

CONSTRUÇÃO DE TÚNEIS A CÉU ABERTO – MÉTODO CUT AND COVER INVERTIDO – ESTUDO DE CASO – FORTALEZA CE

Sylvia Helena Meyer Soares Leitão ¹; Raphaelle Silva de Almeida ²; Juan Veron Vieira Bonifácio ³
Felipe Albuquerque Frota Sousa ⁴ Bruna Maria Sousa dos Santos ⁵ Pedro Araújo Plutarcho ⁵

Resumo – Existem diversas metodologias de construção de túneis a depender do tipo de material atravessado, ou do tipo de uso e ocupação do solo. Neste trabalho, será discutido a metodologia construtiva conhecida como Cut and Cover Invertido, que foi utilizada na obra da Trincheira Longitudinal. A obra localiza-se na cidade de Fortaleza, estado do Ceará, possui 373,0 m de extensão, com uma cota negativa de 6,34 m em relação ao terreno natural. Como estrutura de contenção foi utilizada estaca hélice contínua, realizadas com uma solução mista entre as estacas armadas de diâmetros $\phi 60$ cm e $\phi 80$ cm, possuindo injeções de consolidação entre elas para vedação e fechamento da contenção. As sondagens realizadas mostraram um subsolo monótono, composto predominantemente por areias finas siltosas e areias fofas. Ao se comparar a metodologia escolhida com outras passíveis de serem realizadas no local, percebeu-se que de fato esta foi a mais adequada, devido à vantagem da rápida liberação do entorno da obra, além de ser um método que evita a utilização de travamentos horizontais provisórios, que causariam um aumento no custo final da obra.

Abstract – There are several tunnel construction methodologies that depend on the type of soil material or the type of land use and occupation. In this paper, it will be discussed the method known as “Cover and Cut”, which was used in the work of the Longitudinal Trench. A project located in the city of Fortaleza, state of Ceará, is 373.0 m long, with a negative quota of 6.34 m relative to the natural terrain. As the containment structure was used in the continuous propeller pile, executed in a mistaken solution between piles of diameters $\phi 60$ cm and $\phi 80$ cm, having sealing injections between them for sealing and closing the containment. The surveys taken showed monotonous subsoil, composed predominantly of fine silt and soft sands. When comparing the chosen methodology with others that could be used, it was noticed that the chosen one was more appropriate due to quickly freeing the surroundings of the worksite, as well as being a method that avoids the use of horizontal locks, which would cause the increase in the final cost of the work.

Palavras-Chave – Túneis; Cut and Cover; Sondagens; Fortaleza;

¹ Eng., Universidade de Fortaleza Tal, (85) 9944-1151, sylviameyer2@gmail.com

² Geól., MSc, Universidade de Fortaleza Tal, (85) 8871-1987, raphaelle@unifor.br

³ Graduando Eng Civil, Universidade de Fortaleza Tal, (85) 9980-1880, juanveronvb@gmail.com

⁴ Graduando Eng Civil, Universidade de Fortaleza Tal, (85) 8881-7477, frotafelipe@gmail.com ⁵

Graduanda Eng Civil, Universidade de Fortaleza Tal, (85) 9224-9591, brplua1009@gmail.com

⁵ Graduando Eng Civil, Universidade de Fortaleza Tal, (85) 8707-4444, pedroplutarcho@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O método Cut and Cover Invertido para a construção de túneis oferece vantagens como baixa interferência na superfície, sendo mais adequado para áreas urbanas do que a vala a céu aberto, pois exige apenas desvios pontuais. Em Fortaleza, os túneis são curtos, em torno de 500 metros, e estão concentrados na região urbana.

A expansão do METROFOR teve início em 1999 com a Linha Sul, concluída em 2012. Atualmente, o sistema inclui também a Linha Oeste, operada por um Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), e a Linha Leste, ainda em construção, que será totalmente subterrânea. O VLT conecta os bairros Parangaba e Mucuripe, integrando-se ao Terminal do Papicu.

Esse projeto faz parte do plano de mobilidade urbana da Prefeitura de Fortaleza, buscando atender ao crescimento da cidade e ao aumento da densidade populacional.

2. ESTUDO DE CASO – TRINCHEIRA LONGITUDINAL (VIA EXPRESSA)

O presente trabalho tem como objeto de estudo a obra da Trincheira Longitudinal (Figura 1), localizada na cidade de Fortaleza, estado do Ceará. Tal obra se refere à construção da Passagem Inferior (Túnel) na Av. Almirante Henrique Sabóia, popularmente conhecida como Via Expressa, no trecho compreendido entre as Avenidas Padre Antônio Tomás e Santos Dumont, sob a Via Férrea da TLSA/VLT – (Transnordestina Logística S.A. / Veículo Leve Sobre Trilhos).



Figura 1 – Localização da Trincheira Longitudinal em Fortaleza/CE.

2.2. Aspectos Geológicos e Geotécnicos

Foram realizadas 4 sondagens ao longo do eixo longitudinal do túnel (figura 2) com as quais foi possível identificar que o solo na área do túnel é homogêneo, composto principalmente por areias finas siltosas. As camadas superficiais (até 5-7 m) apresentam areia fofa a medianamente compacta, tornando-se muito compacta abaixo dessa profundidade. Em algumas sondagens, foi encontrada uma camada de silte arenoso-argiloso mais profundo. O nível d'água varia entre 12 e 15 metros da superfície, sempre abaixo da escavação e das cotas das estacas de contenção. Para maior segurança, o projeto adotou um nível de referência de 11,5 metros.

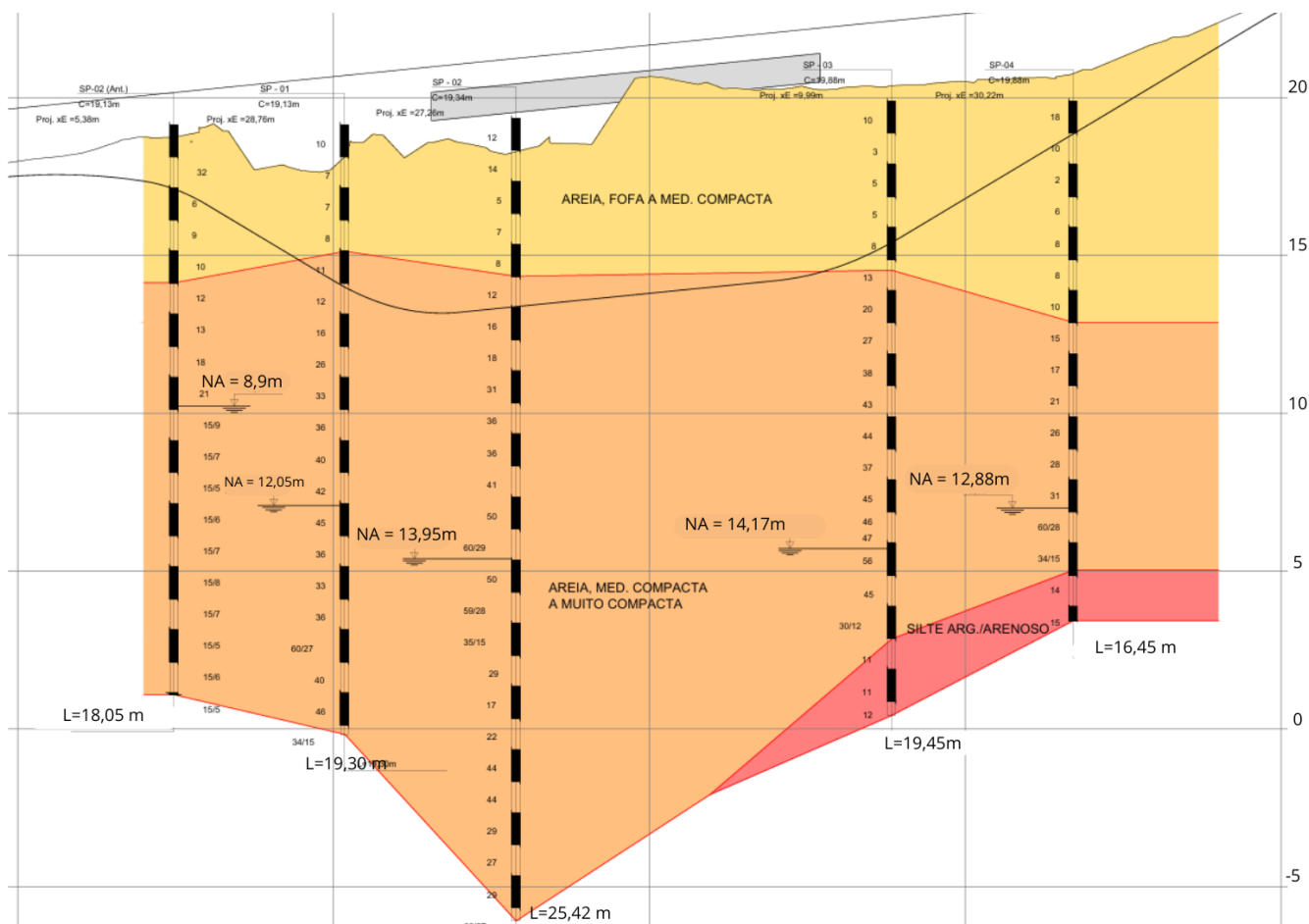


Figura 2 – Perfil geológico-geotécnico da Trincheira Longitudinal.

2.3. Características gerais da obra

O projeto básico da obra passou por adaptações e algumas das medidas foram modificadas. O comprimento total deste túnel é de 373,0 m destes, 123 m corresponde à laje de cobertura. Nesses trechos foram implantadas as paredes de flexão (trechos em “U”), as quais apresentaram grande importância na consolidação estrutural da trincheira (figura 3). A largura útil projetada para o túnel é de 24,0 m dividida em 02 (duas) pistas de rolamento com 8,0 m cada, 02 (dois) passeios para pedestres com 1,5 m cada e 01 (um) canteiro central de 5,0 m. Neste canteiro central, foi construída uma ciclovia com 3,0 m de largura ao longo de toda a trincheira.



Figura 3: Perfil Longitudinal da Trincheira.

2.4. Aspectos Estruturais

A obra da Trincheira Longitudinal foi construída em um solo arenoso, sem necessidade de estruturas para conter esforços hidrostáticos, pois o nível freático está abaixo da escavação. A laje

de fundo serviu apenas para travamento da estrutura e apoio do pavimento. A contenção utilizou estacas hélice contínua, escolhidas por sua rapidez, limpeza e menor custo em comparação com outras técnicas. Foi adotada uma solução mista com estacas de Ø60 cm e Ø80 cm, combinadas com injeções de consolidação para vedação e suporte ao solo (figura 4).

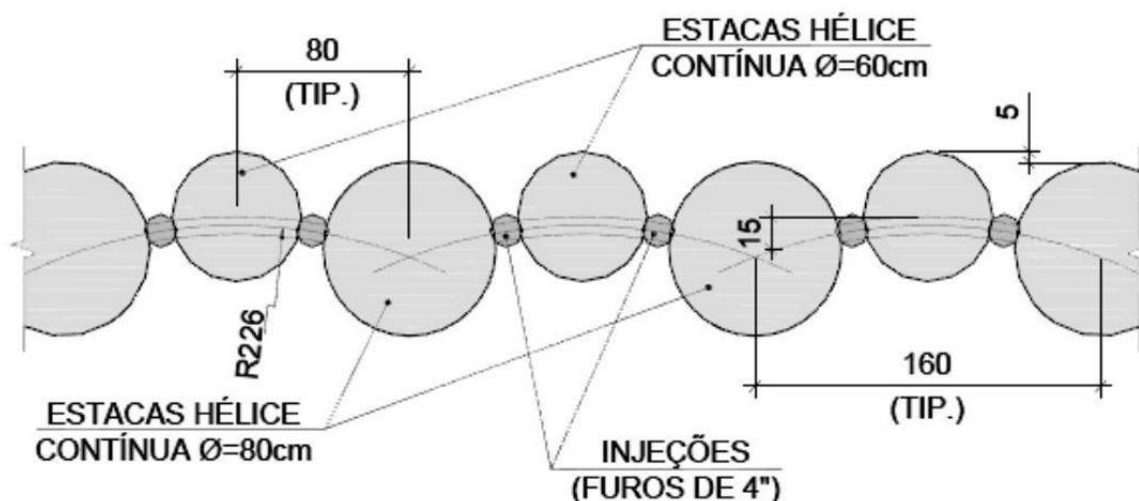


Figura 4: Desenho esquemático da execução das estacas hélice contínua das paredes laterais.

Nos emboques e desemboques, quando a escavação atingiu uma altura máxima $h = 1,5$ m de desnível com o terreno adjacente, foram executados muros de flexão em concreto armado moldados *in loco*. Nas regiões com desníveis superiores a 5,0 m entre o terreno adjacente e as escavações, foram adotados travamentos com estroncas/pergolados (Figura 5). Estes elementos estruturais foram executados de forma pré-moldados, com seção transversal de 50 cm x 45 cm e espaçados a cada 3,0 m. Possuem dois tamanhos diferentes, a maior apresentando 9,93 m, que foi locada nos vãos maiores da trincheira e a menor 2,94 m, locada na seção do canteiro central. A fixação desses elementos nas vigas de coroamento foi realizada por meio de encaixe em um nicho deixado nas estruturas de apoio e posteriormente foram travadas com uso de graute.

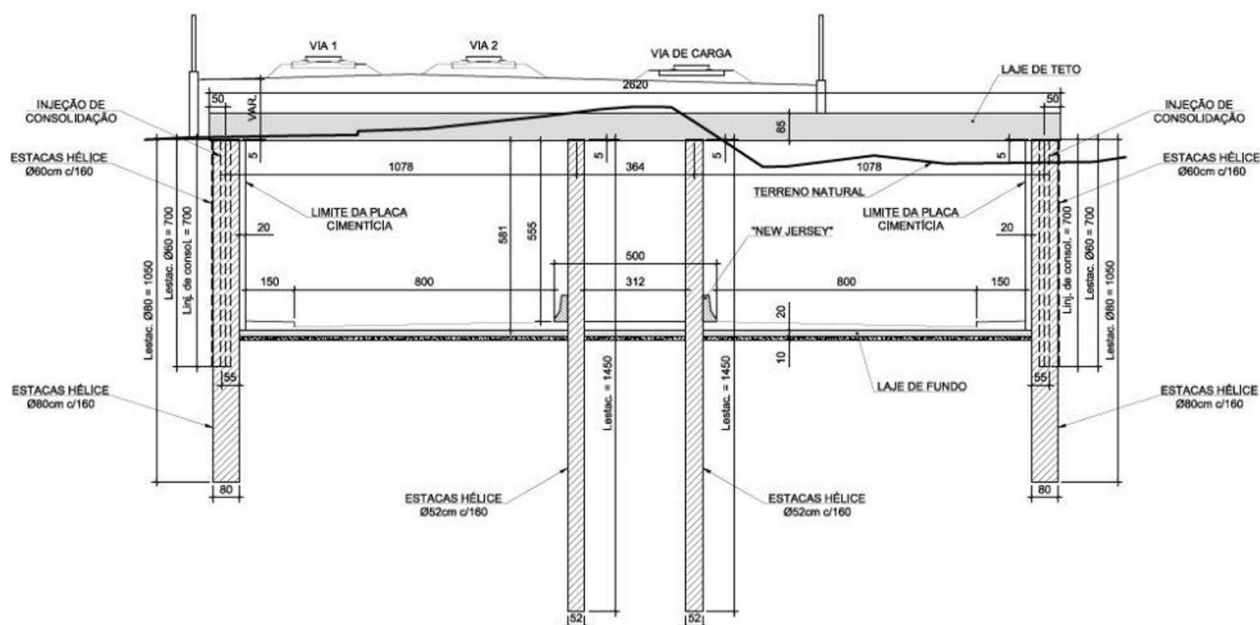


Figura 5 – Corte esquemático da trincheira longitudinal.

2.5. Sequência Executiva

A execução da Trincheira Longitudinal começou com a limpeza superficial e a regularização do terreno, seguida do nivelamento das áreas onde seriam construídas as estacas e a laje de cobertura do túnel. As estacas de diferentes diâmetros (ϕ 80 cm, ϕ 52 cm e posteriormente ϕ 60 cm) foram executadas de forma alternada para minimizar os impactos no solo. Após essa etapa, construíram-se as vigas de coroamento, a laje de cobertura e os muros de flexão localizados nas extremidades do túnel.

Com essas estruturas prontas, iniciou-se a escavação até a profundidade de 1,5 m para instalação dos tirantes provisórios e permanentes nas vigas de coroamento (Figura 6). Somente após o período de cura e ganho de resistência do concreto foi possível dar início à escavação do túnel propriamente dita, conforme planejado. A laje de fundo da trincheira possui 20 cm de espessura e foi executada após a escavação atingir a cota de projeto (Figura 7), que foi de 6,34 m no ponto mais baixo e teve função de travamento da estrutura, 40 tornando possível o desligamento dos tirantes provisórios.



Figura 6: Estrutura do túnel executada e serviços de escavação iniciados.



Figura 7: Cota de Projeto atingida na seção Sul da trincheira.

2.6. A escolha do método Cut and Cover Invertido na execução do Túnel

O método de escavação da trincheira foi escolhido por apresentar vantagens significativas em relação a outros métodos analisados. Um dos principais fatores foi a necessidade de preservar o perímetro da obra, já que a presença da linha férrea do VLT sobre a laje de cobertura inviabilizava o uso do método de Vala a Céu Aberto. Além disso, a própria estrutura da obra, com a laje de cobertura atuando no travamento junto às paredes de contenção, permitiu que a escavação fosse realizada sem a necessidade de travamentos horizontais provisórios, como tirantes ou estroncas.

Outro ponto relevante foi a economia gerada pela execução da laje de cobertura diretamente sobre o terreno natural. Essa técnica eliminou a necessidade de grandes quantidades de formas e escoramentos, o que reduziu os custos e simplificou o processo construtivo. Esses fatores tornaram o método adotado mais eficiente e adequado às condições específicas da obra.

3. CONCLUSÕES

O subsolo da área onde foi construída a Trincheira Longitudinal, em Fortaleza/CE, é predominantemente composto por areias finas siltosas a pouco siltosas, com variações de compactidade entre fofa e medianamente compacta, indicando uma composição relativamente homogênea do solo.

Embora o nível d'água natural esteja entre 12 e 15 metros de profundidade, por critério de segurança adotou-se o valor de 11,5 metros.

Para a contenção do túnel, optou-se pela estaca hélice contínua, considerada mais vantajosa por oferecer rapidez, limpeza na execução e menor custo em comparação a outras técnicas como paredes diafragma, estacas prancha metálicas e cortinas atirantadas.

O método construtivo Cut and Cover Invertido foi considerado o mais adequado para a Trincheira Longitudinal, levando em conta a natureza do solo, o formato e a extensão do túnel. Essa técnica também permitiu a liberação mais rápida do entorno da obra, fator crucial devido à linha férrea do VLT, que passa sobre a laje de cobertura da trincheira. Caso fosse utilizado o método Cut and Cover Direto, o tempo para liberação da laje de cobertura seria maior, impactando negativamente no cronograma e nos custos da obra, tornando a escolha pelo método invertido ainda mais justificável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Fortaleza pelo apoio e à empresa que cedeu os dados da obra para realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGJV. Inside the TBM. Espanha: AGJV, 2016. Disponível em: <https://agjv.no/news/30> inside-thetbm. Acesso em: 22 de nov. de 2019.

ANDANTE. Dordogne: Cave Art.Salisbury: ANDANTE, 2019. Disponível em: <https://www.andantetravels.co.uk/tour/646/France/Dordogne--Cave-Art.html#>. Acesso em: 22 de nov. de 2019.

ARSHAD and R. A. ABDULLAH: "A Review on Selection of Tunneling Method and Parameters Effecting Ground Settlements" Eletronic Journal of Geotechnical Engineering, 2016 (21.14), pp 445 9-4475. Disponível em: <http://www.ejge.com/2016/Ppr2016.0433mc.pdf>. Acesso em: 15 de out. de 2019.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento SPT – Método de Ensaio. Rio de Janeiro. 2001.
- _____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro. 2014.
- _____. NBR 9603: Sondagem a Trado - Procedimento. Rio de Janeiro. 2015
- _____. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro. 2019.
- ATOUT FRANCE. Rendez-vous at Lascaux, in Montignac: ATOUT FRANCE, 2019. Disponível em: <http://ee.france.fr/en/discover/lascaux-montignac-dordogne>. Acesso em 22 de nov. de 2019.
- BASTOS, Mário José N. A Geotecnia na concepção, projecto e execução de túneis em maciços rochosos. 1998. 166 f. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 1998.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Mobilidade Urbana é desenvolvimento urbano. Brasília, 2005. 36 p.
- CHIOSSI, Nivaldo José. Geologia de Engenharia. 3. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- DA SILVA, Carlos Antônio R. Perfil geológico-geotécnico do subsolo ao longo do traçado do Metrô de Goiânia. 2007, 227 f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, UnB, Brasília, DF, 2007.
- DEZOTTI, Mateus Caetano. Análise da utilização de métodos não-destrutivos como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalação, manutenção e distribuição de infraestruturas urbanas subterrâneas. 2008. 231 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- DINGLI. Ways to reinforce the ends of concrete jacking pipes. Gaotang Shandong Province: DINGLI, 2018. Disponível em: <https://www.concretetepipemachines.com/ways-to-reinforce-the-ends-of-a-concrete-jacking-pipe/>. Acesso em: 22 de nov. de 2019.
- DROSEMEYER, Aloésio. Contribuição ao Estudo de Túneis em "Pipe Jacking". 2004. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004
- FERNANDES, Gilmar Soares. Impactos da Mobilidade Urbana na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. 2015. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração Pública, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2015.
- FRANÇA, Pedro Teodoro. Estudo do comportamento de túneis: análise numérica tridimensional com modelos elasto-plásticos. 2006. 206 f, Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- LIMA, Victor Barreto de Oliveira. Aplicação do método NATM na execução de túnel em rocha. 2016. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- MOREIRA, Carlos Manuel da Cruz. Túneis: uma herança ancestral rumo ao futuro. A obra nasce: revista de Arquitectura da Universidade Fernando Pessoa. Porto, Portugal, n. 3, p.92-115, jan. 2006.
- NORD, Gunnar. TBM versus Drill and Blast: the choice of tunneling method. In: International Conference an Exhibition on Tunneling and Trenchless Technology, 2006, Subang, Selangor, Malásia, 2006, p. 205-218.
- OLIVEIRA, Pedro Gustavo da Costa de. Execução de Túneis com recurso ao método Cut and Cover. 2012. 135 f. Dissertação (Mestrado), Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2012.
- PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- RIOS, Laura. É preciso garantir a mobilidade urbana, 13 de abr. de 2018. Disponível em: <https://especiais.opovo.com.br/fortaleza292/mobilidade/>. Acesso em: 10 de nov. de 2019.

ROCHA, H. C. Panorama do Mercado Brasileiro de Túneis: Passado, Presente e Futuro. In: ANAIS DO 54º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, CBC 2012, Maceió. AL.

SANTOS, Felipe et al. Mecânica dos Solos Aplicada à Construção Civil – Sondagens. 2015. 61 f, ATPS – ATIVIDADES PRÁTICAS SUPERVISIONADAS. Faculdade Anhanguera de São Caetano, FASC, São Caetano do Sul, 2015.

STRUCTURAE. Excavation in accordance with the New Austrian Tunnelling Method (NATM). Berlim: STRUCTURAE, 2017. Disponível em: <https://structurae.net/en/photos/255015-excavationin-accordance-with-the-new-austriantunnelling-method-natm>. Acesso em: 22 de nov. de 2019.

TÓTH, Dr. Ákos. Tunneling and Underground Construction Technology. 2015. 63 slides. Disponível em: <https://docplayer.net/44949280-Tunnelling-and-undergroundconstructiontechnology.html>. Acesso em: 22 de nov. de 2019.

TRAVAGIN, Vinícius Bernardino. Subsídios para escolha do método construtivo de túneis. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

VASCONCELLOS, E. A. Mobilidade Urbana e Cidadania. Rio de Janeiro: SENAC NACIONAL, 2012.