



Estacas Isoladas – Proposta de Método para Previsão de Recalques Axiais

Henrique Dinis¹

¹ Universidade Presbiteriana Mackenzie / E.E. / Engenharia Civil / henrique.dinis@mackenzie.br

Resumo

A determinação de recalques em estacas mediante cargas axiais é efetuada tradicionalmente por meio de métodos que abordam a teoria clássica das estruturas. Sendo os modelos axissimétricos, complexos, para permitir formulações de uso prático, são assumidas hipóteses simplificadoras em seu tratamento teórico, o que requer seu balizamento em resultados de provas de carga ou outras fontes. Entre alguns métodos utilizados para a estimativa de recalques axiais, pode-se citar, a exemplo, os de transferência de carga entre o fuste da estaca e o solo, que podem ter como base a propagação das tensões, como o de Aoki & Lopes (1975); ou a consideração unicamente das deformações por cisalhamento, como o de Randolph & Wroth (1978); ou a vinculação por molas não lineares, como o de Pando et al (2004), dentre outros, alguns semiempíricos. Como aplicação às fundações de pontes, face a importância da interação solo-estrutura na obtenção dos esforços nos elementos estruturais, destacam-se os métodos que possibilitam o processamento numérico pelo MEF. A proposta apresentada por este trabalho tem como resolução modelos unidimensionais, prevendo-se como vínculos do solo com a estaca, elementos de mola, cuja rigidez se dá ou por compressibilidade, para representar a resistência de ponta ou por deslocamento tangencial ao fuste, para representar a resistência ao cisalhamento do solo. Tem como base o comportamento elástico-linear do solo e patamar de escoamento definido. Admite, no cômputo do recalque total, a consideração da parcela do encurtamento elástico da estaca. Para o processamento, o modelo pode ser integrado à matriz geral de deslocamentos, o que possibilita prever o comportamento global da estaca, incorporando-se aos deslocamentos horizontais. Na proposta deste trabalho, são apresentadas as formulações para a determinação da rigidez das molas, balizadas por provas de carga e métodos tradicionais compatíveis, concluindo-se com uma aplicação numérica demonstrando sua aplicação.

Palavras-chave

Estacas isoladas; Recalque axial em estacas; Método para previsão de recalques em estacas.

Introdução

O comportamento das estacas isoladas ao efeito de recalque por compressão axial é complexo e depende de diversos fatores e circunstâncias, como as propriedades do solo e sua estratificação, diâmetro e profundidade da estaca, método de execução, entre outros mais específicos. A maior questão que se depara para a previsibilidade dos recalques é a hiperestaticidade que envolve o problema. A maioria dos métodos que abordam a questão baseiam-se na teoria clássica da elasticidade, assumindo simplificações para viabilizar o cálculo dos recalques de forma prática, mas que conduzam os resultados a uma boa margem de aceitabilidade. Admite-se que o mecanismo de transferência das cargas da estaca para o solo ocorra por dois efeitos: atrito lateral ao longo do fuste, que propaga deformações aos solos que envolvem o fuste, em especial, pelo efeito de cisalhamento e, reação da ponta da estaca, cujas tensões causam deformações por compressibilidade do solo abaixo da ponta. Em se tratando de estacas flexíveis, o problema ganha uma terceira componente, a deformação elástica da própria estaca, que interage com as duas anteriores no equilíbrio das deformações e tensões.

Considerando as cargas de serviço, as reações decorrentes da resistência de ponta é razoavelmente pequena, tendo em vista que a deformabilidade dos solos por compressão é bem maior que para o efeito de cisalhamento. Assim, as cargas são praticamente transmitidas ao solo pelo contato com a superfície do fuste da estaca, que mobiliza as deformações por cisalhamento do solo γ_i . No entanto, para uma análise plena do problema, avalia-se a interação entre as três componentes, havendo variabilidade nos resultados em função do tipo do solo e rigidez da estaca. Poder-se-ia afirmar, sem grandes erros, que para as estacas em geral, embutidas em solos médios, a quase totalidade das reações decorrem do efeito de transferência de carga ao solo ao longo do fuste,

resultando em pequena reação de ponta; para estacas rígidas e curtas com a ponta em solos densos ou duros, há uma considerável reação da parcela de ponta; por outro lado, para estacas muito flexíveis e longas, a deformação elástica da estaca é suficiente para mobilizar a transferência de carga, podendo resultar em reação de ponta nula.

Como princípio para o equacionamento da transferência de carga da estaca para o solo, considera-se, de forma hipotética, que a estaca seja rígida, em razão da baixa deformabilidade axial do fuste da estaca, que impõe deformações semelhantes para o fuste e ponta; assim, a reação dos solos de ponta e dos que envolvem o fuste se desenvolvem para a mesma ordem de grandeza de deformação, gerando reações proporcionais às suas rigidezes. Na sequência da resolução, efetua-se as adaptações ao modelo, para considerar a flexibilidade da estaca.

Verifica-se, diante do exposto, que o recalque em estacas não obedece a uma relação linear entre as cargas aplicadas e as concomitantes deformações, já que a mobilização de todas as parcelas da interação solo-estrutura, que contribuem ao recalque, não são mobilizadas simultaneamente, ou mesmo, em determinados casos, algumas somente são mobilizadas diante do efeito da plastificação de outras.

De uma maneira geral, a resolução para o problema de transferência de carga de uma estaca para o solo tem solução analítica, em se tratando de estacas rígidas, no entanto, para as estacas flexíveis, tem-se que recorrer a métodos numéricos ou semiempíricos.

Existe uma infinidade de métodos propostos para a resolução da questão, alguns inclusive, empíricos. Alonso (2019); Garcia (2006) ou Velloso & Lopes (2010), abordam os princípios de resolução de alguns dos métodos mais significativos. As primeiras propostas mais consistentes tiveram como base a teoria da elasticidade e serviram como base para a evolução dos processos analíticos e numéricos que se seguiram. Cabe citar, dentro deste contexto, dois métodos que tiveram como base as equações de Mindlin (1936), para reproduzir o comportamento elástico linear do solo, determinando, assim, deformações por compressão decorrentes da ação de cargas aplicadas ao longo da profundidade. O primeiro, de Aoki & VELLOSO (1975), utiliza como critério de resolução, a determinação em cada nível de profundidade do embutimento da estaca, das deformações verticais acumuladas no solo por compressão, causadas por cada parcela de reação, na transferência de carga do fuste para o solo, e da resultante da carga total para os solos abaixo da ponta. Ao longo do fuste, admite deformação constante da estaca, efetuando a compatibilidade das deformações. O segundo, de Poulos & Davis (1980), também utiliza as equações de Mindlin para determinar as deformações no solo, em compatibilidade ao deslocamento da estaca, a partir das parcelas de deformação causadas ao longo do fuste e ao nível da ponta, a agir no solo de forma acumulada. Apesar do processo de cálculo computacional, apresenta formulações e ábacos fornecendo coeficientes de correção para uma série de circunstâncias e variáveis distintas, como deformabilidade da estaca, estratificação do solo, dentre outras.

Também, de relevância para referenciar a matéria, o método de Randolph & Wroth (1978), ao contrário dos anteriores, tem como princípio de resolução, a consideração unicamente das deformações por cisalhamento puro do solo na profundidade do fuste, para efetuar a transferência da carga do fuste ao solo. A rigidez do solo à deformação da ponta, por sua vez, tem como base a deformabilidade à compressão. Subdivide, assim, o substrato em duas camadas distintas, uma relativa ao embutimento da estaca e uma segunda, aos solos abaixo da ponta. As parcelas do recalque assim obtidas, são então compatibilizadas em função da rigidez relativa de cada parcela. Prevê ainda, para o recalque total, a consideração da deformação axial elástica da estaca e existência de solos não homogêneos.

Na evolução das metodologias de previsão dos recalques, cabe citar o método de Castelli & Motta (2003), com solução numérica a partir de um modelo prevendo molas para representar a rigidez do solo, segundo o modelo de Whinkler (1867). Tem como princípio a avaliação de recalque não linear a partir da consideração da redução das propriedades do solo em função do aumento da carga aplicada. Utiliza curvas hiperbólicas $t-z$ para representar a não linearidade do comportamento do solo mediante solicitação. Para a determinação do valor inicial da rigidez das molas, utiliza os termos das parcelas de recalques definidas por Randolph e Wroth.

Método e Resolução

A resolução do método proposto utiliza os conceitos e premissas de que as deformações no solo ocorrem em dois substratos distintos sobrepostos, a camada de solo ao longo do fuste e a dos solos abaixo da ponta. Utilizando-se de simplificações quanto ao modelo físico e analítico de transferência de carga, assume que as deformações do solo ao longo do fuste ocorram exclusivamente por tensões de cisalhamento puro " τ_0 " e as do contato ponta-solo, pelo efeito de compressibilidade do solo por placa rígida, a partir da consideração do

coeficiente de recalque vertical " k_v ". Compatibiliza-se desta forma, as deformações obtidas para cada um dos casos, obtendo-se o recalque final da estaca " ρ ". Ver Figura 1.

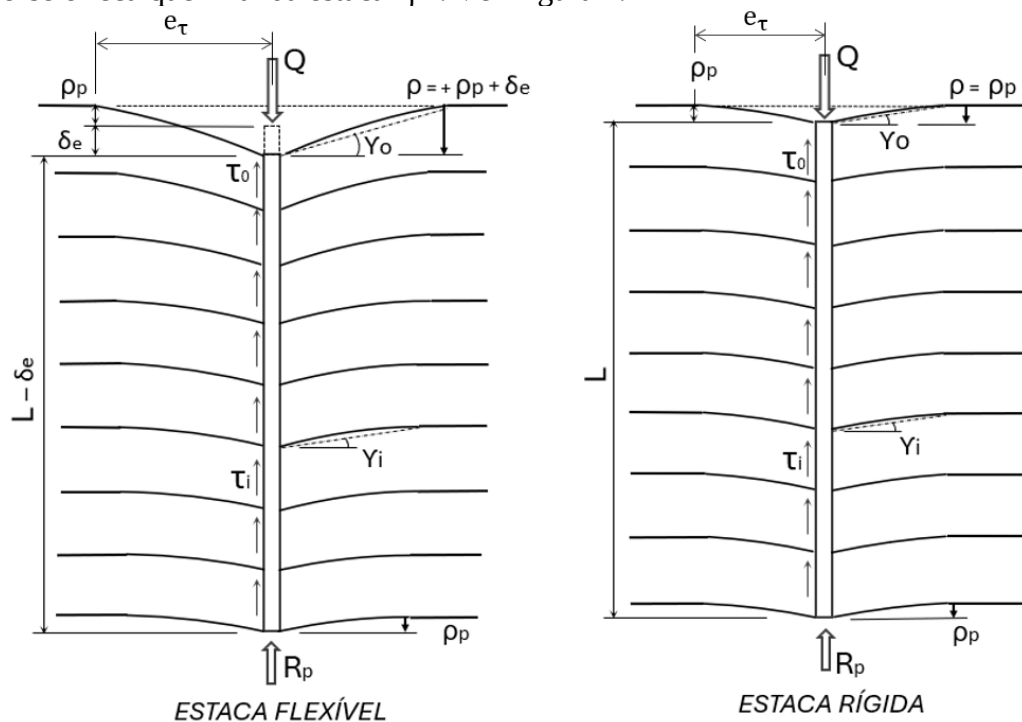


Figura 1 – Modelo de comportamento de solo para recalques em estacas isoladas.

Fonte: Dinis (2024)

Adota-se, como proposta de resolução para o método, um modelo simplista, admitindo-se que a mobilização do solo ao cisalhamento ocorra mediante um ângulo ao cisalhamento Y , secante à linha de recalque do solo, mobilizado a uma distância e_τ da superfície do fuste da estaca, de valor $F1.B$, sendo B o diâmetro da estaca e $F1$, um fator corretivo que depende do tipo do solo e método construtivo da estaca. As deformações por cisalhamento, assim, ocorrerão de forma linear. Admite, por outro lado, que a deformação do solo da ponta ocorra em proporcionalidade direta ao coeficiente de recalque vertical k_v , como sugerido por Dinis (2024). Pressupõe-se que não ocorram interações entre tensões, na compatibilidade da propagação das deformações, entre as causadas ao longo do fuste por cisalhamento, com as do solo sob o efeito de compressibilidade na ponta. O esquema das deformações está indicado na Figura 2, considerando uma estaca rígida, em solo elástico, homogêneo.

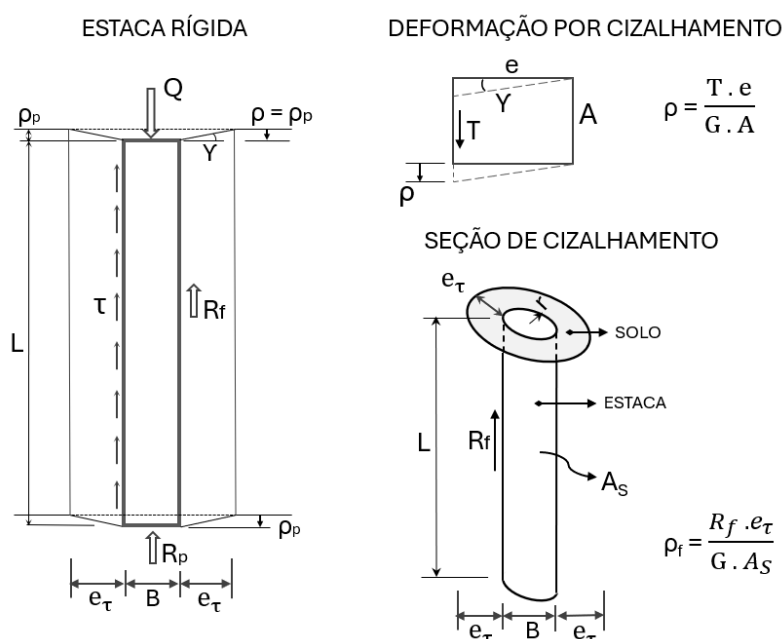


Figura 2– Comportamento estaca-solo para determinação de recalques em estacas isoladas.

Fonte: Dinis (2024)

Para uma estaca de comprimento L e diâmetro B, de acordo com os esquemas da Figura 2, a área superficial do fuste tem como expressão: $A_s = 2\pi \cdot B \cdot L$, e a força tangencial τ refere-se à tensão ao cisalhamento desenvolvida na superfície do fuste, que tem como resultante R_f . Sendo a estaca rígida, R_f correspondendo à seguinte parcela de recalque:

$$\rho_f = R_f \cdot e_\tau / G \cdot A_s.$$

Para estacas circulares, fazendo $e_\tau = F1 \cdot B$, tem-se que $\rho_f = R_f \cdot F1 \cdot B / G \cdot 2\pi \cdot 0,5B \cdot L$, resultando nas seguintes expressões para ρ_f e R_f :

$$\rho_f = R_f \cdot F1 / \pi \cdot G \cdot L \quad (1)$$

$$R_f = \rho_f \cdot \pi \cdot G \cdot L / F1 \quad (2)$$

sendo:

$F1 = Cs \cdot Cc$: Fator corretivo que compõe o valor da largura radial de cisalhamento e_τ , para considerações como tipo de solo e método construtivo da estaca. Cs e Cc podem ser obtidos em balizamento de resultados de ensaios de prova de carga que sejam representativos a um grupo de estacas em análise. Na falta de dados experimentais, sugere-se adotar os valores indicados, a seguir.

Para o valor de Cs , admite-se que a largura radial das deformações por cisalhamento em torno da estaca tem relação inversa à granulometria do solo, sendo que as deformações por cisalhamento nos solos mais granulares se propagam em menor distância (amortecem). Ver Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de Cs

Tipo de Solo	Cs
Areias	1,2
Siltes	1,4
Argilas	1,5

Para os valores do fator de correção Cc (método construtivo da estaca), são consideradas faixas de variação para os coeficientes corretivos da largura radial das deformações por cisalhamento, tendo como base a amplitude das faixas definidas por Vézic (1975), no caso, adaptadas. Admite-se que o efeito do desconfinamento ou aumento da pressão de confinamento natural do solo que envolve o fuste, interfere na largura radial da deformação por cisalhamento. Ver Figura 3.

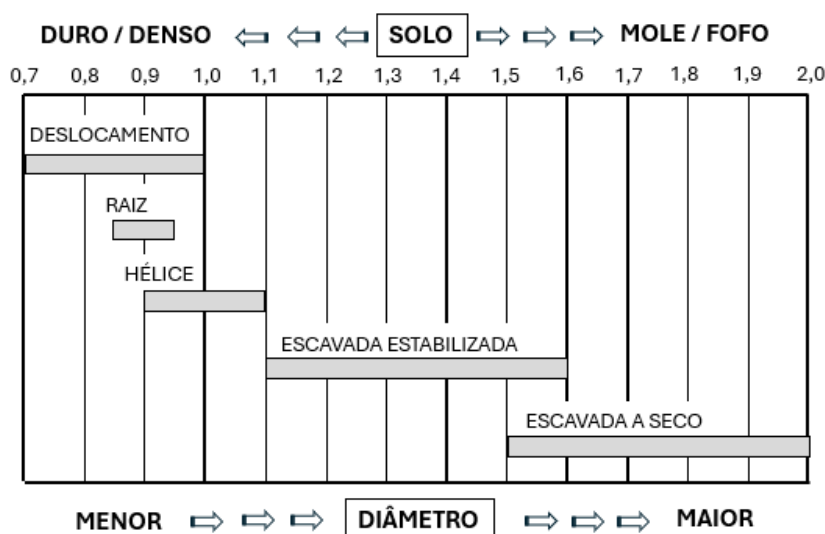


Figura 3 – Fator de correção Cc – efeito do método construtivo no cisalhamento do solo do fuste.

Para o recalque na ponta da estaca, é considerado, simplistamente, que a deformação vertical do solo na ponta possa ser obtida a partir do coeficiente de recalque vertical do solo, no caso, $k_{v,\lambda}$ e que a reação de ponta seja

obtida pelo produto entre o recalque ρ_p , pelo coeficiente $k_{v,\lambda}$, atuando diretamente sobre a área da seção A_p da ponta da estaca.

$$\rho_p = R_p / F2 \cdot k_{v,\lambda} \cdot A_p \quad (3)$$

Tratando-se de estacas circulares: $A_p = \pi \cdot r^2 = (0,5 \cdot B)^2$, resultando:

$$R_p = \rho_p \cdot F2 \cdot k_{v,\lambda} \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot B)^2 \quad (4)$$

sendo:

$k_{v,\lambda}$: Coeficiente de recalque vertical corrigido pelo fator λ , para considerar o efeito de propagação das deformações no solo em função do efeito da largura de placa (ponta da estaca) $= K_v/\lambda$.

λ : largura equivalente ao lado de uma placa quadrada, de mesma área da seção da estaca, tendo como valor:

$$\lambda = \sqrt{\pi \cdot \frac{B^2}{4} \cdot 0,83}. \text{ Ver Dinis (2024)}$$

F2: Fator para a consideração da profundidade da ponta. Adaptado de Janbu et al. (1956), como sendo:

$$F2 = 1 + 2v$$

A reação total da estaca pode ser obtida, fazendo: $\rho = \rho_p = \rho_f$, e $Q = R_f + R_p$, resultando:

$$Q = \rho \cdot (\pi \cdot G \cdot L / F1 + F2 \cdot k_{v,\lambda} \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot B)^2) \quad (5)$$

$\therefore$ evidenciando ρ , para estacas circulares, tem-se:

$$\rho = \frac{Q}{\pi [G \cdot L / F1 + F2 \cdot (0,5 \cdot B)^2 \cdot k_{v,\lambda}]} \quad (6)$$

Tratando-se de estacas flexíveis, ou no caso de substratos constituídos de solos não homogêneos, tendo em vista o alto grau de hiperasticidade, para a resolução, propõe-se aplicar o modelo de molas baseado na simplificação de Winkler (1867), em que a rigidez do solo é representada por um conjunto de molas, cuja resolução pode ser efetuada pelo MEF unidimensional. Relativamente à elaboração do modelo, a rigidez do solo a considerar é axial à estaca. Para estaca circular, adota-se para os coeficientes de mola, a rigidez do solo ao cisalhamento na profundidade do fuste, e por compressibilidade, os solos abaixo da ponta; têm-se as expressões, a seguir.

Rigidez de mola às deformações ao cisalhamento nos solos do fuste KMf:

de (2) $\rightarrow R_f = \rho_f \cdot G \cdot \pi \cdot L / F1$, resultando:

$$KMf = \frac{R_f}{\rho_f} = G \cdot \pi \cdot \ell / F1 \quad (7)$$

sendo:

ℓ - comprimento da barra entre vínculos elásticos

Rigidez de mola das deformações normais nos solo na ponta da estaca KMp:

de (4) $\rightarrow R_p = \rho_p \cdot F2 \cdot k_{v,\lambda} \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot B)^2$, resultando:

$$KMp = \frac{R_p}{\rho_p} = F2 \cdot k_{v,\lambda} \cdot A_p \quad (8)$$

A configuração geral do modelo refere-se ao processamento pelo MEF unidimensional, compondo-se por barras e nós, com os vínculos elásticos (molas) simulando a rigidez do solo, como representado na Figura 4.

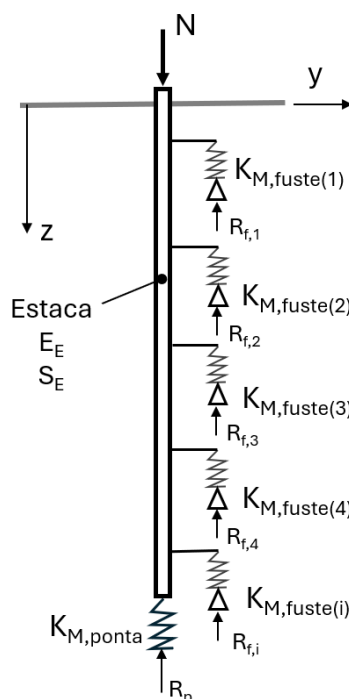


Figura 4– Modelo de Winkler para determinação de recalques em estacas isoladas flexíveis.

Fonte: Dinis (2024)

Para as cargas de serviço, é possível ocorrer o rompimento da ligação solo-concreto na mobilização da resistência ao atrito lateral entre o fuste e o solo, devendo haver, nesses casos, uma ponderação na escolha dos critérios a serem adotados para a consideração da plastificação. Devido às dificuldades em se impor curvas tipo p-y, para uso corrente dos softwares de MEF, pode-se, como simplificação do método, adotar uma curva linear secante com patamar horizontal constante para a plastificação. Uma vez atingido o patamar de plastificação, substitui-se a mola rompida pelo valor limite da força correspondente, reprocessando então, podendo ocorrer algumas iterações.

Os valores limite para as tensões de cisalhamento (atrito) entre o fuste e o solo podem ser assumidos segundo os métodos para avaliação da capacidade de carga em estacas, sugerindo-se Aoki & Velloso (1975); Décourt & Quaresma (1978); Teixeira (1996); ou outro que se mostre adequado ao caso em estudo. Determinam-se os valores limites conforme as indicações de cada um dos métodos.

Aplicação Numérica

Para simulação numérica do método proposto, propõe-se os exemplos a seguir, em que se demonstra a operacionalidade na aplicação do método, utilização dos parâmetros e formulações apresentadas.

Os módulos de elasticidade dos solos foram estimados a partir de correlações em função do N_{SPT} , como sugerido por Teixeira e Godoy (1996), ver Tabela 2, cuja expressão para a estimativa de seu valor vale:

$$E_s = \alpha \cdot K \cdot N_{SPT}.$$

Tabela 2 – Coeficientes para estimativa do módulo de elasticidade do solo: α e K.

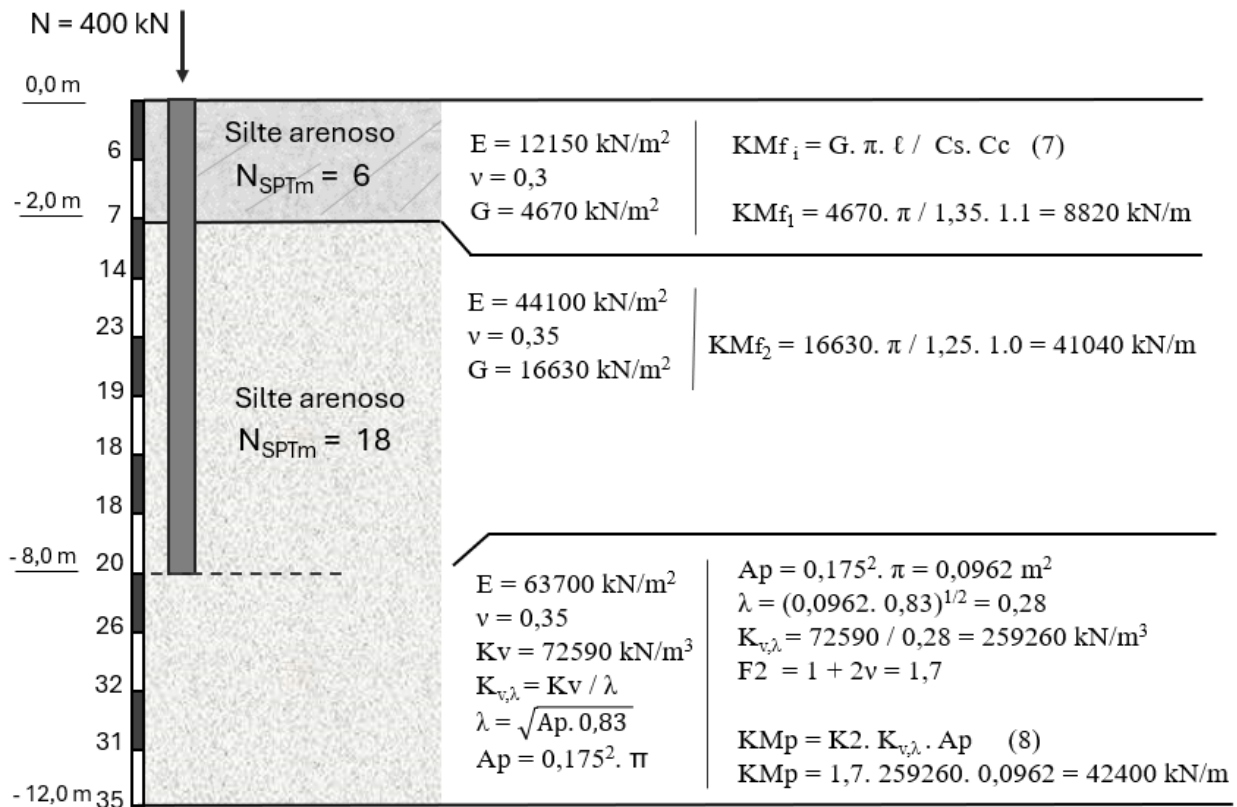
α	K		
	Areias	Siltes	Argilas
Areia: 3	Areia: 0,90	Silte: 0,35	Argila: 0,20
Silte: 5	Siltosa: 0,70	Arenoso: 0,45	Siltosa: 0,22
Argila: 7	Argilosa: 0,55	Argiloso: 0,25	Arenosa: 0,30

Fonte: Teixeira e Godoy (1996)

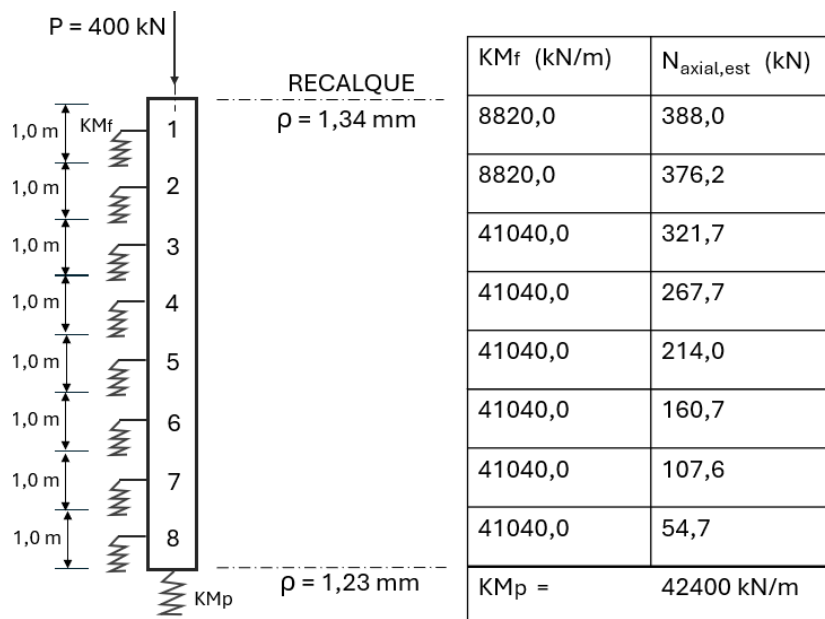
Exemplo 1 - Para uma estaca escavada por equipamento de hélice helicoidal, com diâmetro de 350 mm e profundidade de 8,0 m, determinar os recalques axiais, total e na ponta da estaca. Os dados do solo e cargas aplicadas estão apresentados, como a seguir.

O perfil de sondagem corresponde às propriedades de solo existente, utilizado no exemplo,

Determinação dos coeficientes de mola axiais à estaca:



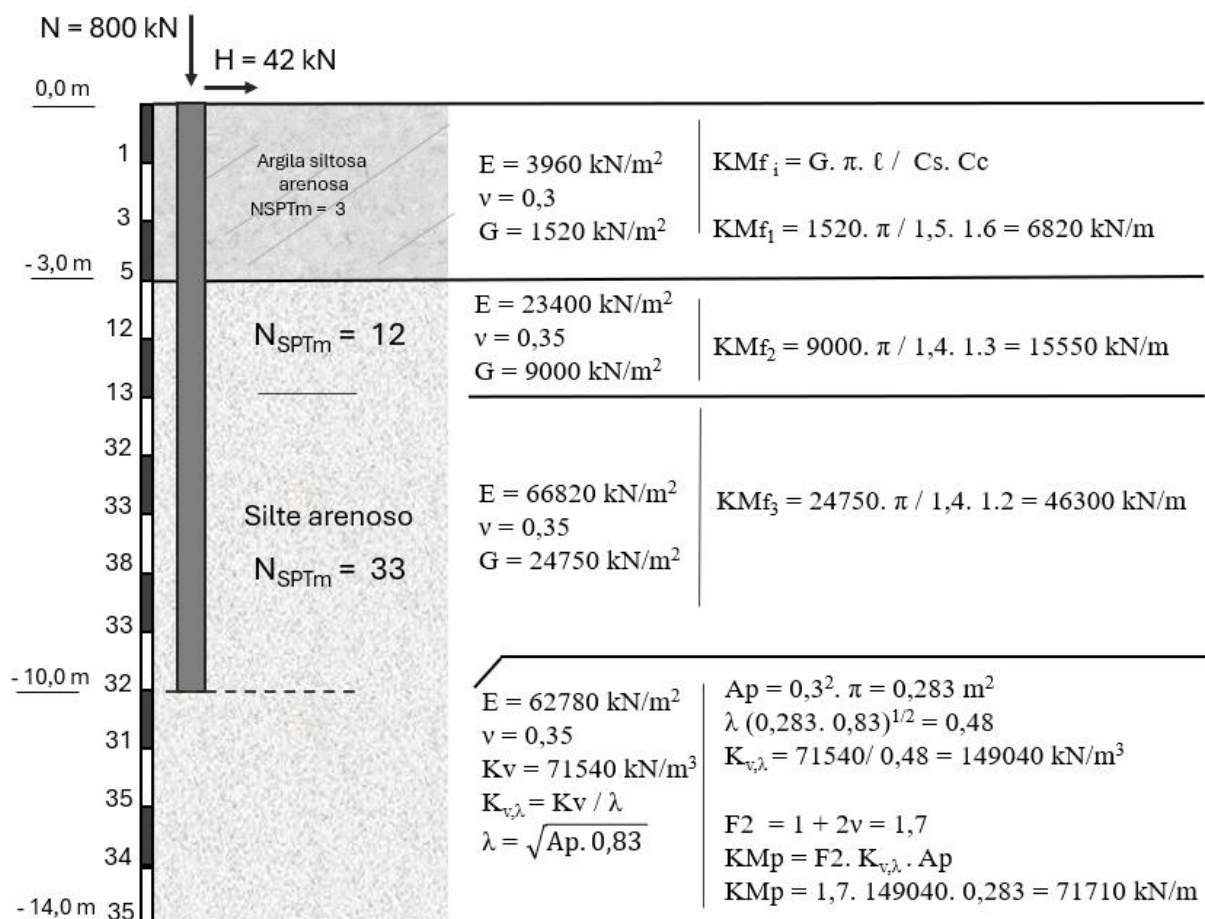
Os resultados do processamento por MEF unidimensional, estão apresentados abaixo:



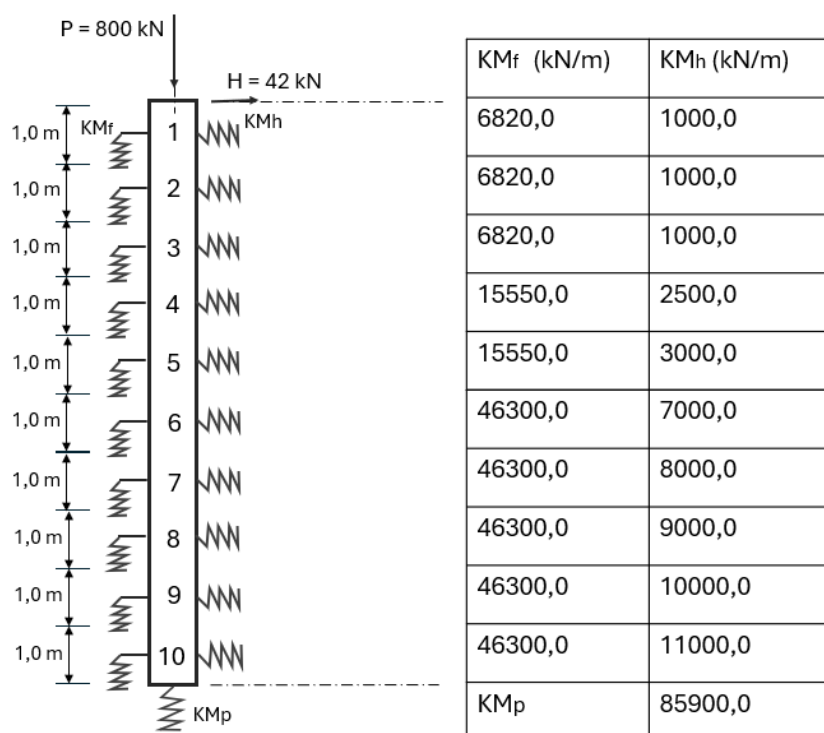
Exemplo 2 - Seja uma estaca escavada de grande diâmetro executada com fluido estabilizante, com diâmetro de 600 mm e profundidade de 10,0 m. Os dados do solo e cargas aplicadas estão apresentados, como a seguir. A partir dos carregamentos e parâmetros indicados, determinar os recalques axiais total e na ponta da estaca e os deslocamentos horizontais ao longo da profundidade.

Os módulos de elasticidade dos solos foram estimados a partir de correlações em função do N_{SPT} , como sugerido por Teixeira e Godoy (1996), ver Tabela 2, cuja expressão para a estimativa de seu valor vale: $Es = \alpha \cdot K \cdot N_{SPT}$. O perfil de sondagem corresponde às propriedades de solo existente, utilizado no exemplo, Os coeficientes de recalque horizontal foram assumidos.

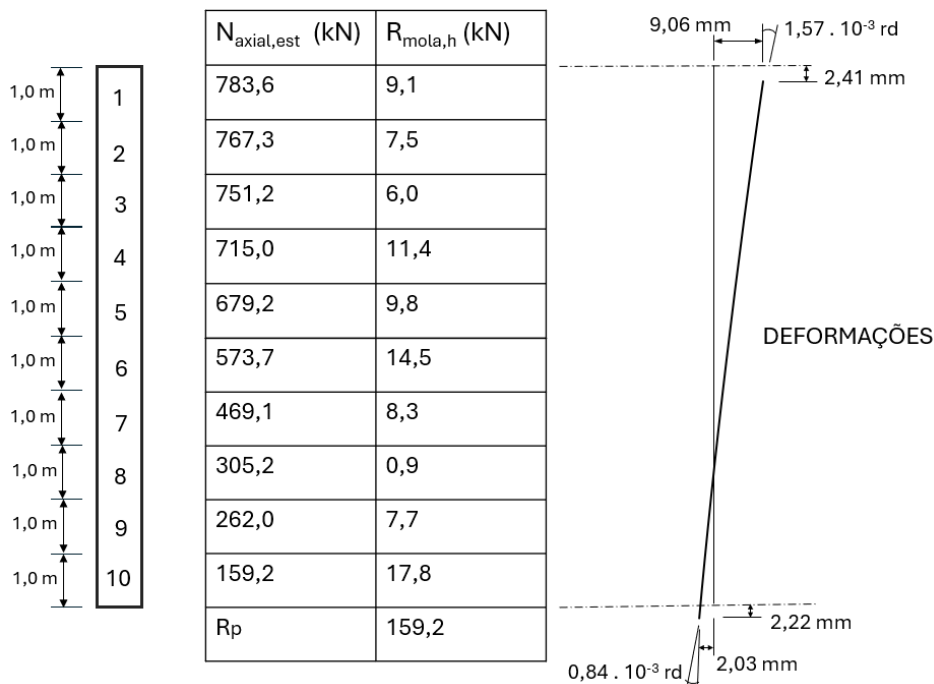
Determinação dos coeficientes de mola axiais à estaca:



Modelo de processamento:



Os valores resultado do processamento por MEF unidimensional, estão apresentados abaixo:



Discussão

Constata-se que a previsão de recalques em estacas trata-se de um problema complexo, tendo em vista as imponderações que cercam as variáveis do problema, como também o alto grau de hiperasticidade do modelo, por se estar considerando um meio semi-infinito, não homogêneo e estratificado. Desta forma, os resultados teóricos devem sempre ser tratados com ponderações e eventualmente, por uma envoltória de máximos e mínimos relacionada às circunstâncias específicas que envolve cada caso. Por exemplo, para contornar as indefinições analíticas advindas de questões como a anisotropia do solo, estratificações, ou pela própria geometria do modelo, cerca-se a modelagem de referências de casos práticos e experimentações, que embasam os métodos com suficiente aproximação, ao projeto. A maior dificuldade reside em determinar os parâmetros do solo, sendo o módulo de deformação por compressão (Young), o mais relevante para a previsão do comportamento estaca-solo, que devido à sua não linearidade e pouca previsibilidade na reprodução da curva tensão-deformação, e ainda, por apresentar variações em função das tensões de confinamento com a profundidade, é fator determinante para a previsão de recalques. Há que se ter em conta, ainda, a estreita relação com o módulo transversal, que por sua vez, após solicitação, pode sofrer deterioração em seu comportamento físico e mecânico, notadamente na variação do ângulo de cisalhamento γ .

Outro aspecto importante a se considerar na previsão de recalques é a alteração das propriedades do solo após a instalação de uma estaca, sendo um fator de relevância, pois poderão ocorrer variações nas propriedades do solo, dependendo de cada sistema ou método aplicado, evidenciando-se, fatores como o desconfinamento, no caso de estacas escavadas; efeitos da injeção de argamassa sob pressão, no caso de estacas Raiz, ou mesmo, hélice contínua; ou de forma positiva, acréscimo de pressão às pressões de confinamento, no caso de estacas por deslocamento, especialmente, para as estacas do tipo Ômega.

Alguns fatores podem influenciar diretamente as propriedades dos solos, uma vez estando a estaca sob carregamento, interferindo na interação solo-estrutura e resultado dos recalques. Entre os principais, pode-se citar: porosidade dos solos, em especial, para os granulares, pode ocorrer efeitos de desestruturação e acomodação gradativa, com semelhança ao efeito de liquefação; solos granulares de arestas vivas e resistentes podem apresentar baixo nível de acomodação nas fases iniciais de carregamento, podendo ocorrer, na progressão dos carregamentos, saltos de deformações, com perceptíveis angulosidades na curva carga-recalque, assemelhando-se ao fenômeno de creep, típico de solos colapsíveis; em solos fofos ou moles, o módulo transversal tende a sofrer maior nível de deterioração mediante carregamento, com progressão acentuada na declividade da curva carga-recalque; o aumento das tensões normais, sejam as horizontais causadas pela dilatação do furo da estaca, ou verticais, devido ao aumento das tensões geostáticas, causam

melhoria nos módulos de deformação, havendo, em caso contrário, deterioração, devendo-se dar especial atenção ao efeito do desconfinamento, a exemplo de estacas escavadas, ou aumento do confinamento, em estacas de deslocamento. Albuquerque (2001) apresenta um trabalho de interesse para este contexto, mostrando três estacas de mesma geometria, uma escavada, outra em hélice contínua e uma terceira tipo ômega, submetidas ao mesmo perfil de subsolo, e mediante ensaio de prova de carga, apresentaram resultados distintos e significativos quanto à capacidade de carga e recalques; argilas plásticas podem apresentar efeito de fluência por deformações ao cisalhamento, tendo em conta efeitos de interação com a compressibilidade dos solos de ponta; solos mais densos ou duros tendem a menores ângulos de cisalhamento, devendo-se dar especial atenção ao efeito de Gibson, considerando o aumento da densidade com a profundidade. Estes e outros fatores devem ser ponderados e considerados na definição dos parâmetros do solo e outros dados a serem adotados na previsão de recalque.

Para prever efeitos que venham interferir nas propriedades e comportamento dos solos, mediante métodos construtivos para execução da estaca, propôs-se fatores de correção para os recalques por cisalhamento, a serem aplicados como ponderação diretamente sobre os valores teóricos, aplicados diretamente sobre o valor do módulo transversal G , como indicados na Figura 3.

Um bom critério para interpretar os vários fatores que interferem no comportamento de estacas isoladas mediante recalque é a retro análise de resultados de ensaios de prova de carga, no entanto, pouco eficaz como balizamento para os vários métodos de previsão de recalques, tendo em vista a multiplicidade de fatores intervenientes, servindo, em especial, ao entendimento do comportamento de estacas relacionadas a determinado solo em questão.

Referências

- ALBUQUERQUE, P. J. R. Estacas escavadas, hélice contínua e Ômega: estudo do comportamento A compressão em solo residual de diabásio, através de provas de carga instrumentadas em profundidade. 2001. Tese (Doutor em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2001.
- ALONSO, U. R. Dimensionamento de fundações profundas. São Paulo: Blücher, 2019.
- ALVES, D. F. Previsões do comportamento carga-recalque de estaca escavada com polímero. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - UFRS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: Proc., 5th Pan-American Conf. of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Buenos Aires: International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1975. p. 367-376.
- BARROS, N. B. F. Previsão de recalque e análise de confiabilidade de fundações em estacas hélice contínua. 2012. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- CASTELLI, F.; MOTTA E. Settlement Prevision of Piles under Vertical Load. Geotechnical Engineering. n. 156, 2003.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. Fundações diretas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- DINIS, H. Interação solo-estrutura: Uma abordagem metodológica ao projeto de fundações. São Paulo: Blücher, 2024. In: <https://openaccess.blucher.com.br/article-list/9786555503173/list/#undefined> Acesso em 05/03/2005.
- DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. ABMS, 1978. p. 45-53.
- GARCIA, J. R. Estudo do comportamento carga VS recalque de estacas raiz carregadas a compressão. 2006. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2006.
- JANBU, N.; BJERRUM, L.; KJAERNSLI, B. Soil mechanics applied to some engineering problems. Norwegian Geotechnical Institute, 1956.
- RANDOLPH, M. F.; WROTH, C.P. Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles. Journal of Geotechnical Engineering Division, v. 104, 1978.
- SANTOS JR, O. F. Previsão do comportamento carga-recalque de estacas pré-moldadas de concreto. 1988. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1988.
- TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. Análise, Projeto e Execução de Fundações Rasas, in: HACHICHI, W. et al. Fundações Teoria e Prática. São Paulo: PINI, Cap. 7, p. 227-264, 1996.
- WINKLER, E. Die lehre von der elastizität und festigkeit. Dominicus, Prague, 1867.
- VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações, volume 2: fundações profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.