

Execução de 5 subsolos em parede diafragma com técnica de pré-furo em presença de arenito na região Nordeste

Pedro Duque Abrão

Engenheiro Civil, Geofix Engenharia e Fundações LTDA., São Paulo, Brasil, pedro.duque@geofix.com.br

Giuliano Silva de Oliveira

Engenheiro Civil, Geofix Engenharia e Fundações LTDA., São Paulo, Brasil, giuliano.oliveira@geofix.com.br

Marcio Abreu de Freitas

Engenheiro Civil Geotécnico, Geofix Engenharia e Fundações LTDA., São Paulo, Brasil, marcio.freitas@geofix.com.br

RESUMO: O cenário atual de projetos prediais em grandes centros urbanos tem apresentado uma constante tendência de aumento no número de subsolos contruídos em relação às décadas passadas. Isso deu-se devido às mudanças econômicas e sociais ocorridas ao longo do tempo, como o aumento populacional, o aumento no número de veículos e o desenvolvimento do mercado imobiliários de construções verticais. Com isto, a busca por soluções de engenharia para atendimento destas novas demandas tem se tornado um dos pontos essenciais no desenvolvimento destes projetos. Neste contexto, uma das técnicas que vem sendo adotadas pelos profissionais de geotecnia executores de fundações, em sintonia com os projetistas, é a execução de pré-furos para a construção de paredes diafragmas embutidas em solos de alta resistência com ou sem presença de rochas brandas. Este artigo apresenta um estudo de caso de um projeto onde foram executados 5 subsolos de parede diafragma em um empreendimento em Fortaleza, Brasil, em que havia a presença de arenito nas camadas até atingir a cota de ponta da parede de contenção. Neste projeto a técnica de pré-furo foi necessária para viabilizar a execução do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Pré-furo; Parede diafragma; Arenito; Solo de alta resistência; Subsolos; Perfuratriz de estacas de fundação

ABSTRACT: Nowadays buildings in big cities have presented a constant growth on the number of underground floors if compared to past decades. This is due to the social and economic changes that happened over time, such as populational growth, number of total vehicles and the evolution of real state market for vertical buildings. Because of this demand, the development of engineering solutions have become one of the central points for the construction design of new projects. In this context, one of the techniques adopted for the geotechnical professionals and foundation engineers are drilling methods for the execution of diaphragm walls on high resistance soils with or without the presence of soft rocks. This article presents a case study of a project in Fortaleza, Brasil, where were built 5 underground floors with diaphragm wall for the retaining system, with the presence of sandstone on the tip of the diaphragm. For this project the drilling method was required to enable the execution.

KEYWORDS: Drilling method; Diaphragm wall; Sandstone. High resistance soils; Underground floor; Pile foundation drilling machine

1 INTRODUÇÃO

No decorrer das últimas décadas ocorreu um crescimento exponencial na população mundial, principalmente em grandes centros urbanos. Juntamente a este crescimento populacional, veio também o aumento no número de veículos e unidades imobiliárias nestas regiões.

Somente na cidade de Fortaleza, segundo o IBGE (2022), existem cerca de 1,2 milhão de veículos cadastrados, onde destes cerca de 1,1 milhão são classificados como de passageiros, representando mais que o dobro do total de veículos cadastrados no município em 2008, cerca de 590 mil.

Esta tendência de aumento da taxa de motorização não compete somente ao município de Fortaleza, mas se faz presente nas áreas metropolitanas do país. De acordo com Rodrigues (2019), de 2008 para 2018 a taxa de motorização nas áreas metropolitanas do país saltou de 26,1 para 38,3 carros por 100 habitantes.

Além dos índices já citados, o número de unidades de ocupação de uma edificação também tem aumentado. Na cidade de São Paulo, por exemplo, segundo Minarelli (2021), houve um crescimento de 49% no estoque total de imóveis comerciais, de 215 mil unidades no ano 2000 para 321 mil no ano 2020, com área construída total saltando de 77 milhões de metros quadrados para 112 milhões. Neste crescimento, o maior salto se deu nas unidades comerciais verticais, com um crescimento de 72% da área construída, consequência esta resultante, principalmente, das edificações cada vez mais altas e com mais andares construídos.

Estas mudanças no trânsito e no mercado imobiliário resultaram na busca e implantação de soluções técnicas que permitissem a execução de mais subsolos, sobretudo garagens de carros, nos novos empreendimentos que viessem a surgir. Isso culminou na adoção da cortina de contenção de concreto armado atirantada como uma das principais soluções geotécnicas para a execução destes.

O “interesse de profissionais geotécnicos pela técnica de parede diafragma atirantada justifica-se pela sua praticidade, rapidez de execução, versatilidade e, acima de tudo, segurança (mitiga deformações), se comparada a outras técnicas utilizadas para estabilização de cortes em taludes naturais.” (PORTO, 2015, p.1) De acordo com Lafraia (2006), uma pesquisa realizada ainda na década de 90 pelos professores T. D. O’Rourke (Universidade de Cornell, Estados Unidos) e C. J. F. P. Jones (Universidade de New Castle, Reino Unido) já evidenciava a predileção dos projetistas e executores pela cortina atirantada. Nos Estados Unidos a utilização de parede diafragma corresponde a cerca de 85% das soluções de contenção empregadas nos grandes centros urbanos.

Da mesma forma e em sintonia com os projetistas geotécnicos, os executores de contenções e fundações vêm buscando o aperfeiçoamento e obtenção de melhores performances e produtos nos serviços prestados de construção para atendimentos destas novas demandas, buscando soluções de caráter operacional e geotécnico para, como no caso específico deste artigo, permitir a execução de contenções mais profundas e em terrenos de alta resistência, possibilitando assim a construção mais subsolos para estas novas edificações.

2 OBJETIVO

O presente artigo tem como objetivo apresentar a execução de pré-furo para a construção de parede diafragma mais profunda e em solos de alta resistência. Para isto foi realizado um estudo de caso de obra de um projeto realizado no município de Fortaleza/CE em 2015, onde foram construídos 5 subsolos em escavação com presença de arenito.

A execução do pré-furo foi parte integral do processo construtivo da contenção em parede diafragma.

3 ESTUDO DE CASO: EMPREENDIMENTO EM FORTALEZA - CE

O projeto a ser estudado em questão é um empreendimento localizado no município de Fortaleza – CE, o projeto destaca-se por ser o primeiro empreendimento com certificação LEED Gold (Core & Shell) do Ceará, com um valor geral de venda de R\$ 440.000.000,00.

3.1 Características do Empreendimento

Localizado em um terreno de 10.000 m², o empreendimento consiste em 2 torres comerciais com 24 andares cada, e interligadas por pórtico. O projeto possui unidades imobiliárias variáveis, de pequenas salas comerciais a lajes corporativas e Mall com 4200 m² de área bruta locável. A área total construída é de 72.469,61 m².

A garagem consiste em 5 andares enterrados com um total de 1527 vagas de estacionamento.

3.2 Sondagem para Caracterização do Terreno

Ao todo foram realizadas vinte e seis sondagens na região do terreno. Destas, quatorze foram realizadas com sondagem a percussão pelo método SPT com cravação de amostrador tipo Terzaghi. As demais foram sondagens mistas que fizeram uso de sonda rotativa após o atingimento de trecho impenetrável ao método SPT. Para a sondagem rotativa foi utilizado barrilete duplo giratório para maior preservação das amostras.

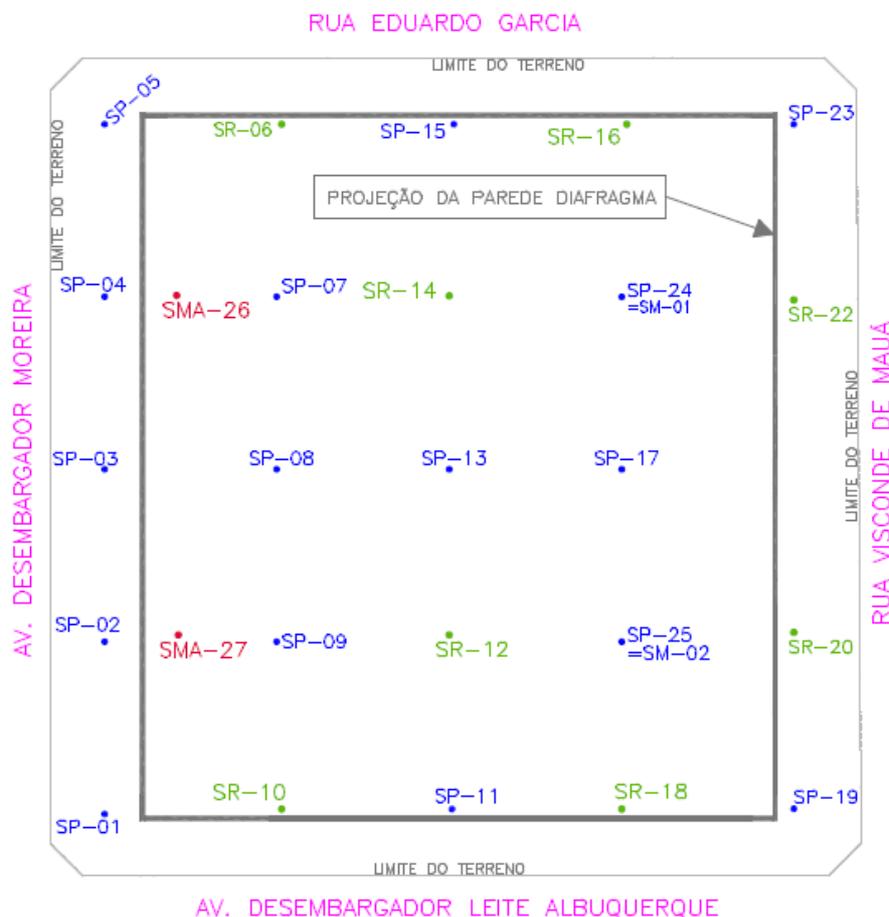


Figura 1. Localização dos pontos de sondagem do empreendimento (Autor, 2015)

3.3 Características do Terreno

As sondagens foram executadas no terreno com cotas variáveis entre 30,20 e 27,70. Com o nível da água (NA) variável entre as cotas 18,40 e 14,40, o solo é predominantemente arenoso em seus metros iniciais, constituído por um areia fina fofa a pouco compacta, atingindo um grau de compactação médio já nas camadas profundas, com cota variável entre 19,90 e 9,50 e NSPT baixo, raramente acima de 15 golpes.

A partir deste ponto o solo passa por uma camada de argila arenosa, rija a dura com concreções de óxido de ferro (laterita), variando entre as cotas 15,60 e 4,50 metros e NSPT acima de 50 golpes nas camadas finais de interface com o trecho impenetrável ao método SPT.

Sequente ao trecho de argila arenosa, onde já foi necessário o uso de sonda rotativa, o material investigado é composto primeiramente por um arenito médio a grosso com matriz ferruginosa, posteriormente por um arenito médio, muito compacto e de matriz argilosa. As camadas finais obtidas pela sondagem rotativa apresentaram um arenito médio a grosso de matriz ferruginosa com concreções de laterita. A profundidade final das sondagens variou entre as cotas 10,40 e 0,50 metros. A Designação de Qualidade da Rocha (RQD) obtida neste arenito foi variável, indo de muito fraca ($13\% < 25\%$) a excelente (100%).

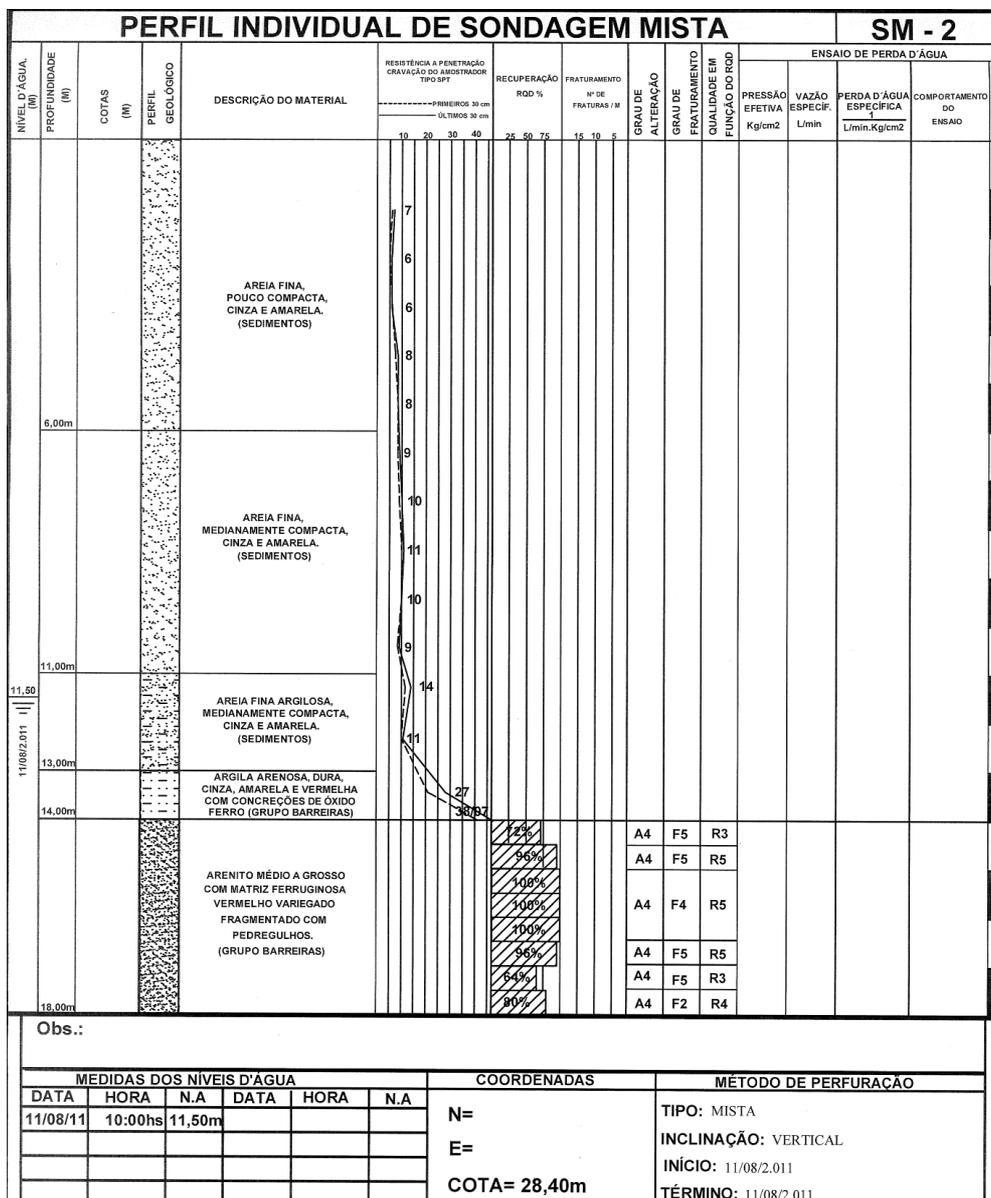


Figura 2. Relatório de sondagem mista, ponto SM -2 (Autor, 2015)

3.4 Arenito

O arenito é uma rocha sedimentar clástica, formada essencialmente pela consolidação de grãos de areia através de processos de compactação e cimentação. Segundo Frascá (2011) a compactação é provocada pela compressão dos sedimentos sob o peso daqueles sobrepostos, fenômeno este conhecido como diagênese. Já a cimentação é um processo de precipitação de material mineral, especialmente óxidos de ferro, sílica e carbonatos, carregado pela água que percola entre os vazios dentre os grãos (poros).

Felix (2020) afirma que as rochas sedimentares no geral são mais frágeis se comparadas com as rochas ígneas e metamórficas, e compõe 75% da crosta terrestre, podendo ser oriundas destas últimas desde que tenham sofrido os efeitos geológicos do subciclo exógeno. Frascá (2011) afirma que as rochas sedimentares são conhecidas como rochas brandas, dado que apresentam baixas resistências mecânicas e possuem menor coesão dos minerais que a compõe.

As rochas sedimentares são normalmente definidas pela sua origem, sendo as rochas sedimentares clásticas aquelas que passaram por todos os processos do subciclo exógeno do ciclo petrogenético (intemperismo, erosão, transporte, deposição e diagênese). Dentro desta definição de rochas clásticas é ainda possível classificá-las pelo tamanho granulométrico do diâmetro médio do grão predominante na composição da rocha.

Bertolino (2009) define os arenitos como as formações rochosas sedimentares e clásticas que possuem mais de 50% dos grãos com tamanho entre 2 e 0,06 mm.

Segundo a definição de Felix (2020), os arenitos podem ser classificados como rochas clásticas psamíticas, que são formadas por sedimentos mesoclásticos ou arenosos. De acordo com Frascá (2011), um arenito possui o quartzo como seu mineral mais abundante, com cerca de 95% dos clastos formados por este. A cor costuma ser branca ou avermelhada, quando há a presença de óxidos/hidróxidos de ferro que recobrem os grãos.

As propriedades geomecânicas do arenito são definidas pelo tipo de mineral que compõe os clastos (grãos), pelo precipitado químico da cimentação e pela relação entre estes dois componentes.

3.5 Contenção em Parede Diafragma

Para a construção dos 5 subsolos de garagem do empreendimento, a solução geotécnica adotada foi a execução de parede diafragma convencional, moldada in loco, e atirantada, de maneira a: garantir aproveitamento máximo da área enterrada; superar o lençol freático; garantir a estabilidade estrutural (mitigação de deformações) e realizar o embutimento da contenção no trecho rochoso (arenito).

Segundo Ranzini e Negro Jr. (1998), a parede diafragma pode ser definida como uma estrutura de concreto armado, cuja função é contrapor-se aos empuxos gerados por um maciço que teve seu equilíbrio alterado devido a algum tipo de escavação. Para a execução da parede diafragma convencional utiliza-se o Clam-Shell, uma ferramenta içada verticalmente por um guindaste, que realiza a remoção de solo através de seu peso próprio e abertura e fechamento de suas palas. A escavação é realizada com o lançamento de fluido estabilizante sobre o trecho escavado para evitar o desbarracamento do mesmo. O fluido estabilizante mais comumente utilizado é a lama bentonítica.

Freitas (2018) afirma que a principal característica da lama bentonita é a propriedade da tixotropia, e as principais funções da lama durante a escavação são: suportar as faces laterais da escavação na interface com o solo; formar uma camada impermeabilizante (cake) nesta interface, evitando a infiltração de lama; evitar a deposição de partículas sólidas no fundo da escavação.

A espessura da parede diafragma projetada foi de 50 centímetros, contornando todo o perímetro do projeto, com um comprimento total de 333,40 metros. O nível de execução das lamelas variou entre as cotas 28,00 e 26,00. A cota de ponta das lamelas que compõe a parede foi a cota 8,00. A ficha mínima foi de 4,00 metros para a maioria dos painéis, exceto alguns específicos que variavam entre 6,00 e 7,00 metros.

Para o atirantamento foram executados 418 unidades de tirantes provisórios, de cordoalhas, com carga de trabalho até 150 toneladas-força.



Figura 3. Execução da contenção de parede diafragma com utilização do Clam-Shell no empreendimento (Autor, 2015)

4 EXECUÇÃO DO PRÉ-FURO

O pré-furo, no contexto da parede diafragma, é uma técnica realizada de maneira a permitir o processo de escavação com a utilização da ferramenta Clam-Shell. Ele consiste na execução de furos de alívio com equipamentos perfuratrizes de grande porte na projeção das lamelas a serem posteriormente escavadas para a execução da parede diafragma.

4.1 Justificativa Técnica

Para a execução de parede diafragma o pré-furo é utilizado de modo a cisalhar os trechos onde há a presença de alterações e rochas brandas.

O pré-furo também auxilia na verticalidade da parede diafragma, dado que a própria verticalização do furo realizado serve de caminhamento para o avanço da escavação com o Clam-Shell.

No caso do empreendimento estudado, dada a presença de arenito nas camadas superiores à cota de ponta prevista em projeto para a parede diafragma e a necessidade de embutimento da mesma para realização da escavação, a utilização do pré-furo mostrou-se necessária para a quebra da matriz ferruginosa da rocha e permitir a atividade.

4.2 Equipamento e Método Utilizado

O equipamento utilizado para o pré-furo foi uma perfuratriz com torque de 30 tf.m, montada com trado helicoidal contínuo. O trado possuía diâmetro de 50 centímetros (mesma espessura da parede diafragma) e altura de 25,50 metros para avançar até a cota de ponta da parede de contenção.

A ponteira escolhida foi uma ponta de trado com de bits de tungstênio, o que permitiu a fragmentação da matriz da rocha de arenito com o mínimo desgaste da ponteira e proteção da estrutura do trado. A execução do pré-furo foi realizada com 3 perfurações por lamela típica do projeto (3,20 metros).

Esta configuração para execução, desde o tipo de maquinário a ser utilizado até o tipo de ponta do trado e distribuição dos furos, foi definida pela empresa responsável pela atividade, dado o conhecimento técnico da mesma para lidar com este tipo de situação com presença de arenito. Importante salientar que este tipo de conhecimento é puramente empírico e desenvolvido a partir das experiências da empresa na execução sobre os diversos tipos de solos e rochas e nas suas relações com os projetistas geotécnicos.



Figura 4. Equipamento perfuratriz utilizado para execução de pré-furo (Autor, 2015)



Figura 5. Ponteira de trado para execução de pré-furo (Autor, 2015)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prática do pré-furo mostrou-se uma solução viável e suficiente para a execução da contenção do empreendimento em questão. Sem a aplicação desta, a realização da contenção em parede diafragma até a cota de ponta prevista no projeto não seria possível dadas as dificuldades de escavação com Clam-Shell em materiais muito resistentes e com a presença de arenito.

Neste contexto atual, onde a construção de estruturas enterradas cada vez mais profundas para adequação e supressão das necessidades dos projetos vem sendo realizada, a técnica de pré-furo tem sido uma alternativa cada vez mais optada como solução técnica para a execução de contenções e fundações, dado que, além de viabilizar o processo construtivo, não gera mudanças no projeto original e também melhora o produto final realizado.

É importante, portanto, que os profissionais responsáveis por obras de geotecnia sejam capazes de identificar e caracterizar os tipos de solos e rochas que irão encontrar no desenvolvimento e execução dos projetos, definindo as técnicas e equipamentos que serão empregados para o melhor desempenho das construções e serviços realizados. No entanto para Velloso (1998) nem sempre esta caracterização é completa, dado que ensaios específicos de laboratório como os de cisalhamento direto e compressão triaxial raramente são executados.

Considerando trabalhos futuros, o desenvolvimento de estudos capazes de relacionar os parâmetros obtidos das rochas com as sondagens rotativas e suas propriedades geomecânicas, como a resistência ao cisalhamento, seriam de grande interesse para os profissionais da área na tomada de decisões para concepção e execução de projetos onde o embutimento de contenções e fundações em rochas mostrarem-se necessários. Tais estudos possibilitariam, por exemplo, a escolha do tipo de perfuratriz para pré-furo em função do torque para avanço sobre rochas brandas sem depender, exclusivamente, apenas das experiências passadas de executores e projetistas, por mais assertivos que estes sejam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOLINO, Luiz Carlos et. al. (2009). Geologia. In: ALMEIDA, Salvador et. al. (Org) *Manual de Agregados Para Construção Civil* 1. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MTC, cap. 3. p. 71-84.
- FELIX, A.; HORN FILHO, N. O. (2020). *Apostila de Sedimentologia*. Florianópolis: Edições do Bosque, 177p.
- FRASCÁ, M. H. B. O.; SARTORI, P. L. P. (1998). *Minerais e Rochas*. In: OLIVEIRA, Antonio et. Al. (Org.) *ABGE Geologia de Engenharia* 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, cap. 2, p. 15-38.
- FREITAS, M. A. (2018). *Parede Diafragma e Estacas Barrete com Utilização de Hidrofresa Para Embutimento em Rocha*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia São Paulo, São Paulo, 71p.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2022) *Frota de veículos no município de Fortaleza (CE)*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/pesquisa/22/28120>>. Acesso em: 10 mar.2024.
- LAFRAIA, Eduardo Ferreira et. al. (2006). *Parecer Técnico de Tirantes em Áreas Urbanas*. São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, 14p.
- MINARELLI, G.; MARQUES, E. (2021). *Nota Técnica 08 - Trajetória do estoque comercial formal, Município de São Paulo, 2000/2020*. São Paulo: Centro de Estudos da Metrópole, 21p.
- RODRIGUES, J. M. (2019). *Mapa de Motorização Individual no Brasil – Relatório 2019*. Rio de Janeiro: Observatório das Metrópoles, 27p.
- PORTO, T. B. (2015) *Comportamento geotécnico e metodologia via web para previsão e controle*. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 202p.

- RANZINI, S. M. T.; NEGRO Jr, A. (1998). *Obras de contenção: Tipos, métodos construtivos, dificuldades executivas*. In: HACHICH, Waldemar et al. (Org.) *Fundações: Teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: PINI, cap. 13, p. 497-516.
- VELLOSO, D. A.; ABRAHÃO, R. A. (1998). *Fundações*. In: OLIVEIRA, Antonio et. al. (Org.) *ABGE Geologia de Engenharia* 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, cap. 23, p. 381-396