adm}^4 + 0.2294 \cdot \sigma_{adm}^3 - 0.6517 \cdot \sigma_{adm}^2 + 2.5467 \cdot \sigma_{adm} + 0.1083$$

## Bloco sobre Estacas

Para o caso dos blocos, o problema é mais complexo. O cálculo das molas depende da previsão de recalque da estaca, que possui diversas variáveis e não são de fácil obtenção.

Como informação básica, é necessário que o usuário forneça um perfil de sondagem, que pode ser real ou estimado. O perfil de sondagem é a informação mínima para que o programa consiga estimar as molas na fundação. Além do perfil de sondagem, a geometria do bloco e estacas também serão utilizadas.

As demais variáveis necessárias para o problema são:

Capacidade de carga da estaca ( $F_{adm}$ );

Módulo de elasticidade da estaca ( $E_p$ );

$E_s$  e  $\nu$  do solo;

Coefficiente de atrito ( $\mu$ );

A capacidade de carga da estaca é uma informação existente no arquivo de critérios. O mesmo ocorre com o coeficiente de atrito.

O módulo de elasticidade da estaca será tomado considerando que a estaca sempre terá o mesmo valor, independentemente do valor declarado nos dados do edifício:  $f_{ck} = 15MPa$ .

$$E_p = 5600 \cdot \sqrt{15} = 21.688MPa \sim 21GPa$$

Os valores e  $E_s$  e  $\nu$  do solo devem ser definidos através do perfil de sondagem. Caso não sejam definidos, será utilizada uma correlação entre SPT e os valores de características elásticas do solo.

Para o módulo de elasticidade existe uma infinidade de correlações, mas utilizamos a correlação empírica apresentada pelo autor Schmertmann, pois é simples:

$$E_s = 3,0 \cdot K \cdot N_{SPT} (MPa)$$

O valor de K sai da tabela a seguir:

Descrição do tipo de solo	K (MPa)
Areia com pedregulhos	1,10
Areia	0,90
Areia Siltosa	0,70
Areia argilosa	0,55
Silte arenoso	0,45
Silte	0,35
Argila arenosa	0,30
Silte argiloso	0,25
Argila siltosa	0,20

A priori, cada camada de solo poderia ser definida como Areia (K = 0,90) ou Argila (K = 0,20).

Para o valor do coeficiente de Poisson, ele pode ser tomado fixo com o valor de:

$$v = 0,30$$

## Estimativa do recalque

Após pesquisas diversas, o método de Randolph e Wroth (1978) nos pareceu ser o mais simples e direto para o cálculo de recalques em estacas isoladas, podendo ser utilizado também em estacas em grupo.

Para o cálculo do recalque, os seguintes dados são necessários:

Capacidade de carga da estaca ( $F_{adm}$ );

Módulo de elasticidade da estaca ( $E_p$ );

Geometria das estacas ( $\emptyset$ , comprimento e disposição)

$E_s$  e  $v$  do solo;

$$G = \frac{E_s}{2 \cdot (1 + v)}$$

$$\Delta = w_t \sim \frac{P_t}{\frac{2 \cdot \pi}{\zeta} \cdot l \cdot G_l \cdot \rho \cdot \frac{\tanh(\mu \cdot l)}{\mu \cdot l}}$$

$$\rho = \frac{G_{l/2}}{G_l}$$

$$r_m = 2,5 \cdot l \cdot \rho \cdot (1 - v)$$

$$\zeta = \ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right)$$

$$\mu = \sqrt{\frac{2}{\zeta} \cdot \frac{G_l}{E_p} \cdot \frac{1}{r_0}}$$

## Grupo de estacas

A metodologia descrita não considera efeitos deletérios devidos ao agrupamento de estacas.

## Dedução da formulação

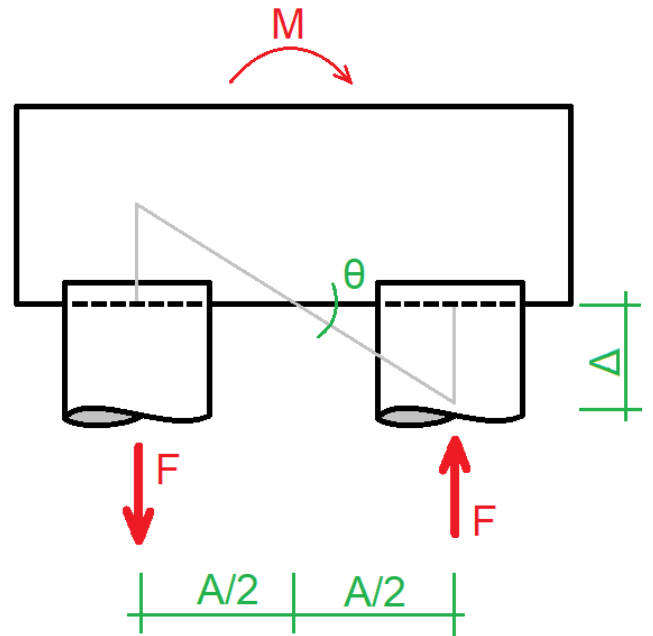
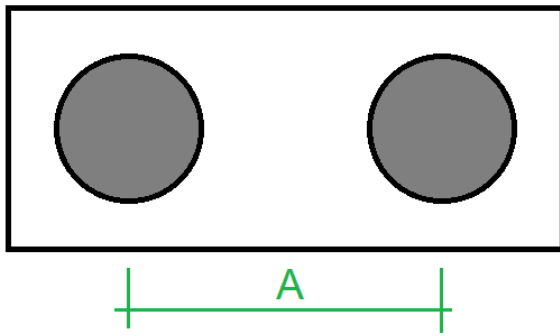
Para o caso de blocos sobre estacas, os dados necessários são:

Capacidade de carga da estaca ( $F_{adm}$ );

Geometria das estacas ( $\emptyset$ , comprimento e disposição)

Recalque previsto para o topo da estaca para a capacidade de carga ( $\Delta$ );

Coefficiente de atrito ( $\mu$ );



$$\operatorname{tg} \theta \sim \theta \sim \frac{\Delta}{\left(\frac{A}{2}\right)} = \frac{2 \cdot \Delta}{A}$$

$$K_{\theta} = \frac{M}{\theta} = \frac{F \cdot A}{\theta} = \frac{F \cdot A}{\left(\frac{2 \cdot \Delta}{A}\right)} = \frac{F \cdot A^2}{2 \cdot \Delta}$$

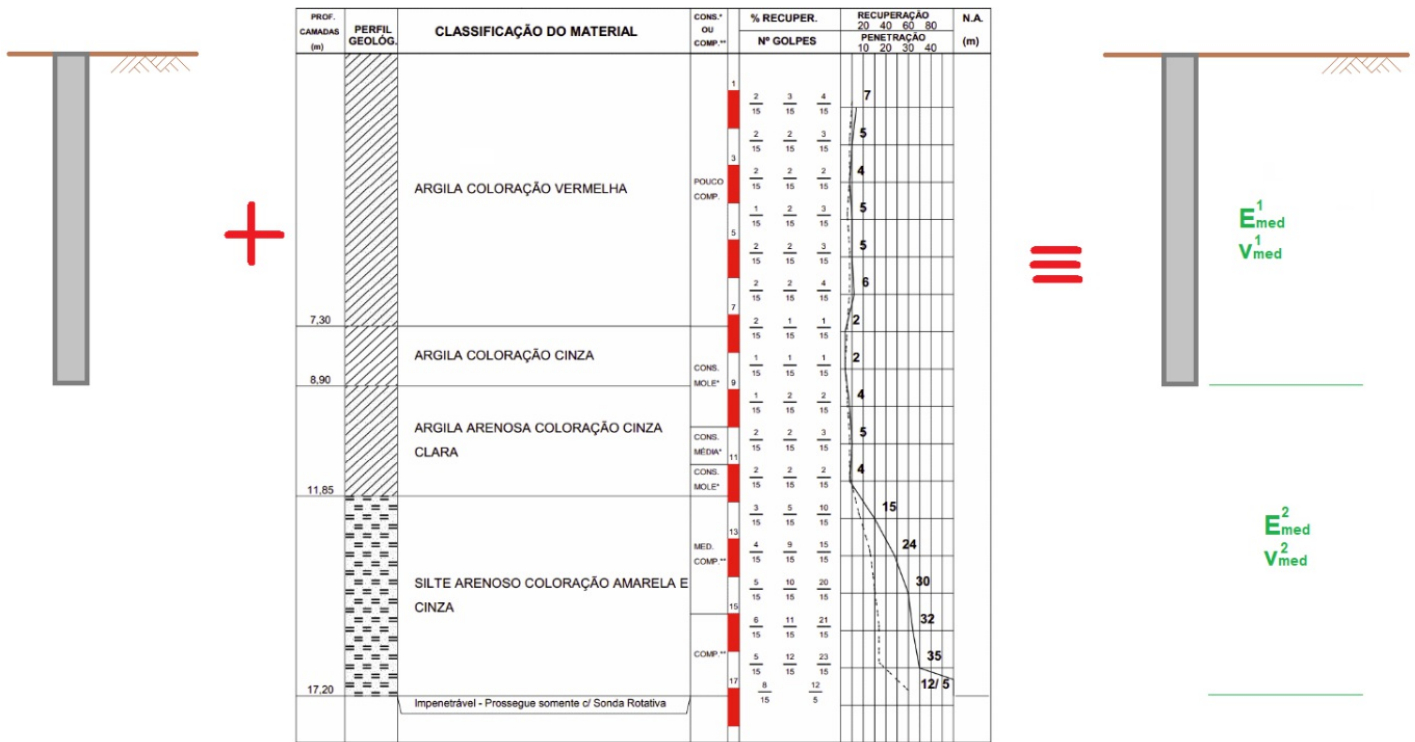
$$K_v = \frac{F}{\Delta} \cdot 2$$

$$K_h = \mu \cdot K_v$$

Importante observar que a dedução acima é válida para uma geometria com duas estacas. Para mais estacas, devemos fazer algumas contas diferentes, mas sempre podemos partir do esquema apresentado.

## Diversas camadas de solo

No caso de solo com diversas camadas, iremos dividir o problema em apenas duas camadas equivalentes: uma camada que contém a estaca e uma camada abaixo da ponta da estaca.

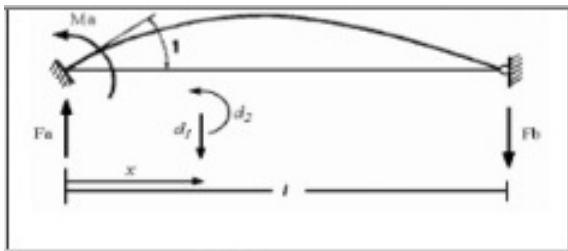


As camadas equivalentes deveram ter a média dos módulos de elasticidade e dos poissons.

## Mola de rotação em torno na estaca única ou em linha

Para o caso de estacas únicas ou em linha, o método apresentado acima não é possível de ser utilizado, uma vez que ele toma como base o braço de alavanca entre duas estacas. Desta forma, para o caso de estacas únicas ou em linha será utilizado um método diferente.

Iremos tomar para estes casos a ideia de que a estaca estaria engastada-apoiada (no bloco e na sua ponta), conforme figura abaixo:



O momento fletor gerado no apoio engastado (bloco) será:

$$M_a = \frac{3 \cdot E \cdot I}{l}$$

A mola de rotação será dada por:

$$K'_\theta = \frac{M}{\theta} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{1.0} = \frac{3 \cdot E \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^4\right)}{l}$$

$$K'_\theta = \frac{3}{4} \cdot \frac{E \cdot \pi \cdot r^4}{l}$$

Onde:

$E$  : módulo de elasticidade da estaca ( $E_p$ );

$r$  : é o raio da estaca;

$l$  : comprimento da estaca.

Como a ligação entre a estaca e o bloco não é bem estudada e não conseguimos garantir o real engastamento entre ambos, será adotado um fator de correção de 50% para a mola efetivamente adotada. Ou seja:

$$K_{\theta} = 0,5 \cdot \frac{3}{4} \cdot E \cdot \pi \cdot r^4$$

## Funcionamento dentro do Modelador Estrutural

A estimativa das molas de fundação é acionada dentro do Modelador Estrutural, através do seguinte comando: "Fundações" - "Pré-dimensionamento" - "Estimar molas".

Para que o comando funcione perfeitamente, é necessário que todos os dados mínimos para sapatas e blocos já tenham sido definidos. Seguem eles:

### Sapatas

#### Geometria

Definida no Modelador Estrutural;

Coefficiente de reação vertical ( $k_v$ )

Definido no arquivo de critérios;

Coefficiente de atrito ( $\mu$ )

Definido no arquivo de critérios;

### Blocos

#### Geometria e disposição das estacas

Definida no Modelador Estrutural;

Capacidade de carga da estaca ( $F_{adm}$ );

Definida no arquivo de critérios;

#### Perfil de sondagem

Definido no arquivo de critérios;

$E_s$  e  $\nu$  de cada camada de solo

Definidos no arquivo de critérios ou estimados conforme documentação anterior;

Após a correta execução do comando, os dados da aba "Pórtico" do elemento de fundação serão preenchidos de modo automático.