

CRH – Estacas

O CRH (coeficiente de reação horizontal) pode ser entendido como a rigidez do contato estaca-solo, mas nesse caso, ao contrário do CRV, na direção horizontal.

As forças horizontais podem ser causadas por vento, empuxo de terra, sismo, etc. No projeto de uma fundação profunda submetida a um carregamento deste tipo é necessário calcular os deslocamentos e obter os diagramas de momento fletor e esforço cortante.

Coeficiente e Módulo de Reação Horizontal

Para o estudo de estacas submetidas a esforços de tração são frequentemente utilizados métodos decorrentes do coeficiente de reação horizontal estimado, na grande maioria dos casos a partir dos resultados de sondagens à percussão (SPT) associada à classificação táctil-visual dos solos.

O coeficiente de reação horizontal (k_z) tem como hipótese básica a consideração de que a pressão atuante na profundidade z é proporcional ao deslocamento sofrido pelo solo:

$$k_z = \frac{\sigma_z}{y}$$

Conforme ALLONSO (1989), essa conceituação, semelhante à hipótese de Winkler, embora aplicada ao caso de vigas horizontais sobre apoios, perde o sentido quando aplicada a estacas, sendo modernamente utilizado o módulo de reação horizontal (K). Este módulo é definido como a relação entre a reação do solo, na profundidade z , e o deslocamento horizontal:

$$K = \frac{P}{y}$$

Variação do Módulo de Reação com a Profundidade

O valor do módulo de reação horizontal possui dois tipos de variação: constante ou linearmente crescente com a profundidade. Nas argilas pré-adensadas, o módulo (K) é constante com a profundidade (z), mas nas areias e argilas normalmente adensadas varia linearmente com a profundidade, de acordo com a expressão ($K = nH z$), onde nH é denominado “constante do coeficiente de reação horizontal”.

As tabelas abaixo apresentam valores típicos para K e nH :

ARGILAS PRÉ-ADENSADAS	VALOR DE K (MPa)
-----------------------	------------------

CONSISTÊNCIA	ORDEM DE GRANDEZA	VALOR PROVÁVEL
Média	0,7 a 4,0	0,8
Rija	3,0 a 6,5	5,0
Muito Rija	6,5 a 13,0	10,0
Dura	> 13,0	19,5

Tabela 14.1 – Valores do módulo de reação K para argilas pré-adensadas.

COMPACIDADE DA AREIA ou CONSISTÊNCIA DA ARGILA	VALOR DE nH (MPa)	
	SECA	SUBMERSA
Areia fofa	2,6	1,5
Areia medianamente	8,0	5,0
Areia compacta	20,0	12,5
Silte muito fofo	-	0,2
Argila muito mole	-	0,55

Tabela 14.2 – Valores da constante do coeficiente de reação horizontal nH.

Modelo Conforme SPT/m

Ainda para o cálculo de fundações profundas carregadas tran. sversalmente, foi implantado no sistema SISEs o modelo de Waldemar Tietz Este método, apresentado na revista ESTRUTURAS nº. 76, foi concebido inicialmente para tubulões com diâmetro igual ou superior a 1m.

Diferentemente das estacas submetidas somente ao esforço axial de compressão, que depende mais do tipo de solo abaixo da ponta, para estacas submetidas à ação horizontal o mais importante é o solo que envolve os primeiros metros de profundidade do fuste. Quando um tubulão dentro do solo se desloca no sentido horizontal, o solo exerce sobre sua superfície lateral bC (reduzida) uma pressão variável com a profundidade:

$$C_z = m \cdot z \quad (\text{tf/m}^3)$$

Onde: C_z : é denominado “coeficiente de recalque do solo;

m: em (tf/m^4) é o coeficiente de proporcionalidade que caracteriza a variação do coeficiente C_z em relação à

qualidade do solo;

z: é a profundidade das respectivas camadas do solo consideradas a partir da superfície do solo ou do nível da base do bloco.

As tabelas abaixo apresentam os valores típicos de m:

SOLO ARENOSO	COMPACIDADE	SPT	m (tf/m ⁴)
Areia	Fofa	1	150
Silte	Pouco compacta	7	300
Silte	Medianamente c.	20	500
Areia	Compacta	40	800
Argila	Muito compacta	50	1500

Tabela 14.3 – Valores do coeficiente de proporcionalidade m para solos arenosos.

SOLO ARGILOSO	CONSISTÊNCIA	SPT	m (tf/m ⁴)
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 14.4 – Valores do coeficiente de proporcionalidade m para solos argilosos.

A correlação do número de SPT com os coeficientes de proporcionalidade do solo tabelado pela norma russa precisa ser comprovada para o solo brasileiro. Existem algumas correlações para relacionar o NSPT com a capacidade de ruptura, mas em princípio, o autor (WALDEMAR TIETZ) desconhece método semi-empírico prático tal como ocorre para estacas axialmente carregadas como os métodos de AOKI-VELLOSO e DÉCOURT-QUARESMA.

Outra observação importante é que atualmente o SISEs não aborda todas as análises propostas por TIETZ para a determinação do coeficiente de recalque do solo CZ , sendo estes (largura efetiva, efeito de grupo, continuidade do solo, etc) incluídos posteriormente no sistema.

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 tem 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 Titulo	Variáveis a definir por camada	Depen-dência do Método / SPT
Tipo do Solo	Argila Dura	Sim	Não	Sim	K	Nenhum
	Areia Argilas moles	Sim	Não	Sim	nh	Nenhum
SPT/m	Argila Areia	Sim	Sim	Não	----	Total