

5 Fundações elásticas

5.1. Conceito

O modelo de fundação elástica do comportamento do solo foi originalmente proposto por Winkler (1867), caracterizando o solo como uma série de molas lineares-elásticas desconectadas, de modo que a deformação ocorre somente onde o carregamento existe.

Considere uma viga suportada ao longo de todo o seu comprimento por um meio elástico, e que a mesma está sujeita a forças verticais atuando no plano principal de simetria da seção transversal, conforme ilustra a Figura 17. No caso da atuação destas forças a viga irá fletir, produzindo continuamente forças de reação distribuídas no meio de suporte. A respeito dessas forças de reação é assumido que a intensidade p em qualquer ponto é proporcional à deflexão da viga u de modo que $p = k_s u$. A hipótese $p = k_s u$ implica que o meio de suporte é elástico. Em outras palavras, que o material segue a Lei de Hooke. Esta elasticidade pode ser caracterizada por uma força que distribuída por uma área unitária irá causar um deslocamento unitário. A constante do meio de suporte que relaciona esta força por área unitária e o deslocamento unitário é denominada k_{s_0} [F/L³] e é chamada de módulo de fundação (Hetenyi, 1979).

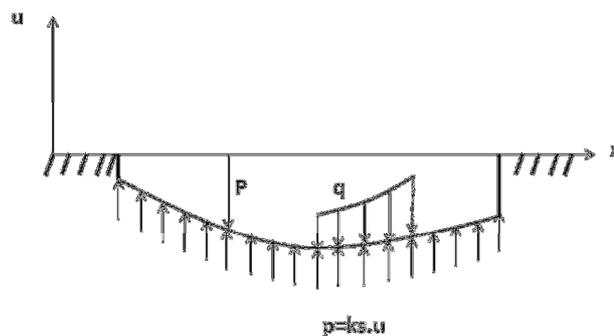


Figura 17 - Viga em base elástica

Assumindo que a viga da Figura 17 tem uma seção transversal uniforme e que b é uma largura constante, que é suportada por uma fundação. A deflexão unitária desta viga causará uma reação bk_{s_0} na fundação, conseqüentemente um ponto onde a deflexão é u a intensidade da reação distribuída (por unidade de comprimento da viga) será:

$$p = bk_{s_0}u \quad (5-1)$$

Na equação (5-1) a unidade de p é $[F/L]$. É utilizado o símbolo k_s $[F/L^2]$ para o produto de b $[L]$ e k_{s_0} $[F/L^3]$, nesse caso k_s é o módulo de fundação em unidades F/L^2 e inclui o efeito da largura da viga b . A constante k_s é de fundamental importância no estudo de deflexões e vibrações de vigas suportadas em fundações elásticas. Ainda nessa formulação, para se obter a constante de mola do solo, basta multiplicar k_s pelo comprimento L .

No caso de uma viga em base elástica numa situação estática a equação governante (3-66) pode ser reescrita como:

$$EI \frac{d^4u}{dx^4} = -k_s u \quad (5-2)$$

5.2. Determinação do módulo de fundação

De acordo com Bowles (1997) o módulo de fundação é uma relação entre a pressão no solo e a deflexão, esta relação aqui discutida é amplamente usada na análise estrutural de elementos de fundações. Essa relação é representada na Figura 18, e a equação básica quando em uma prova de carga em placa é dada por:

$$k_{s_0} = \frac{q}{\delta} \quad (5-3)$$

Onde $q = P/A$ é a pressão no solo que decorre da aplicação de uma carga P em uma placa com área A .

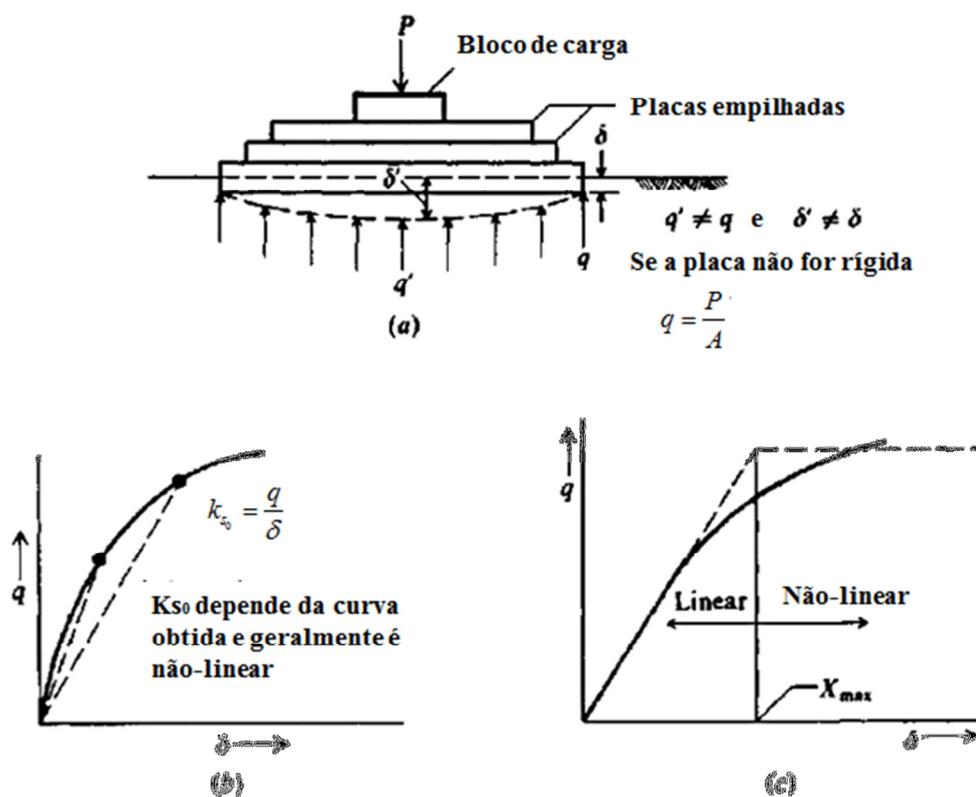


Figura 18 - Módulo de base elástica (a) prova de carga em placa; (b) resultado de um ensaio de prova de carga em placa; (c) aproximação linear do módulo de uma base elástica

A Figura 18(b) apresenta um gráfico típico de uma prova de carga em placa, este tipo de curva é obtido para se obter o módulo k_{s0} . A Figura 18(c) é uma representação de um ensaio onde k_{s0} é tomado como constante até uma deflexão X_{max} , ou seja, uma situação em que q e δ possuem uma relação linear. Quando são realizados ensaios cíclicos a metodologia proposta por Das (1993) é mais adequada para a determinação de solos dinamicamente carregados.

A determinação dos módulos de fundação e constantes de mola do solo também pode ser obtida através de provas de carga verticais e laterais em estacas. Nestes ensaios as estacas são instrumentadas, as cargas, tensões ou pressões do solo e deflexões ao longo da estaca são medidas diretamente. No caso de provas de carga verticais podem ser determinados K_f , $\overline{K_f}$ e K_b .

As provas de carga são as melhores maneiras para a determinação k_{s0} , k_s e da constante de mola do solo, porém requerem tempo, cuidado e são relativamente caras. As provas de carga também são indicadas pelo fato de o módulo de fundação também ser dependente da geometria da fundação (Poulos, 1980).

Na impossibilidade de realizar esses tipos de ensaios normalmente se recorre a correlações empíricas com outras propriedades do solo para a determinação de k_{s_0} . Muitas dessas correlações e valores de referência são apresentadas por Poulos (1980) e Bowles (1996).

Na Tabela 1 são apresentadas as faixas de variação do módulo de fundação k_{s_0} .

Tabela 1 - Faixa de variação do módulo de fundação

Solo	k_{s_0} [kN/m ³]
Areia fofa	4800-16000
Areia densa média	9600-80000
Areia densa	64000-128000
Areia densa média argilosa	32000-80000
Areia densa média siltosa	24000-48000
Solos argilosos	12000-48000

Na análise de vibrações longitudinais e transversais em estacas a formulação de Novak e Beredugo (1972) é bastante utilizada. Nessa formulação os coeficientes de mola longitudinais e transversais do solo são determinados a partir do módulo de cisalhamento dinâmico, do coeficiente de Poisson do solo na qual a estaca está embutida, e das características geométricas da estaca. Para a aplicação dessa formulação é necessário o conhecimento do módulo de cisalhamento dinâmico do solo. O ensaio de campo mais comum para a determinação do módulo de cisalhamento dinâmico é o *cross hole* sísmico. Na impossibilidade de se realizar esse ensaio, normalmente recorre-se a correlações como as de Hardin e Richart (1963); Seed e Idriss (1970); e Ohsaki e Iwasaki (1973); que relacionam outros ensaios geotécnicos de campo com o módulo de cisalhamento dinâmico do solo.