

## CRH – Sapatas e Tubulões

### Sapatas

Para o caso de fundações rasas, a consideração dos deslocamentos devido a forças horizontais é de difícil equacionamento, pois se tem que levar em conta o coeficiente de atrito sapata-solo. Trata-se de um problema típico de contato.

No SISEs, para o caso de fundações diretas, tipo sapatas, o Coeficiente de Reação Horizontal (CRH) do solo é estimado como uma parcela do Coeficiente de Reação Vertical (CRV).

### Tubulões

Para o caso de fundações profundas, a consideração dos efeitos horizontais é muito importante. Neste sentido, define-se o CRH, Coeficiente de Reação Horizontal, que possui a mesma interpretação física do CRV, mas relativos ao quociente entre as pressões horizontais ( $P_h$ ) e o seu recalque ( $d_h$ ).

Ou seja, ele fica expresso como:

$$k_h = P_h / d_h$$

Neste sentido, foram implementados dois métodos clássicos da literatura para a inserção deste coeficiente no SISEs para os elementos de fundação do tipo tubulão. Eles foram

CRH - Tipo de solo;

CRH - Conforme SPT/m;

### Tipo de Solo

Neste método a proporcionalidade entre tensão e o deslocamento é caracterizada pelo denominado Módulo de Reação Horizontal (K), com unidade de  $F/L^2$ .

Para este método, consideram-se dois tipos de solo de referência para o seu cálculo. Os solos argilosos pré-adensados e as areias e as argilas normalmente adensadas.

No caso de argilas pré-adensadas, mostra-se que o CRH não varia com a profundidade, ou seja, este valor é constante, dependendo apenas do seu tipo de consistência. Neste sentido, a Tabela 6.1 é adaptada de TERZAGHI (1955) para este caso:

Descrição do tipo de solo	K (kgf/cm <sup>2</sup> )
Argila Média	8
Argila Rija	50
Argila Muito Rija	100
Argila Dura	195

Tabela 6.1 – Valores do CRH para argila pré-adensadas conforme Terzaghi (1955)

Para as areias puras ou argilas moles, a rigidez aumenta com a profundidade em função da maior pressão geostática. Isto é indicado pela seguinte relação:

$$(K) = (\eta_h \cdot z)_i$$

Onde  $\eta_h$  é uma constante tabelada e depende do tipo do solo e  $z$  é a profundidade de cálculo do CRH. Os valores de  $\eta_h$  foram propostos por TERZAGHI (1955) e são indicados na tabela 6.2.

Descrição do tipo de solo	h seco	h saturado
Areia fofa	0,26	0,15
Areia med. compacta	0,80	0,50
Areia compacta	2,00	1,25
Argila muito mole	0,06	0,06
Argila mole	0,08	0,08
Silte muito mole fofo	0,055	0,055

Tabela 6.2 – Valores da constante do coeficiente de reação horizontal - (kgf/cm<sup>3</sup>) para areia ou argila norm. adensada conforme TERZAGHI (1955)

Desta forma, a constante de mola do modelo de WINKLER é obtida multiplicando o Módulo de Reação Horizontal (K) pelo quinhão do comprimento do tubulão, de forma a se escrever:

$$k_h = K \cdot \Delta l$$

Onde  $\Delta l$  é o comprimento de influência da fundação, no presente caso, computa-se a influência de cota do SPT, assim  $\Delta l = 1 \text{ m}$ .

## Conforme SPT/m

Nesta formulação, apresentada por Waldemar Tietz em TIENTZ (1976), utiliza-se um coeficiente de proporcionalidade ( $m$ ), com unidade  $F/(L^2)^2$ , que caracteriza a variação do coeficiente horizontal em relação ao tipo do solo. Essa formulação é originalmente aplicada a tubulões com mais de 1m de diâmetro. Este coeficiente depende do tipo de solo, sua consistência ou compactidade e do intervalo do SPT da sua camada, ver valores nas Tabelas 6.3 e 6.4.

Desta forma, a constante de mola do modelo de Winkler é obtida multiplicando este coeficiente de proporcionalidade ( $m$ ) pelo quinhão do comprimento do tubulão, pela profundidade da camada e pelo diâmetro do fuste, de forma a se escrever para uma camada genérica  $i$ :

$$(k_h)_i = (m \cdot z \cdot D \cdot \Delta l)_i$$

SOLO ARGILOSO	CONSISTÊNCIA	SPT	$m$ [tf/(m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> ]
Turfa	Meio líquido	0	25
Argila	Muito mole	1	75
Argila	Mole	3	150
Argila	Média	6	300
Argila	Rija	12	500
Argila	Muito rija	22	700
Argila	Dura	30	900

Tabela 6.3 – Valores de  $m$  [tf/(m<sup>2</sup>)<sup>2</sup>] para argila

SOLO ARENOSO	COMPACIDADE	SPT	$m$ [tf/(m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> ]
Areia	Fofa	1	150
Silte	Pouco compacta	7	300
Silte	Medianamente c.	20	500
Areia	Compacta	40	800
Argila	Muito compacta	50	1500

Tabela 6.4 – Valores de  $m [tf/(m^2)^2]$  para areia

Referência bibliográfica: TIETZ (1976), SCHAFFER, A. (1995).

O valor máximo do SPT nessas tabelas não pode ser inferior a 40, uma vez que é o limite superior de sua entrada. Caso usuário defina esse valor máximo menor que 40, o sistema o adota como limite superior.

## Resumo dos Diversos Métodos

Abaixo é apresentada uma tabela resumindo os diversos métodos para cálculo do Coeficiente de Reação Horizontal com algumas características importantes de cada um, tais como: consideração de camadas, associação de camadas, grau de dependência do SPT, etc. Esta tabela também o objetivo de auxiliar a seleção do método desejado e apresentar o número de variáveis a serem definidas na associação às camadas da sondagem.

Método para cálculo do CRH	Tipo Solo	Considera Diversas Camadas?	Associação Camada Sondagem pelo SPT	Associação Camada Sondagem pelo Título	Variáveis a definir por camada	Dependência do Método/ SPT
Tipo do Solo	Argila Dura	Sim	Não	Sim	Kh	Nenhum
	Areia Argilas moles	Sim	Não	Sim	nh	Nenhum
SPT/m	Argila Areia	Sim	Sim	Não	----	Total