



UNIFACS



Análise comparativa entre a investigação geotécnica realizada e inconsistências encontradas durante o processo executivo de uma fundação por estaca raiz: Estudo de caso em obra de um elevador na cidade de Salvador - Bahia

Rafael Arouca Requião
(rafator08@hotmail.com)

Professora orientador: Ivana Barreto Matos

Coordenação de curso de Engenharia Civil

Resumo

Neste estudo de caso, foi analisada a execução de estacas raiz em um viaduto, cujo comprimento foi significativamente maior do que o previsto pela investigação geotécnica. A pesquisa buscou compreender as causas dessa discrepância e propor soluções para evitar problemas semelhantes em futuras construções. Inicialmente, foi realizada uma contextualização sobre a importância das sondagens geotécnicas na construção de fundações profundas e a necessidade de precisão nas informações obtidas. Os objetivos alcançados incluíram a identificação das possíveis causas do erro na estimativa do comprimento das estacas raiz e a análise dos impactos decorrentes desse erro. A metodologia adotada envolveu a coleta de dados referentes ao projeto original, aos relatórios de sondagem e ao processo executivo da fundação. Os resultados obtidos indicaram que a discrepância no comprimento das estacas raiz pode ser atribuída a técnicas inadequadas de sondagem ou falhas humanas na execução. Em conclusão, o estudo propôs a adoção de práticas de gestão de projetos eficientes, a melhoria na qualidade e precisão das sondagens, além da escolha correta ao tipo de situação. Essas medidas podem ajudar a evitar problemas semelhantes em futuras obras e garantir a sustentabilidade financeira dos projetos de viadutos.

Palavras-chave: Investigação geotécnica. Fundações profundas. Estaca raiz.

1. INTRODUÇÃO

O estudo geotécnico é uma das principais preocupações no projeto por causa da complexidade das suas características, sendo um dos principais responsáveis por determinar o tipo de fundação da estrutura. Segundo Pinto (2006), Terzaghi desde a década de 30 já evidenciava que as leis que são aplicáveis a aço, concreto e outros materiais, não podem ser aplicadas a solos, o que evidencia a necessidade de uma investigação geotécnica adequada. Solos com análise geotécnica feita de maneira incompleta ou inadequada, levam a diversos problemas estruturais como no caso dos edifícios tortos em Santos/SP, que foram feitos com fundações rasas sem levar em conta a camada mais profunda de argila mole marinha com até 40m de espessura.

O estudo adequado do solo é feito por uma investigação preliminar com o objetivo de definir as principais características e sua estratigrafia, uma investigação de projeto que esclarece os pontos relevantes do subsolo e as propriedades das suas camadas. Finalizando com uma investigação para fase de execução que confirma em áreas críticas da obra as condições de projeto. Dentre os ensaios geotécnicos existentes tem-se o SPT (Standard Penetration Test), o

DMT (DilatoMeter Test), o CPT (Cone Penetration Test), o VST (Vane Shear Test) e o PMT (PressureMeter Test), a Sondagem Mista (SM) e os Métodos Geofísicos.

Fundações profundas são caracterizadas por exigirem maiores esforços em sua execução e uso de equipamentos mais sofisticados, tendo a sua cota de apoio acima de 3 metros de profundidade. Geralmente são utilizadas em locais onde os solos apresentam pouca resistência, transmitindo a carga ao solo pela base, pela superfície lateral ou por ambas. São divididas em estacas, tubulões e caixões. Segundo Velloso e Lopes (2004), elas se diferem quanto ao processo executivo, sendo necessário a descida de operados nos tubulões e caixões, já nas estacas só são utilizados máquinas e equipamentos.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2019), estaca raiz é uma estaca moldada no local, em que a perfuração é revestida integralmente, em solo, por meio de segmentos de tubos metálicos (revestimento) de 1,0 m a 1,5 m, que vão sendo rosqueados à medida que a perfuração é executada. Vale ressaltar que os tubos são utilizados apenas como suporte e são recuperados para utilização na execução das outras estacas. A estaca raiz é armada em todo o seu comprimento e a perfuração é preenchida por uma argamassa de cimento e areia. É o tipo de fundação mais versátil que existe, atendendo as necessidades estruturais em locais de geologia complexa, como regiões com cascalho, areias, argilas, entulhos ou mesmo rocha sã.

O estudo é relevante, pois busca alertar os profissionais da área sobre a importância da investigação geotécnica, identificando possíveis falhas no processo, fornecendo informações sobre a execução de estacas raiz e discutindo a importância de sondagens adequadas na redução de custos e riscos em projetos de fundações profundas.

Neste contexto, o objetivo do trabalho é analisar comparativamente a investigação geotécnica realizada e inconsistências encontradas durante o processo executivo de uma fundação por estaca raiz através de estudo de caso em obra de um elevado na cidade de Salvador - Bahia.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Processos de Sondagem Geotécnica

A sondagem geotécnica, por sua essência, é um elemento crucial na obtenção de informações acerca das características do subsolo, as quais são imperativas para a concepção e execução adequada de um projeto de fundações profundas, conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2018). Segundo Mello (2012) de acordo com os princípios brasileiros da Engenharia Civil, é imperioso que se adotem procedimentos de sondagem que permitam retratar, com fidelidade, a realidade do terreno, pois dessa análise depende o sucesso do projeto e, conseqüentemente, a sua viabilidade financeira.

A investigação do solo pode ser realizada por métodos diretos, que através da extração de amostras do solo é feita uma análise direta do subsolo, sua identificação, resistência das camadas e classificação. A prospecção é feita ao longo de todas as camadas do solo permitindo uma análise minuciosa, atingindo locais com extrema profundidade, descrevendo estruturas geológicas e características geotécnicas dos materiais. Existem ainda os métodos indiretos que determinam as características dos solos extraindo indiretamente através dados topográficos, análise morfológica e física do terreno sem alterar as propriedades físicas, recebendo a denominação de sondagens geofísicas, sendo divididas em métodos geoeletricos, métodos sísmicos e métodos potenciais.

Dentre os métodos geotécnicos mais utilizados, alguns se destacam sendo os mais utilizados no Brasil e são eles: SPT (Standard Penetration Test), a sondagem mista (SM) e a sondagem geofísica. São métodos que envolvem custos relativamente baixos, apresentando

grande precisão quando aplicados de maneira correta, o que é determinante devido a complexidade do solo.

A sondagem SPT - Standard Penetration Test ou Ensaio de Sondagem à Percussão é uma sondagem cuja objetivo é determinar informações como o tipo dos solos em suas respectivas profundidades, posição do nível d'água e os índices de resistência à penetração "N" a cada metro. Essa sondagem é uma das mais utilizadas no Brasil devido ao custo relativamente baixo e alta eficiência. De acordo com a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE 2013), os equipamentos necessários para realização do SPT são: tripé com roldana, guincho mecânico ou moitão, trado concha e helicoidal, hastes, luvas de aço galvanizado, alimentador de água, cruzeta, trépano, "T" de lavagem, barriletes amostradores e peças para sua cravação, martelo com 65 kg, guia, tubos de revestimento, torquímetro, bomba d'água, abraçadeiras para revestimento, abaixadores, alçadores para hastes, saca-tubos, bomba-balde, chaves de grifo, trena, recipientes herméticos para amostras, sacos plásticos transparentes de alta resistência, etiquetas para identificação, medidor de nível d'água.

O Ensaio de Sondagem à percussão possui uma grande limitação quanto a determinação do topo rochoso, uma vez que ao atingir a superfície impenetrável o equipamento não consegue avançar. A identificação do tipo de material que impediu o avanço fica comprometida não permitindo um levantamento preciso, principalmente para fundações que serão cravadas em rochas.

Segundo Velloso & Lopes (2010) as sondagens mistas, por sua natureza, são especialmente relevantes em cenários em que o subsolo apresenta camadas de solos e rochas intercaladas ou quando há presença de materiais de difícil penetração, como rochas duras ou concreções. Esse processo consiste numa junção da sondagem SPT com o método rotativo, quando a sondagem a percussão apresenta no seu mostrador uma penetração menor que 5cm em 10 golpes, tendo também 50 golpes no mesmo ensaio ou identificar material impenetrável, daí é inserido a perfuratriz sonda rotativa com coroa diamantada. O processo se dá com o terreno seco, sendo feita a instalação da sonda rotativa em plataforma plana escavada tendo que ser firmemente ancorada, para que minimize as vibrações transmitidas para os tubos de sondagem.

O processo de sondagem mista exige muita atenção e experiência do executor, pois além da escolha adequada de barrilete e coroa, é necessário um avanço lento, reduzindo o volume de água para que se consiga recuperar testemunhos nos trechos rochosos muito alterados. Segundo a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE 2013), a cada metro avançado na perfuração devem ser retirados 0,95m de testemunhos, representando uma recuperação mínima de 95% que são medidos na caixa de amostra. A sondagem se encerra após atingir a rocha sã ou de acordo com as necessidades do projeto, caso o método rotativo perfure 50cm de material mole é retomado o processo de SPT até ser atingido novamente material impenetrável.

A sondagem geofísica trata-se da identificação de interferências nas camadas do subsolo, obtendo imagens elétricas dos materiais que constituem o solo, água, rocha de maneira não destrutiva, sendo possível identificar o perfil geológico-geotécnico com bastante rapidez e custos reduzidos. Um dos métodos desse tipo de sondagem é a elétrica vertical (SEV), que se baseia no fato que os materiais, os solos e as rochas possuem diferentes coeficientes de resistividades elétricas em função da sua composição, se assemelha ao método SPT já que traz informações lineares do subsolo. Uma das vantagens em relação a SPT é que nesse método dá para identificar o que é topo rochoso e o que é topo mataco, sem implicar em custos adicionais do serviço. Lago et al. (2007a) no seu artigo Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP, utilizou esse método de investigação geofísica que conseguiu observar uma abrangência maior, o que chamou atenção para efetividade do método.

A investigação geofísica pode ainda ser feita pelo método sísmico de refração, sendo que a partir da velocidade de propagação das ondas sísmicas é possível determinar cada material e diferenciar quanto as características de solo e de rocha. Após isso é gerado um perfil sísmico linear ou um diagrama tridimensional, perfil 3 D, sendo possível identificar o topo rochoso, a espessura do solo e os matacos que existem no terreno. Os materiais utilizados são as fontes que liberam a energia emitindo o sinal, o receptor que é capaz de identificar as deformações sofridas com a passagem da onda mecânica, equipamentos de controle que são responsáveis por controlar o intervalo de amostragem e seu tempo total, e por último o equipamento de gravação que registra os dados.

2.2 Fundações Profundas

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 2019) as fundações profundas são elementos capazes de transmitir a carga ao terreno pela resistência de ponta, por sua superfície latera ou por uma combinação desses dois itens, sendo que a ponta tem que estar assentada a uma profundidade mínima de 3 metros. São classificadas como: estacas que são executadas de maneira mecânica sem que haja descida do operador; tubulões que são elementos de grande porte tendo seção circular geralmente apresentando base alargada, tendo na sua parte final a descida do operador para inspeção; caixão segundo Koga (2017), trata-se de uma estrutura de fundação profunda em forma prismática, concretada na superfície, sendo instalada logo depois por escavação, com a possibilidade de ter ou não base alargada.

As fundações profundas geralmente são utilizadas em solos com baixas resistências superficiais, normalmente estão sujeitos ao processo erosivo. Outro fator determinante no uso desse tipo de fundação é a possibilidade de futuras escavações próximas ao terreno, visto que a sua profundidade e cálculo estrutural deve ser suficiente para suportar as cargas geradas pela movimentação ou retirada do aterro nas proximidades.

Atualmente as fundações profundas mais utilizadas são as estacas, que apesar da grande variedade existente, são diferenciadas basicamente de acordo com o método executivo e materiais que são constituídas. De acordo com Hachich (1998), as estacas usuais podem ser classificadas em estacas de deslocamento, que são introduzidas no terreno por algum processo que não promova a retirada de solo e as estacas escavadas, que são aquelas executadas “in loco” através de perfuração do terreno por um processo qualquer, com remoção de material, com ou sem revestimento, com ou sem a utilização de fluido estabilizante.

Entre as estacas de deslocamento se destacam as pré-moldadas que são caracterizadas por serem cravadas por prensagem, percussão ou vibração, as estacas de madeira que são troncos de árvores cravados a percussão, as estacas Franki que tem a cravação de um tubo através de golpes de um pilão. Ainda nessa família existem estacas Vibrex que seguem o mesmo procedimento de cravação que a Franki, a diferença é que o tubo é removido com vibração, estacas Ômega que apresenta um dispositivo no trado capaz de deslocar o solo e concretar de forma simultânea e estacas Mega que são cravadas com o uso de cilindros hidráulicos.

2.3 Estaca Raiz

Os primeiros registros de uso da estaca raiz foram na Itália pela empresa Fondedile SPA em meados de 1952, tendo como aplicação inicial reforços em fundações de estruturas antigas e de pequeno porte. Começou a ganhar força a partir da década de 60, tendo uma boa aplicabilidade no solo brasileiro, passando a ser usado não só como reforço, mas como elemento principal.

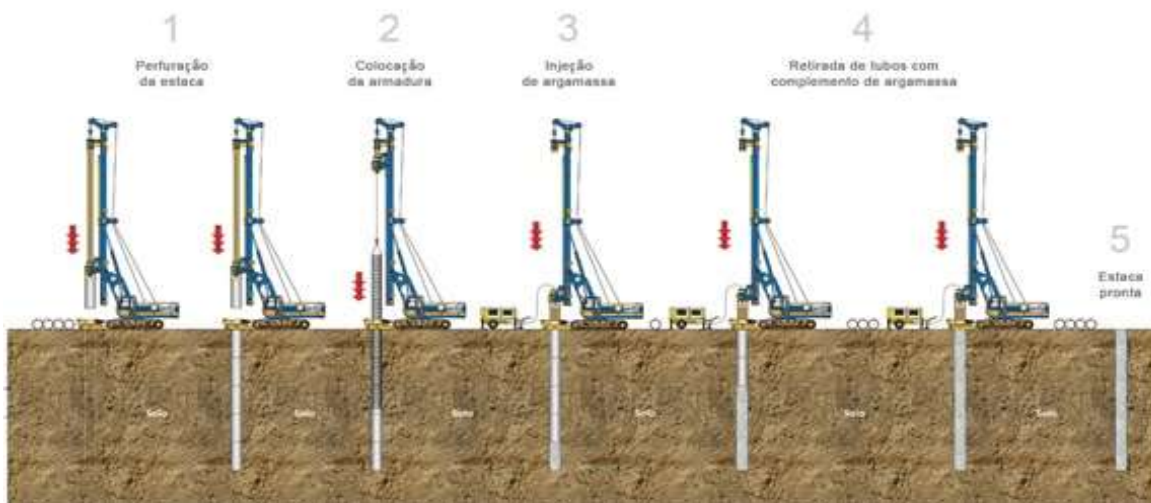
A adoção de estacas raiz, conforme preconizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 2019), demanda um rigoroso controle de qualidade, desde a concepção do

projeto até a execução e a fiscalização da obra, a fim de garantir a segurança, a eficiência e a economicidade da solução adotada. As estacas do tipo raiz representam tipos de fundações escavadas de pequeno diâmetro, inferior a 500mm, sendo elas preenchidas com argamassa e utilizadas em consolidações de taludes, reforços de fundações, túneis, viadutos, paredes de contenção, fundação de terrenos com grande densidade de matacões. Essas estacas têm como característica marcante o elevado atrito lateral, tendo uma alta capacidade de carga que chega a atingir 140tf podendo ser utilizadas para esforços de tração e de compressão.

Sua execução assim como todas as estacas desse tipo é feita através de rotação ou rotopercussão, sua inclinação pode variar de 0° a 90° conseguindo alcançar profundidade de até 50m. Apresentam tubos circulares com revestimento metálico, também chamados de “camisa”, que vão sendo utilizados ao longo da extensão da estaca, sendo retirados e reutilizados após a finalização do processo com o posicionamento da armadura e a injeção da argamassa. É o tipo de fundação mais versátil que existe, atendendo as necessidades estruturais em locais de geologia complexa, como regiões com cascalho, areias, argilas, entulhos ou mesmo rocha sã.

Os equipamentos utilizados no processo executivo de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia (ABEF 2012) são: perfuratriz rotativa, misturador de argamassa, bomba de injeção, bomba de água, martelo, compressor de ar, conjunto extrator, reservatórios de água e gerador. A execução se inicia com a terraplenagem e regularização da área para posicionamento da perfuratriz, seguido do posicionamento do tubo de revestimento e perfuração da estaca raiz. A perfuração é feita com o uso de água e à medida que se avança os tubos vão sendo emendados, quando há necessidade de perfuração da rocha são colocas hastes tricônicas. Com o auxílio da água essas hastes conseguem perfurar a rocha até a cota exigida em projeto, sendo inserida a armadura logo em seguida. A Figura 1 ilustra todo esse processo executivo.

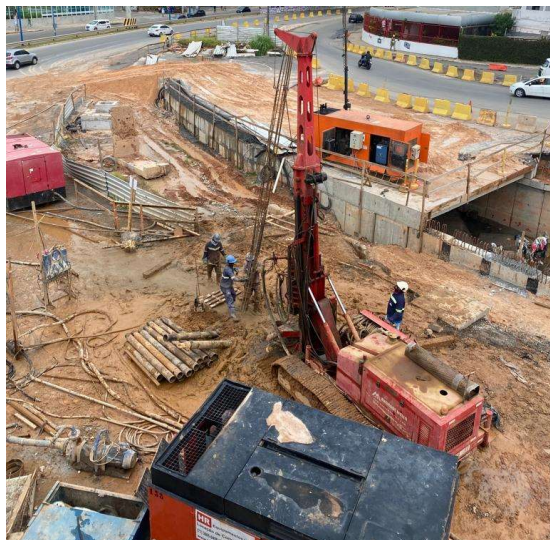
Figura 1: Método executivo de fundações em estaca raiz



Fonte: Escola de Engenharia, 2018.

O processo de injeção se inicia com a inserção dos tubos que com o auxílio de uma bomba introduzem a argamassa com fck igual ou superior a 20 MPa, que é feita de cimento e areia, a partir do fundo da estaca até a expulsão completa da água. Finalizada essa etapa é retirada toda a “camisa” ou tubos de revestimentos que serão utilizados em outros furos. As estacas são finalizadas após o arrasamento que deve ser feito 24h após a injeção, devendo ficar embutido no bloco no mínimo 5 cm, como mostra a Figura 2, a seguir.

Figura 2: Execução da armadura e arrasamento



Fonte: Autor

Uma vez analisadas essas características incluindo a grande versatilidade desse tipo de fundação, atrelada ao seguimento das especificações de execução vigentes na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 2010) é possível inferir as seguintes vantagens e desvantagens, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1: Vantagens e Desvantagens da Estaca Raiz

Vantagens	Desvantagens
Ausência de vibração e descompressão do terreno;	Custo elevado;
Possibilidade de execução em áreas com espaço limitado;	Alto consumo de cimento;
Utilização em terrenos com presença de matacões, rochas e concretos;	Alto consumo de aço;
Possibilidade de combater esforços de flexão;	Grande impacto ambiental;
Execução com inclinações variando de 0 a 90°;	Obra alagada devido ao grande consumo de água.
Não provoca poluição sonora.	

Fonte: Escola Engenharia, 2018

3. METODOLOGIA

Para a análise meticulosa do caso em questão, foi adotada uma metodologia que permitiu a investigação detalhada dos elementos relativos à sondagem geotécnica, à execução das estacas raiz e às possíveis falhas cometidas. Para tanto, realizar-se-á o levantamento e a interpretação dos dados técnicos pertinentes à obra, bem como a revisão da literatura especializada, a fim de elucidar as nuances das fundações profundas e das estacas raiz (MASCARENHAS, 2016).

Inicialmente, convém proceder à coleta e sistematização dos dados referentes ao projeto e à sondagem geotécnica, a exemplo das profundidades previstas e efetivamente alcançadas, das características do subsolo, dos métodos adotados na sondagem e na execução das estacas raiz, e dos materiais empregados. De acordo com Araújo (2018), tais informações devem ser organizadas em tabelas, facilitando a comparação entre os valores estimados e os efetivamente despendidos.

Em seguida, aprofundar-se na análise dos problemas decorrentes da discrepância observada entre as profundidades previstas e as efetivamente alcançadas na execução das

estacas raiz. Segundo Oliveira (2020), deve-se examinar a literatura especializada em estudos de caso análogos, bem como a documentação pertinente aos contratos firmados entre as partes envolvidas. O fluxograma, Figura 3, mostra as etapas envolvidas no processo metodológico.

Figura 3 – Fluxograma



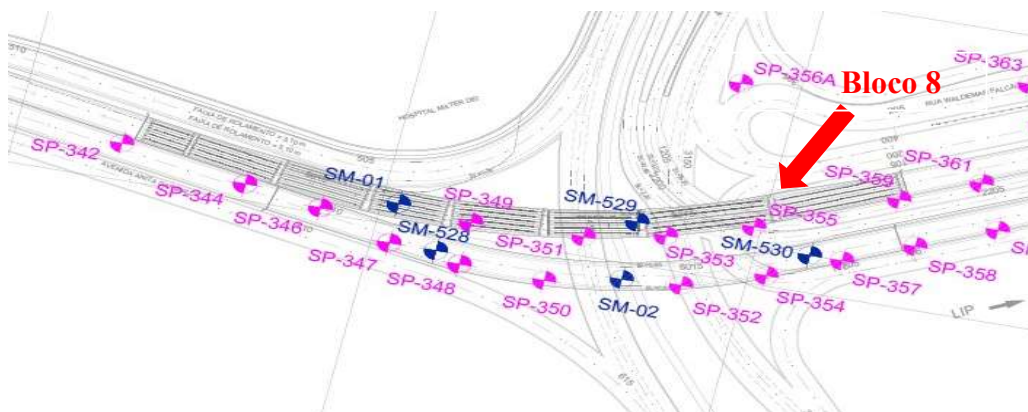
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1 Estudo de Caso

O estudo de caso é referente a um viaduto localizado em Salvador, tendo início das sondagens no ano de 2021 e sendo executado entre os meses de abril de 2022 e janeiro de 2023. No estudo de caso foi analisada a situação em que as estacas raiz apresentaram um comprimento maior que o projetado a partir das informações obtidas pelas sondagens. Os pontos levados em consideração foram referentes aos locais em que essa discrepância apresentou valores significativos.

Na região de execução do elevado foram feitas 21 sondagens, sendo 16 do tipo SPT e 5 sondagens mistas, como mostra a Figura 4, que determinaram a escolha do tipo de fundação.

Figura 4 – Planta de localização das sondagens



Fonte: Autor

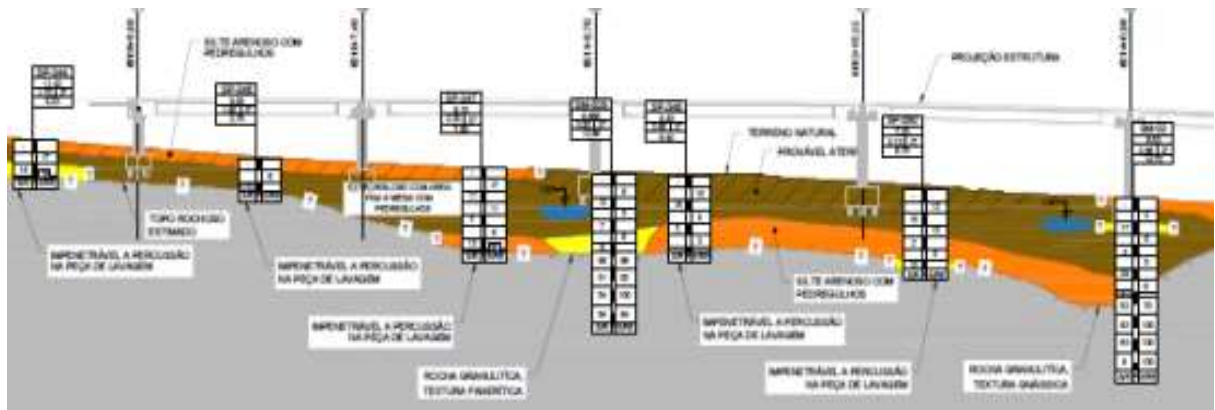
Todas as sondagens utilizaram como referência o ponto mais baixo do terreno, as sondagens a percussão foram encerradas ao atingir uma camada impenetrável. Já nas sondagens mistas a referência era o topo rochoso, que ao ser atingido a sondagem continuava até uma profundidade aproximada de 5m de rocha sã. Com isso todas as coordenadas, Tabela 1, foram levantadas e registradas.

Diariamente foi acompanhado o processo de execução e cravação das estacas, os relatórios diários de obra mostravam as dificuldades encontradas para atingir profundidades não previstas. A produtividade se limitava a uma estaca por dia quando não havia algum impedimento das intempéries ou quebra de equipamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o estudo realizado e análise do perfil geológico-geotécnico levantado a partir de sondagens a percussão e sondagens mistas, foi possível reconhecer uma região caracterizada por confluência de dois vales, sendo que estes apresentam um embasamento rochoso em poucas profundidades, em alguns pontos chega a ocorrer afloramentos rochosos principalmente em regiões de taludes com cortes. Os perfis geológico-geotécnicos estão representados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6: Perfil geológico-geotécnico



Fonte: Autor

As Figuras 6 e 7 apresentam a área rochosa delimitada na cor cinza, tendo seu topo marcado pela área impenetrável a percussão na peça de lavagem. A cor azul reprensas o nível do lençol freático encontrado apenas nos pontos em que foram representados, coincidentemente localizados nos trechos de cor marrom escuro que são as áreas de aterro constituídos de silte argiloso. O marrom claro mostra o silte arenoso com pedregulhos e a cor amarela os trechos de areia fina e média.

Figura 7: Perfil geológico-geotécnico



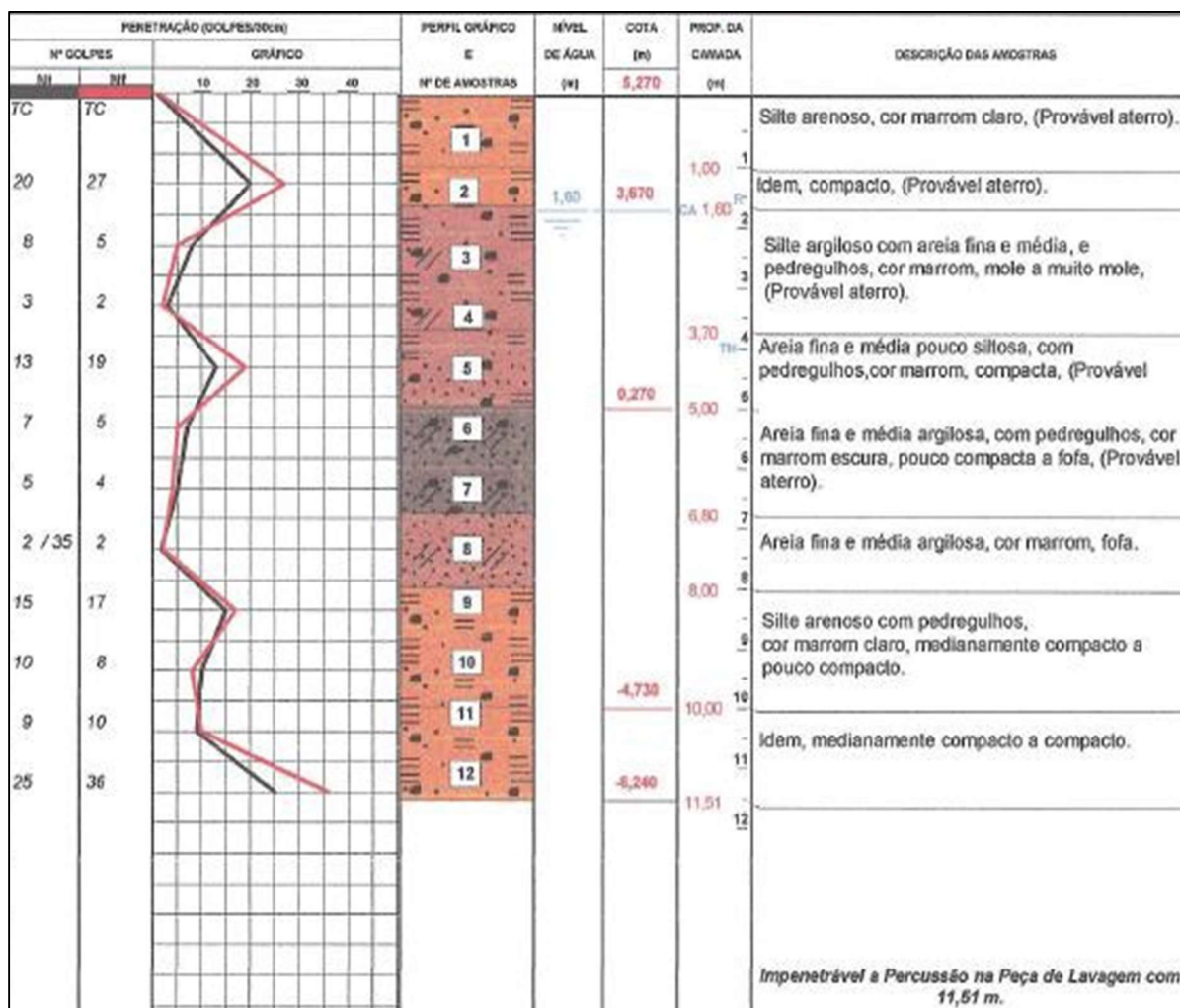
Fonte: Autor

É possível notar uma camada superficial de aterro com espessura variável na cor marrom, entre 1m e cerca de 6m, sendo formado principalmente por siltes argilosos e arenosos com areias finas e médias e pedregulhos. A camada seguinte, amarelo, apresenta em sua constituição areia fina a média pouco siltosa com sua compactação variável composta ainda por camadas de siltes argilo-arenosos também com uma compactação variável. Em alguns pontos foram detectadas camadas delgadas de solo com baixa resistência e espessura variando entre 1m e 2m. O lençol freático, mostrado em azul, foi encontrado em 8 pontos de sondagens, tendo uma variação entre 0,90 e 3,15m.

Os pontos em que foram detectadas rochas, cor cinza, mostram materiais granulíticas, com uma textura gnáissica e as cotas variaram entre 5m e 9m abaixo da cota de boca com o uso das sondagens mistas, porém em alguns pontos quando inferido pelas sondagens a percussão atingiram o limite de penetração profundidade de até 12m. Foram apresentadas nas sondagens uma camada inicial rochosa de cerca de 1m a 2m de espessura, seguida por uma camada de rocha sã com cerca de 5m tendo altos valores de recuperação e alto índice de qualidade de rocha. O ponto de maior penetração e onde ocorreram as maiores discrepâncias quanto a real profundidade da rocha foi na sondagem SP355 com uma sondagem mista nas proximidades SM530.

A Figura 8 é referente a sondagem a percussão 355 mais próxima do bloco 8 com uma distância total de 2,00 metros.

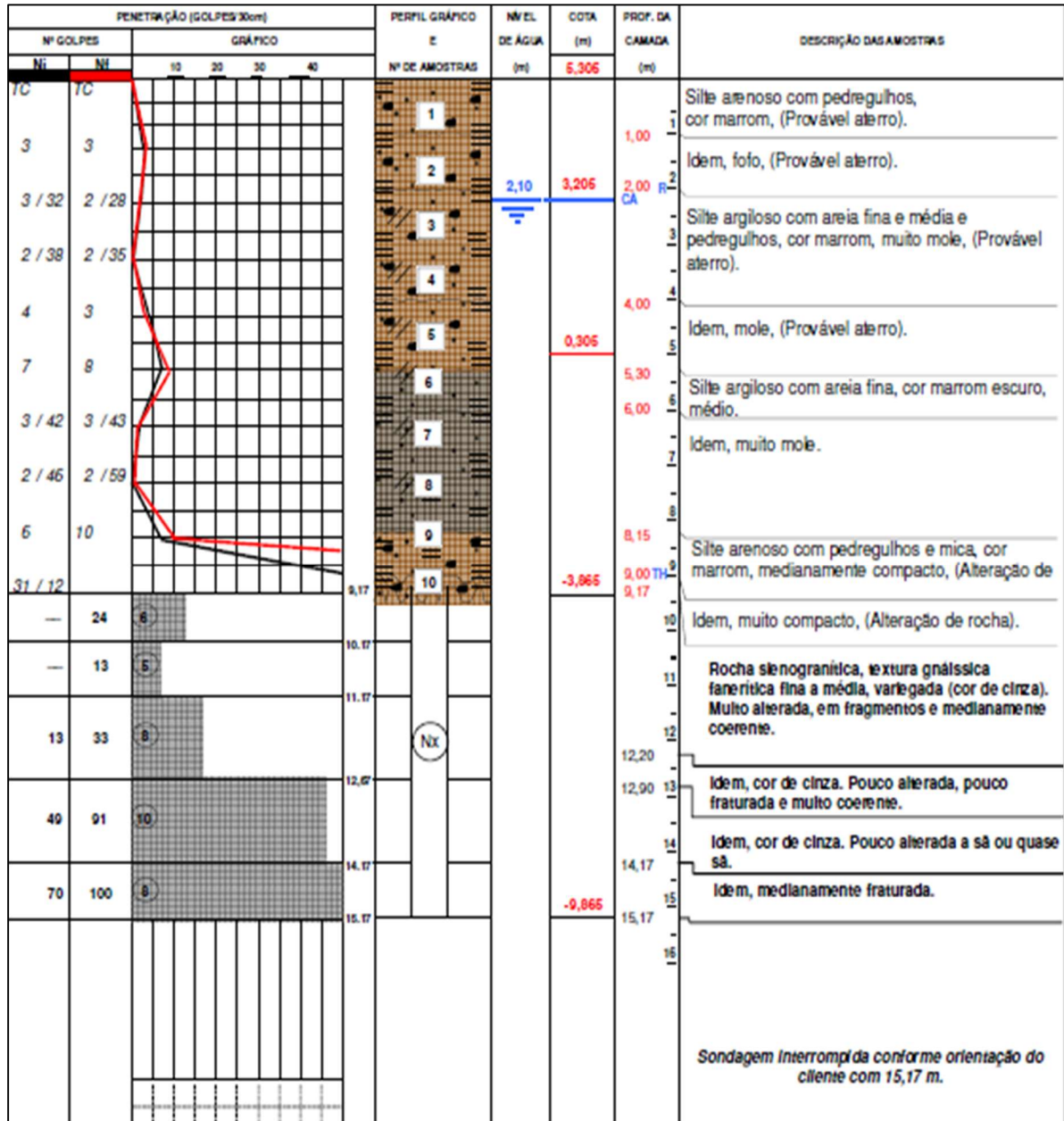
Figura 8: Sondagem a percussão SP355



Fonte: Autor

Na Figura 9 é representado o ponto de sondagem mista SM530 que foi realizada cerca de 6,00 metros de distância do bloco 8.

Figura 9: Sondagem mista SM530



Fonte: Autor

Uma vez analisado o perfil geológico e devido as condições do local, por se tratar de um centro urbano, além de outras características, foi iniciada a execução das fundações com a estaca raiz. No entanto, observou-se que no ponto especificado pelas sondagens citadas ocorreram diferenças quanto a profundidade da rocha o que levou a uma alteração significativa no tempo de execução, visto que o material identificado erroneamente como rocha precisou ser retirado. Após execução do primeiro furo foram obtidos os resultados quanto ao comprimento da estaca, baseado em sua cravação na rocha como solicitado pelo projeto. Ficando evidenciado 32,00 metros de perfuração em solo e 1,80 metros em rocha na Figura 10, que se trata de um boletim de medição da estaca E82 no bloco 8 do viaduto.

Figura 10: Boletim de medição

LOCAL: SALVADOR - BA				DATA:				
SERVIÇO: EXECUÇÃO DE ESTACAS TIPO RAIZ				25/out				
	DIURNO	NOTURNO	DESCRIÇÃO	CONDIÇÃO CLIMÁTICA				
EQUIPAMENTOS	1		PERFURATRIZ HIDRÁULICA	DIURNO	NOTURNO			DESCRIÇÃO
	1		BOMBA INJETORA	MANHÃ	TARDE	NOITE	MADRUGADA	
	1		MISTURADOR	X	X			
EQUIPE	1		ENGENHEIRO					CHUVISCO
	1		ADMINISTRATIVO					CHUVA FORTE
	1		ENCARREGADO	UNID	QUANTIDADES			
	1		OPERADOR DE PERFURATRIZ		DIÁRIA	ACUMULADA		
	1		INJETADOR			NO MÊS	NA OBRA	
	6		AJUDANTE					
ITEM	DESCRIÇÃO							
1	Taxa de mobilização e desmobilização, transporte e instalação de equipe e equipamento no canteiro, por equipamento.			Eq	-	-	-	-
2	Execução de estaca raiz vertical Ø 410mm.			und	1,00	1,00	-	-
2.1	Execução de estaca raiz vertical Ø 410mm - com perfuração em solo.			m	32,00	32,00	-	-
2.2	Execução de estaca raiz vertical Ø 410mm - com perfuração em solo em consistência rochosa.			m	2,10	2,10	-	-
2.3	Execução de estaca raiz vertical Ø 410mm - rocha.			m	1,80	1,80	-	-
Execução da estaca E82 com perfuratriz Link060								

Fonte: Autor

As estacas que em projeto teriam cerca de 13,80m uma vez que a sondagem SPT355 nesse ponto detectou rocha a 12,00m, passaram para valores de 32,00m. Durante a execução das estacas foi possível verificar que a sondagem parou com 12,00m, num ponto em que havia pedaço de laje armada com dimensões de 3m x 4m x 0,5m. Material que a perfuratriz utilizada não teve potência suficiente para romper, sendo necessário a interrupção do serviço e utilização de escavadeira hidráulica. Todo o processo teve que ser realizado no período das 22:00h às 05:00h com interrupção da via e escavação em talude de 1:1. Ao atingir o material não foi possível demolir com a escavadeira 320 utilizada, sendo necessário cancelamento da atividade, reaterro e liberação da área. Na noite seguinte com o uso de uma escavadeira 336, com potência de 232 kW e profundidade máxima de escavação 7520 mm foi possível realizar a escavação, demolição e retirada da interferência.

Uma vez estimado o custo para execução desse tipo de fundação é possível mensurar a diferença entre o previsto e o realizado, sendo observado o real prejuízo causado por esse tipo de erro.

De acordo com os dados envolvidos na execução da fundação, tem-se que o custo real por metro de estaca raiz equivale a R\$1.071,98, como a diferença entre o orçado e realizado foi de 18,20m por estaca e admitindo-se que a quantidade total de estacas que apresentaram essa discrepância foi de 16 unidades. É possível majorar um gasto a mais de R\$312.160,57 na área estudada. A Tabela 2, a seguir, apresenta dados com a relação de materiais e mão-de-obra necessária para realização de 1 metro de estaca raiz.

Tabela 2: Custo por metro para execução de estaca raiz

Composição de Custo Unitário				UN
EXECUÇÃO DE ESTACAS				M
MATERIAIS	UN	QUANT.	PREÇO UNIT.	TOTAL
Estaca raiz perfurada em rocha 410mm	M	0,11111200	600,00	66,67
Mobilização e desmobilização de equipe	UN	0,00208000	11.000,00	22,88
Hora de equipe e equipamento parado	H	0,07360000	500,00	36,80
Estaca raiz perfurada em solo de 410mm	M	0,88888900	270,00	240,00
Deslocamento entre frentes - Equipamentos	UN	0,00208000	4.000,00	8,32
Água por m ³	M3	2,38090000	28,86	68,71
Arrasamento e preparação das cabeças das estacas	UN	0,05555600	499,41	27,75
Serviço corte, dobra e montagem aço 25mm	KG	20,94205600	3,56	74,55
TOTAL				545,68
ATIVIDADES AUXILIARES	UN	QUANT.	PREÇO UNIT.	TOTAL
Argamassa estaca raiz fck 20 MPA	M3	0,13202600	1.257,74	166,05
Execução de prova de carga dinâmica	UN	0,01042000	2.678,16	27,91
Equipe de apoio estaca raiz	M	1,00000000	189,93	189,93
TOTAL				383,89
NENHUM	UN	QUANT.	PREÇO UNIT.	TOTAL
Fornecimento de aço CA-50 por bitola	KG	20,94205600	6,80	142,41
TOTAL				1071,98

Fonte: Autor

5. CONCLUSÕES

A escolha do tipo de investigação geotécnica, sobretudo para este tipo de obra, está diretamente ligada a determinação da fundação que se deve utilizar. Processos de investigação devem ser escolhidos com bastante rigor, visando não apenas o meio mais rápido, mas sobretudo a perfeição da execução e da análise dos dados.

O perfil geológico marcado por siltes argilosos e arenosos com areias finas e médias e pedregulhos nas primeiras camadas, alinhado com areia fina a média pouco siltosa com compactação variável na camada seguinte. Além da presença de solos com baixa resistência foram decisivos para a escolha do tipo de fundação profunda.

A disposição das sondagens em torno dos pontos de cravação de estacas de dois blocos não apresentou a eficiência esperada, fazendo com que o processo de execução se tornasse algo mais demorado e um tanto perigoso. Métodos como sondagens geofísicas poderiam ter sido utilizados, detectando o tipo de material que impediu o avanço da SPT, levando a errônea interpretação sobre a profundidade da rocha. Esse tipo de método através das diferenças dos coeficientes de resistividade elétricas dos materiais, conseguiria identificar se era rocha ou não o material que fez a SPT parar. Além disso, o aumento da quantidade de sondagens mistas ou

até seu reposicionamento, também poderia ter sido adotado como medida para melhor detalhamento do solo.

Como observado o tipo de estaca foi capaz de impedir problemas estruturais, visto que mesmo com a profundidade da rocha informada de maneira errada, após retirada a interferência a perfuração conseguiu avançar. Ultrapassada a interferência encontrada aos 12,00m foi atingida a real cota em que se encontrava a rocha sã, garantido a execução da estaca conforme exigências do projeto. Sendo solicitado pelo projetista a finalização da perfuração e execução da estaca raiz, com 1,80m de perfuração na rocha.

Apesar da eficiência do tipo de fundação adotada, o custo para execução ultrapassou em mais de R\$ 300.000,00 do orçado. A possibilidade desse valor ser ainda maior existe, visto que outros pontos podem ainda ter apresentado pequenas diferenças que somadas chegam a um valor considerável.

Em resumo, o estudo de caso desse viaduto ofereceu insights valiosos sobre os desafios e implicações relacionados ao processo de sondagem, aliado a execução de estacas raiz com comprimento maior que o informado em projetos de viadutos.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a professora, orientadora, mestre e especialista Ivana Barreto Matos pelo suporte concedido para realização das etapas do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Manual de sondagens**: Boletim nº 3. 5. ed. São Paulo: ABGE, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: projeto de execução de fundações. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: projeto de execução de fundações. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036**: programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036**: programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ARAÚJO, R. A. **Estudo de caso: análise dos custos em fundações profundas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA. **Manual de Execução de Fundações e Geotecnia: Práticas Recomendadas**. São Paulo: Pini, 2012. 499 p.

HACHICH, Waldemar. **Fundações: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998

JOPPERT JUNIOR, Ivan. **Fundações e contenções em edifícios: qualidade total na gestão de projeto e execução**. São Paulo: Pini, 2007.

KOGA, Leticia Midori; MIRANDA, Maicon de Oliveira; BERTERQUINI, Aline Botini Tavares. **Patologia das Fundações**. Revista Engenharia em Ação Unitoledo, Araçatuba, v. 02, n. 01, p.16-31, ago. 2017.

LAGO, Alexandre Lisboa; Elis, Vagner Roberto; GIACHETI, Heraldo Luiz. **Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP**. Revista Brasileira de Geofísica. São Paulo, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbg/a/hFWXVmDpjuvZS6N7GzyRbyrv/?lang=pt#>>. Acesso em: 22 mar. 2023

MASCARENHAS, R. L. **Fundações profundas: estudo de caso de um edifício em São Luís – MA**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2016.

MELLO, R M. **Sondagens na Engenharia de Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

OLIVEIRA, M. V. **Análise dos custos e produtividade em estacas raiz**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2020.

PEREIRA, C. **Estaca raiz: Características, processo executivo, vantagens e desvantagens**. 2011. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-raiz/>>. Acesso em: 02 abr. 2023.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo, 2006

VELLOSO, Dirceu de Alencar, LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais**. vol 01. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

VELLOSO, Dirceu de Alencar, LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações Profundas**. vol 02. São Paulo: Oficina de Textos, 2004