



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de  
maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

## Integração de alternativas de fundações em projetos de galpões industriais Lineker Max Goulart Coelho<sup>1</sup>, Filipe Neri de Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa / Chemtech Serviços de Engenharia e Software LTDA /  
linekermax@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Chemtech Serviços de Engenharia e Software LTDA / fneridesouza@yahoo.com.br

### Resumo

As edificações industriais são compostas por sistemas complexos que exigem estruturas que são muitas vezes especiais e/ou pouco convencionais cujo projeto exige o desenvolvimento de soluções arrojadas e inovadoras ou mesmo a combinação harmônica entre alternativas já amplamente utilizadas. Sendo assim, o engenheiro apresenta papel fundamental na definição e compatibilização das várias estruturas adotadas. No caso das fundações particularmente, a definição da tecnologia a ser utilizada envolve o estudo das características do solo, grandeza e natureza das cargas a serem suportadas, tecnologias disponíveis e aspectos econômicos. Dessa forma, o presente trabalho busca apresentar um estudo de caso de um galpão industrial de manutenção de veículos ferroviários destacando as soluções de fundações utilizadas nas diversas estruturas que o compõem bem como os principais aspectos relativos ao seu dimensionamento e interação. Para a fundação do galpão propriamente dito foram utilizados blocos sobre estacas. Para as bombas e demais equipamentos vibratórios foram utilizados bases apoiadas diretamente no solo e dimensionadas para suportar os esforços dinâmicos. Há ainda equipamentos específicos locados em valas cujas fundações adotadas foram blocos estaqueados unidos por vigas associadas a muros de arrimo. Foram utilizadas ainda fundações diretas tipo *radier* para suportar plataformas e equipamentos. Na área em que atuam macacos hidráulicos, por sua vez, adotou-se *radiers* estaqueados. Uma variante desta última denominada *slab track* foi utilizada nas fundações dos trilhos ferroviários na área interna ao galpão. Ressalta-se que a combinação destas soluções exigiu uma atenção especial não apenas do ponto de vista de resistência aos esforços, mas também quanto à compatibilização e controle dos recalques diferenciais entre as diversas soluções de modo a evitar o aparecimento de tensões na estrutura e evitar patologias. Sendo assim, a combinação de soluções técnicas e a correta integração entre elas mostram-se fundamentais para definição de projetos técnica e economicamente viáveis.

### Palavras-chave

Fundações, galpões, *radier*, estaca, *slab track*.

### Introdução

As edificações industriais são compostas por sistemas complexos que exigem estruturas que são muitas vezes especiais e/ou pouco convencionais cujo projeto exige o desenvolvimento de soluções arrojadas e inovadoras ou mesmo a combinação harmônica entre alternativas já amplamente utilizadas. Sendo assim, o engenheiro apresenta papel fundamental na definição e compatibilização das várias estruturas adotadas. No caso das



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



fundações particularmente, a definição da tecnologia a ser utilizada envolve o estudo das características do solo, grandeza e natureza das cargas a serem suportadas, tecnologias disponíveis e aspectos econômicos.

Além disso, deve-se chamar a atenção quanto ao dimensionamento das fundações o qual deve atender não apenas os critérios de resistência, mas também aos limites de recalques. Estes merecerem atenção especial, pois podem impedir a perfeita utilização das estruturas bem como comprometer a segurança da estrutura devido ao surgimento de sobrecargas de recalque superiores as previstas em projeto. No caso de edificações industriais, particularmente, muitas das vezes na mesma área existem fundações rasas e profundas as quais podem apresentar comportamento do ponto de vista de recalques bem distintos. Sendo assim, é necessária uma análise detalhada de modo a limitar recalques absolutos e diferenciais para que estes sejam compatíveis entre estas as diversas soluções de fundação adotadas evitando assim o mau funcionamento de equipamentos ou o comprometimento das funções da edificação devido a deformações diferenciais excessivas entre estruturas adjacentes.

No caso de fundações profundas, quando estas são compostas por múltiplas estacas, deve-se considerar uma redução da eficiência da capacidade de carga da estaca devido ao efeito de grupo, ou seja, devido à influência que estacas adjacentes exercem entre si.

Além disso, segundo Freitas (2010) e Meyerhof (1976) no caso de grupo de estacas além da capacidade de carga individual das estacas deve-se verificar também a possibilidade de colapso do solo por ruptura em uma linha ou fileira de estacas ou ainda a ruptura de toda área horizontal delimitada pelo estaqueamento (ruptura do bloco), conforme Figura 1.

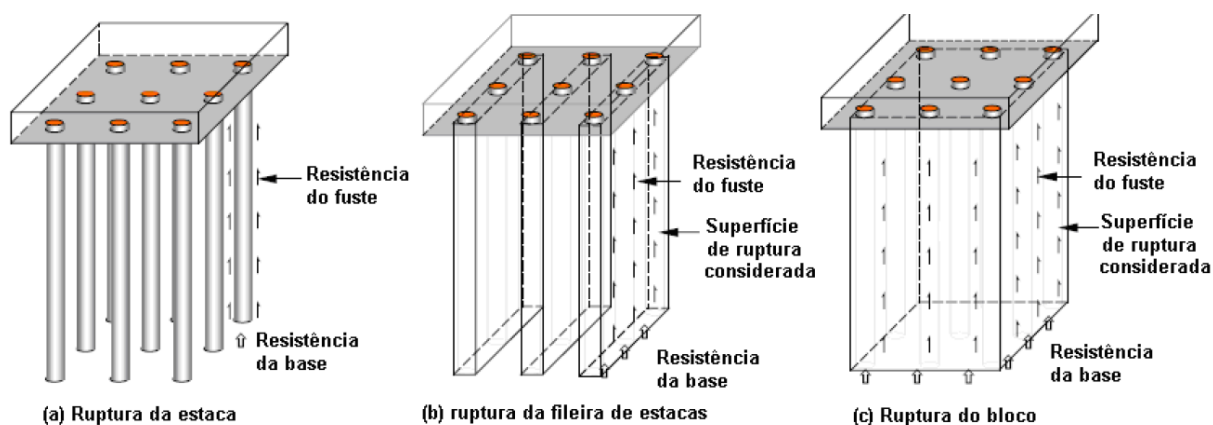


Figura 1 – Modos de ruptura em estruturas estaqueadas. (Freitas, 2010)



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

## Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um estudo de caso de um galpão industrial de manutenção de veículos ferroviários destacando as soluções de fundações utilizadas nas diversas estruturas que o compõem bem como os principais aspectos relativos ao seu dimensionamento e interação.

## Material e Métodos

### Características gerais da estrutura

A estrutura industrial estudada consiste em um galpão de manutenção de veículos ferroviários com superestrutura em aço possuindo vários equipamentos distribuídos no seu interior e contendo linhas férreas que o atravessam longitudinalmente. A Figura 2 mostra uma visão geral das estruturas de concreto do galpão e a Tabela 1 apresenta suas dimensões gerais.

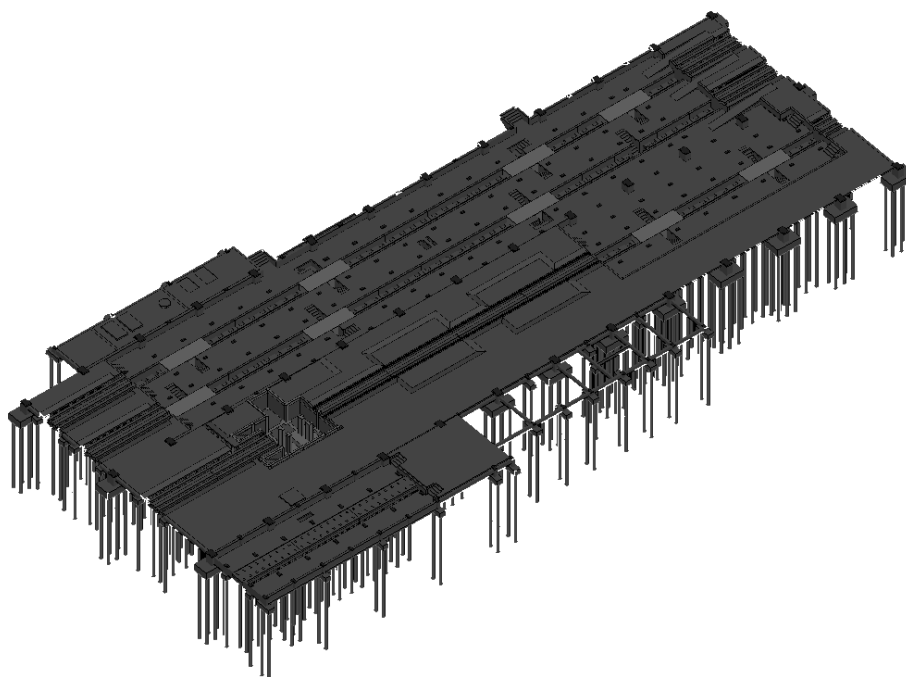


Figura 2 – Visão 3D das estruturas de concreto do galpão.

Tabela 1 – Dimensões gerais do galpão.

Dimensão	Valor (m)
Comprimento	100
Largura	30
Altura	15



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



As fundações dimensionadas compreenderam as seguintes estruturas, cuja solução técnica foi definida em função das características específicas destas:

- Fundação da estrutura do galpão propriamente dito;
- Bases de bombas;
- Valas da mesa falsa;
- Fundações de plataformas e área de depósito de materiais;
- Pisos de manobras dos macacos hidráulicos;
- Fundação de trilhos sobre base de concreto (*Slab Track*).

As estacas utilizadas foram do tipo hélice contínua de 40 cm de diâmetro.

## Dimensionamento estrutural

O dimensionamento estrutural das fundações foi realizado com o auxílio dos softwares Cypecad® e Strap® de modo a atender as prescrições das normas NBR 6118:2007 e NBR 6122:2010.

## Tensão admissível das fundações rasas e capacidade de carga das estacas

O cálculo das tensões admissíveis das fundações rasas foi determinado dividindo o valor do SPT das sondagens da área em estudo por 5 de modo a obter a tensão em kg/cm<sup>2</sup>, conforme metodologia recomendada por Silveira (2003).

A capacidade de carga das estacas, por sua vez, foi determinada utilizando o método proposto por Aoki & Velloso (1975). Além disso, o efeito de grupo foi considerado na capacidade de carga atribuindo a esta um fator de eficiência determinado pelo método de Converse-Labarre (Piancastelli, 2012) Foi verificado também a possibilidade de ruptura em linha de estacas e ruptura do bloco baseando-se no método da *radier* fictício e da estaca equivalente conforme Velloso & Lopes (2010), Poulos & Davis (1980) e Meyerhof (1976).

## Recalques absolutos e diferenciais

Os recalques para as fundações rasas foram estimados pelo método descrito em Velloso (2010) e (Piancastelli, 2012) para cálculo geral de recalques em fundações rasas. Para as fundações profundas utilizou-se o método de Randolph (1978).

Todas as fundações do galpão foram dimensionadas de modo a possuírem recalques semelhantes devendo obedecer aos critérios:



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



- Recalques absolutos admissíveis: 40 mm (Burland, 1977 apud Silveira, 2003);
- Recalques diferenciais admissíveis: 25 mm (Burland, 1977 apud Silveira, 2003).

## Resultados

### Fundação da estrutura do galpão

Para o galpão propriamente dito foram utilizadas fundações profundas do tipo bloco sobre estaca havendo vigas de fundação descarregando nos blocos nas áreas em que o fechamento lateral era de alvenaria (Figura 3). Para atingir a capacidade de carga necessária o comprimento de estacas utilizado foi de 24 m sendo os 12 m superiores da estaca armados. Em função dos diferentes graus de solicitação foram utilizados blocos com 1, 2 e 6 estacas conforme Figura 4.

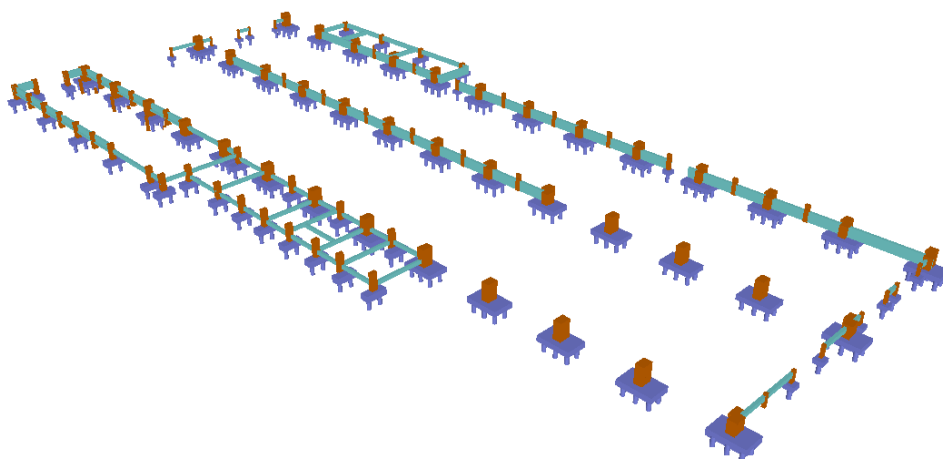


Figura 3 – Arranjo dos blocos de fundação do galpão.



Bloco 6 estacas



Bloco 2 estacas



Bloco 1 estaca

Figura 4 – Representação dos blocos de fundação em perspectiva.



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

## Valas da mesa falsa

A mesa falsa é um equipamento que permite a retirada e a colocação de motores de tração das locomotivas sem precisar retirar e desmontar o truque e possui aproximadamente 6 m de largura por 7 m de comprimento tendo profundidade igual a 2,50 m abaixo do nível do terreno. O acesso à mesa falsa é feito por duas escadas de concreto armado. A estrutura consiste em um arranjo de blocos sobre estacas ligados por meio de vigas de equilíbrio os quais estão associados a paredes de contenção de concreto armado e as escadas (Figura 5).

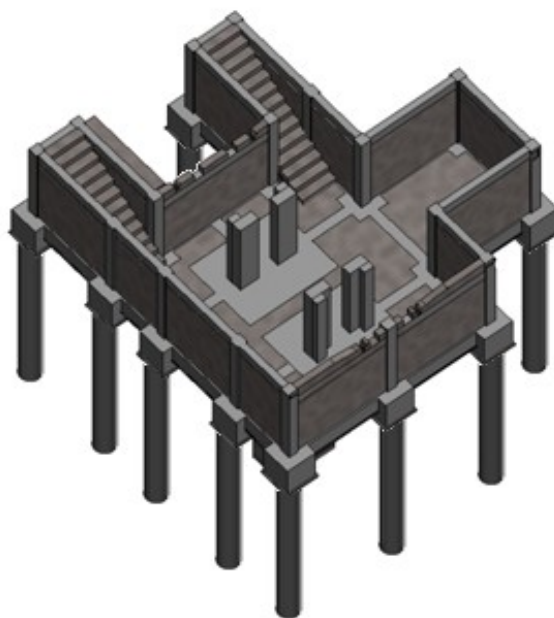


Figura 5 – Estrutura civil da vala da mesa falsa.

## Fundações de plataformas e área de depósito de materiais

Ao lado da mesa falsa há fundações do tipo *radier*, mostradas Figura 6, sobre a qual está apoiada uma linha ferroviária cega (sem ligação com outras linhas), em que são armazenados os rodeiros e motores de tração retirados pela mesa falsa.

Quanto às fundações das plataformas metálicas, estas foram apoiadas diretamente no piso armado do galpão sendo criados capitéis neste de modo a evitar patologias por efeito da punção.

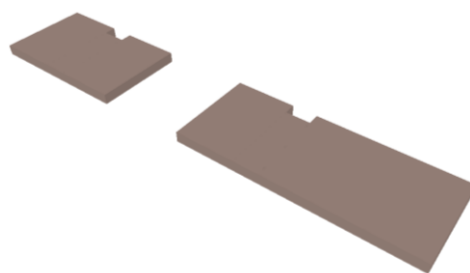


Figura 6 – Bases da Linha Cega.

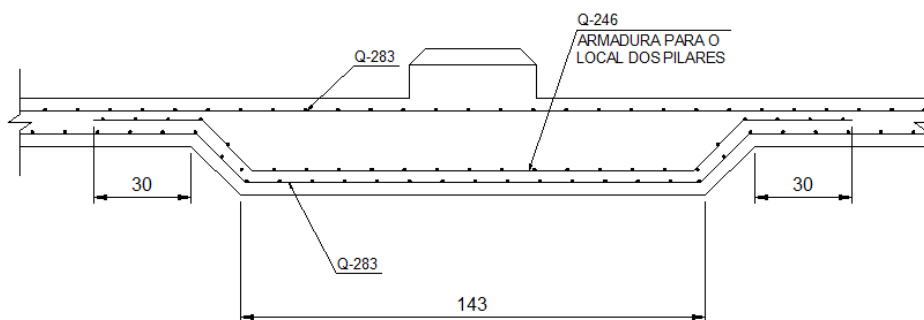


Figura 7 – Detalhe do capitel no piso na região sob o pilar de apoio das plataformas (dimensões em cm).

### Pisos de manobras dos macacos hidráulicos

O piso de manobras dos macacos hidráulicos (Figura 8) ocupa uma área de dimensões aproximadas de 25 m de extensão possuindo quatro áreas de 9 m de comprimento e 2,5 m de largura. O piso nesta região possui estrutura do tipo *radier* estaqueado (Figura 9) dimensionado para resistir à capacidade dos macacos hidráulicos: 50 toneladas. As estacas possuem distancia entre eixos de 1,5 m.

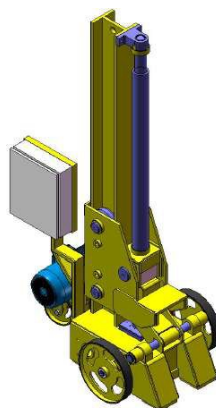
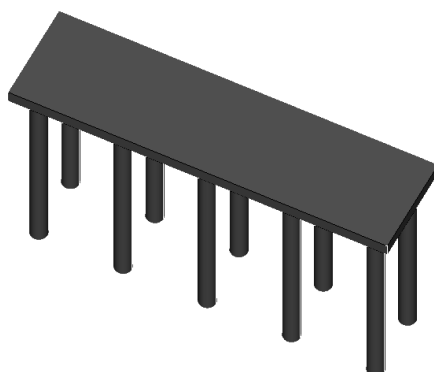


Figura 8 – Macaco hidráulico.



**Figura 9 – Radier estaqueado utilizado no piso da área dos macacos hidráulicos.**

### **Fundação de trilhos sobre base de concreto (*Slab Track*)**

As fundações dos trilhos no interior do galpão foram projetadas utilizando como alternativa técnica vários módulos de *radiers* estaqueados justapostos (*Slab Tracks*), conforme mostrado na Figura 8. Para evitar recalques diferenciais entre os módulos, o que poderia criar patologias nos trilhos, utilizou-se barras de transferência para ligá-los. As estacas possuem comprimento de 24 m e estão espaçadas entre si de 1,5 m na direção transversal ao *slab track* e 2 m na direção longitudinal.



**Figura 10 – *Slab track* estaqueado**

Na região do galpão em que existem valas de manutenção sob os trilhos o *Slab Track* foi associado a um muro de concreto que funciona com uma parede de contenção das valas (Figura 11).





# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

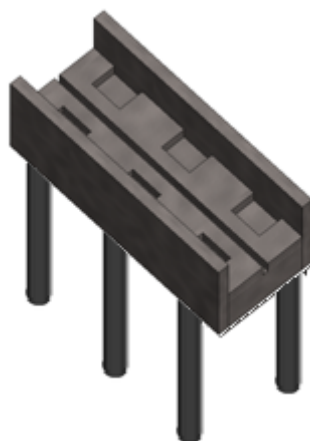
21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Além disso, na transição entre a base do trilho sobre concreto (fundação rígida) e o exterior em que os trilhos estão apoiados sobre lastro de brita (fundação flexível) foi criado um *radier* ligado ao *Slab Track* por um dente Gerber e apoiado sobre a mesma subbase do lastro de brita de modo a se ter uma estrutura sem-rígida que permita compatibilizar as deformações.



**Figura 11 – Slab track estaqueado com muro de concreto associado.**

## Bases de bombas

Para as fundações das bombas e equipamentos vibratórios foram utilizadas bases (blocos) de concreto armado apoiadas diretamente sobre o solo. É importante ressaltar que além dos critérios prescritos nas normas NBR 6118:2007 e NBR 6122:2010, também foram consideradas as verificações dinâmicas recomendadas pela norma N-1848 (Petrobras, 2011) para equipamentos vibratórios.

## Recalques

A Tabela 2 mostra os valores de recalques absolutos estimados para as estruturas. Nota-se que os valores de recalque atendem aos critérios de recalque absoluto e diferencial.

**Tabela 2 – Recalques absolutos das estruturas que compõem o galpão.**

<b>Estrutura</b>	<b>Recalque (mm)</b>
Fundações galpão (Bloco de 6 estacas)	20
Fundações galpão (Bloco de 1e 2 estacas)	10
Mesa Falsa	17
Base de bombas	3
Piso da área dos macacos hidráulicos	10
Plataformas	2
<i>Slab track</i>	25



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

## Conclusão

Os valores de recalque obtidos para as estruturas que compõem o galpão atendem aos critérios de recalque absoluto e diferencial indicando que as estruturas vão exercer suas funções adequadamente e possibilitarão o bom funcionamento dos equipamentos a elas associados.

A combinação de diferentes soluções técnicas e a correta integração entre elas mostraram-se fundamentais para definição de um projeto técnica e economicamente viável. A integração das diversas soluções exigiu uma atenção especial não apenas do ponto de vista de resistência aos esforços, mas também quanto à compatibilização e controle dos recalques diferenciais entre as diversas soluções de modo a evitar o aparecimento de tensões na estrutura e evitar patologias.

## Referências

- AOKI, N & VELLOSO, D. A. *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*. In: PAN AMERICAN CSMFE, 5., 1975, Buenos Aires. 1975. V. 1, p.367-376.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6122 – Projeto e execução de fundações. 2010.
- FREITAS, A. C. Contribuição ao estudo do efeito tridimensional de instalação e de grupo em estacas cravadas em areias. UERJ, Rio de Janeiro, 2010.
- MEYERHOF, G.G. *Bearing capacity and settlement of pile foundation*, ASCE, GT 3, 1976.
- PETROBRAS – PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. N-1848 – REV. C – Projeto de Fundações de Máquinas. Rio de Janeiro, 2011.
- PIANCASTELLI, E. M. Fundações em estacas: Dimensionamento geométrico e estrutural. UFMG, Belo horizonte, 2012.
- POULOS, H.G. & DAVIS, E. H. *Pile foundation analysis and design*. Wiley, New York, 1980.
- RANDOLPH, M. R. *A Theoretical study of the performance of piles*. 1977. PhD Thesis – University of Cambridge, Cambridge, 1977.
- SILVEIRA, J. E. S. Curso de estruturas de fundação: Investigações geotécnicas, fundações profundas e fundações diretas. UFMG, Belo Horizonte, 2003.
- VELLOSO, D. A. & LOPES, F. L. Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. São Paulo, Oficina de Textos, 2010.