

MURILO SCHMIDT OLIVEIRA SOTO

ASPECTOS DA NR 18 – CONDIÇÕES E MEIO AMBIENTE DE
TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL APLICADOS À OBRA DE
ESCAVAÇÃO DE TÚNEL METROVIÁRIO PELO MÉTODO NATM

São Paulo

2019

MURILO SCHMIDT OLIVEIRA SOTO

**ASPECTOS DA NR 18 – CONDIÇÕES E MEIO AMBIENTE DE
TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL APLICADOS À OBRA DE
ESCAVAÇÃO DE TÚNEL METROVIÁRIO PELO MÉTODO NATM**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Especialista em
Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, José Luiz e Elisabete, pelo esforço e dedicação em proporcionar o melhor para os seus filhos, principalmente os ensinamentos morais da ética e conduta ilibada.

Aos meus irmãos, Rafael e Julia, que estão sempre ao meu lado, sendo meus exemplos e conselheiros em muitas decisões.

À minha companheira Beatriz, pelo apoio e carinho.

RESUMO

A concorrência pelo uso do espaço viário entre transportes individuais e coletivos tem levado à formação de congestionamentos e aumento de tempo e custo das viagens nos grandes centros urbanos. Nestes locais, onde a densidade populacional e a ocupação superficial são intensas, a utilização do espaço subterrâneo têm se apresentado como alternativa viável para a ampliação dos sistemas de transportes existentes, com a implantação de vias metroviárias, liberando a superfície para fins mais nobres como a moradia, trabalho, lazer e entretenimento. Dentre os métodos disponíveis para a execução de túneis para esse modal está o *New Austrian Tunnelling Method* (NATM), que envolve diversas atividades numa sequência construtiva definida, inclusive com o uso de explosivos para desmonte de rochas, exigindo um rigoroso controle e monitoramento antes e durante a execução das obras. Devido a essas exigências, pretendeu-se a análise da adequação de uma obra de escavação de túnel metroviário pelo método NATM à NR-18, abordando os itens da norma mais relevantes para o estudo de caso apresentado. Após discussão comparativa entre as medidas constatas na obra visitada e as exigências legais, atingiu-se o objetivo proposto ao presente trabalho, sugerindo-se a adoção de algumas medidas de segurança complementares em função de circunstâncias inadequadas na obra, e concluindo-se que a atividade de aplicação de concreto projetado, muito empregada na execução de túneis pelo método NATM, carece de melhor regulamentação normativa.

Palavras-chave: NR-18. Segurança de escavações. Método NATM.

ABSTRACT

Competition for the use of road space between individual and collective transport has led to the formation of congestion and increased travel time and costs in large urban centers. In these places, where the population density and the surface occupation are intense, the use of underground space has been presented as a viable alternative for the expansion of the existing transport systems, with the implantation of subway lines, releasing the surface for more noble purposes such as housing, work, leisure and entertainment. Among the construction techniques available for the execution of tunnels for subways systems is the New Austrian Tunneling Method (NATM), which involves several activities in a defined constructive sequence, including the use of explosives for rock removal, requiring strict control and monitoring before and during the execution of the works. Due to these requirements, it was intended the analysis of the adequacy of a subway tunnel excavation work using the NATM method to the NR-18, addressing the most relevant items of the norm for the presented case study. After a comparative discussion between the measures found at the visited workplace and legal requirements, the objective proposed was reached and it was suggested the adoption of some additional safety measures due to inadequate circumstances in the construction site and it was concluded that the activity of applying shotcrete, much used in the execution of tunnels by the method NATM, needs better regulation.

Keywords: NR-18. Tunnelling safety. NATM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sequência construtiva do método NATM.....	15
Figura 2 - Detalhe típico de incorporação de cambotas com concreto projetado.....	15
Figura 3 - Transição entre túneis de via singela e túnel de via dupla	16
Figura 4 - Localização da obra e indicação dos canteiros visitados	30
Figura 5 - Acesso ao túnel de escavação	31
Figura 6 - Elementos do sistema de drenagem do lençol freático	32
Figura 7 - Gaiola de resgate em caso de emergência.....	32
Figura 8 - Alarme sonoro acionado durante a detonação de explosivos	33
Figura 9 - Controle de acesso ao túnel	33
Figura 10 - Abertura de acesso ao túnel (futuramente VSE).....	34
Figura 11 - Plataformas metálicas de acesso ao túnel.....	34
Figura 12 - Duto de transporte de concreto e plataformas de manutenção	35
Figura 13 - Entrada do túnel (caminho segregado para os trabalhadores à direita)..	35
Figura 14 - Alarme sonoro de movimentação de cargas	36
Figura 15 - Maca envelope de resgate do tipo <i>sked</i>	36
Figura 16 - Ducha oftálmica	37
Figura 17 - Recipiente da ducha oftálmica	37
Figura 18 - Banheiro químico	38
Figura 19 - Sinalização de alerta.....	38
Figura 20 - Trecho do túnel em fase de acabamento.....	39
Figura 21 - Detalhe do revestimento de acabamento do túnel.....	39
Figura 22 - Instalação das camadas de impermeabilização.....	40
Figura 23 - Andaimes metálicos para execução do acabamento	40
Figura 24 - Execução de enfilagens na frente de escavação	41
Figura 25 - Execução de enfilagens na frente de escavação	41
Figura 26 - Trecho do túnel em execução de enfilagens.....	42
Figura 27 - Caminho seguro ao longo da extensão do túnel	42
Figura 28 - Caminho seguro segregado da via de circulação das máquinas	43
Figura 29 - Pá carregadeira para remoção de solo na entrada do túnel	43
Figura 30 - Martelete manual	44
Figura 31 - Manipulador telescópico	44

Figura 32 - Plataforma articulada	45
Figura 33 - Acesso às vias próximas à detonação bloqueado	46
Figura 34 - Bloqueio do aceso às vias próximas à detonação	46
Figura 35 - Desmonte de rochas da frente de escavação	47
Figura 36 - Sismógrafo utilizado durante as detonações	48
Figura 37 - Detector de gases	48
Figura 38 - Máscara semifacial filtrante	49
Figura 39 - Rampa de acesso ao túnel	50
Figura 40 - Rampa de acesso ao túnel	50
Figura 41 - Abertura de entrada do túnel	51
Figura 42 - Caminhão na entrada do túnel	51
Figura 43 - Controle de acesso ao túnel	52
Figura 44 - Maca para emergências	52
Figura 45 - Caminho seguro (à esquerda)	53
Figura 46 - Indicação do trabalhador aplicando o concreto projetado	53
Figura 47 - Aplicação do concreto projetado	54
Figura 48 - Aplicação do concreto projetado	54
Figura 49 - Poço de acesso aos túneis do canteiro 03	56
Figura 50 - Placas de advertência	56
Figura 51 - Gaiola de resgate	57
Figura 52 - Controle de acesso aos túneis do canteiro 03	57
Figura 53 - Aberturas dos túneis do canteiro 03	58
Figura 54 - Escada de acesso aos túneis	58
Figura 55 - Maca de resgate	59
Figura 56 - Armação do arco invertido do túnel singelo	59
Figura 57 - Extintor de incêndio no túnel singelo	60
Figura 58 - Equipamentos e instalações auxiliares elevados	60
Figura 59 - Bomba de sucção elevada (escada de acesso ao chão)	61
Figura 60 - Trecho do túnel singelo próximo à frente	61
Figura 61 - Frente de escavação paralisada do túnel singelo	62
Figura 62 - Vista da frente de escavação do túnel singelo	62
Figura 63 - Abertura de acesso ao túnel de via dupla do canteiro 03	63
Figura 64 - Rasgo no duto de ventilação do túnel de via dupla	63
Figura 65 - Botoeira do alarme sonoro	64

Figura 66 - Identificação das tubulações	64
Figura 67 - Frente de escavação em dois túneis parciais	65
Figura 68 - Execução de enfilagens	65
Figura 69 - Concretagem da cambota inferior	66
Figura 70 - Frente de escavação do túnel de via dupla.....	66
Figura 71 - Frente de escavação após concretagem do arco invertido	67
Figura 72 - Manipulador telescópico	67
Figura 73 - Escavadeiras	68
Figura 74 - Pá carregadeira.....	68
Figura 75 - Escavadeira hidráulica	69
Figura 76 - Marcas de impacto da escavadeira no teto do túnel	69
Figura 77 - Caminho seguro ao longo do túnel	70
Figura 78 - Caminho seguro.....	70
Figura 79 - Rasgo no duto de ventilação.....	71
Figura 80 - Comparativo da vazão de ar exigida pela NR-22 e a utilizada pela organização após as detonações.....	74
Figura 81 - Medidas de segurança sugeridas	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
AMV	Aparelho de Mudança de Via
CBT	Comitê Brasileiro de Túneis
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
CNT	Confederação Nacional do Transporte
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
HSE	<i>Health and Safety Executive</i>
NATM	<i>New Austrian Tunnelling Method</i>
NR	Norma Regulamentadora
NRM	Normas Reguladoras da Mineração
OIT	Organização Internacional do Trabalho
PAE	Plano de Atendimento a Emergências
PCMAT	Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção
RTP	Recomendação Técnica de Procedimentos
VCA	Vala à Céu Aberto
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos
VSE	Ventilação e Saída de Emergência

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVO	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 O MÉTODO NATM PARA CONSTRUÇÃO DE TÚNEIS.....	14
2.2 A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	18
2.2.1 A NR-18.....	19
2.2.2 Normas Complementares	22
2.2.3 A Convenção Nº 167 e a Recomendação Nº 175 da OIT.....	27
3 MATERIAIS E MÉTODO	29
4 RESULTADOS	31
4.1 CANTEIRO 01.....	31
4.2 CANTEIRO 02.....	49
4.3 CANTEIRO 03.....	55
5 DISCUSSÃO.....	72
6 CONCLUSÕES.....	80
REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a questão da mobilidade urbana tem ganhado crescente destaque no debate público. A concorrência pelo uso do espaço viário entre transportes individuais e coletivos tem levado à formação de congestionamentos e aumento de tempo e custo das viagens. De acordo com pesquisa elaborada pela Confederação Nacional do Transporte – CNT (2016), a contribuição advinda da confiabilidade e grande capacidade de transporte dos modais sobre trilhos, como o trem, o metrô, o monotrilho e o Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), se apresentam como opção viável para melhoria da acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida das populações dos aglomerados urbanos.

Ainda com base na pesquisa da CNT (2016), entre os anos de 2011 e 2015 o número de entrada de passageiros no sistema metroferroviário brasileiro aumentou, nos dias úteis, em 37,4%, enquanto a malha cresceu apenas 8,1% (de 931 km em 2011 para 1.007 km em 2015), evidenciando a necessidade de ampliação dos sistemas existentes.

Nas grandes cidades, locais onde a densidade populacional e a ocupação superficial são intensas, a utilização do espaço subterrâneo têm se apresentado como alternativa viável para a ampliação dos sistemas de transportes existentes, com a implantação de vias metroviárias, liberando a superfície para fins mais nobres como a moradia, trabalho, lazer e entretenimento (ASSIS, 2006).

Segundo Murakami (2012), a construção de túneis no meio urbano se justifica pela intensa ocupação superficial, pelos altos valores imobiliários de desapropriação, pelas interferências com obstruções superficiais e aéreas, pelos conflitos das obras executadas a céu aberto com o tráfego e com a comunidade, dentre outros motivos.

Em decorrência destes fatores, Assis (2006) destaca a competitividade técnica, ambiental e financeira do uso do espaço subterrâneo para construção de túneis, e com isso a crescente preocupação com a segurança deste tipo de obra.

No Brasil, o transporte metroviário têm se desenvolvido desde a década de 60, com a criação da Companhia do Metropolitano de São Paulo. Desde então, foram criados sistemas metroviários nas principais capitais do país, dentre os mais recentes o metrô de Brasília (2001), atualmente com 42,38 km de extensão, o metrô de Fortaleza (2012), com 48,6 km de extensão, e o metrô de Salvador (2014), com 33 km de extensão.

Em relação ao processo de execução de túneis, um dos métodos mais utilizados é o *New Austrian Tunnelling Method* (NATM), em função de sua versatilidade, isto é, adaptabilidade aos diferentes tipos de solo e a diferentes geometrias (FRANCIS; ROCHA, 1998).

Conforme o Comitê Brasileiro de Túneis – CBT (2006), a primeira aplicação do método NATM no Brasil ocorreu na construção da pista ascendente da Rodovia Imigrantes, no final da década de 1960 e início da seguinte, mas só passou a ser utilizado com maior intensidade a partir dos anos de 1990.

Quanto à segurança deste método, a HSE (1996) aponta a existência de algum grau de incerteza no projeto e execução de túneis, mas que podem ser significantes no método NATM, indicando uma forte dependência do método NATM em se evitarem falhas humanas durante seu processo de execução. A HSE (1996) traz ainda uma listagem de 39 incidentes significantes ocorridos durante a execução de túneis pelo método NATM entre os anos de 1978 e 1994 em diversos países.

Já no Brasil, mais recentemente em 2007, houve um grave acidente na Estação Pinheiros da Linha 4-Amarela do metrô de São Paulo, onde houve o colapso de uma porção de solo do poço de acesso aos túneis de escavação, executados pelo método NATM (MAFFEI, 2008).

Ribeiro Neto (1999) aponta ainda outros acidentes ocorridos em túneis em São Paulo, dentre eles a ruptura do túnel singelo oeste do Prolongamento Norte do metrô de São Paulo, o colapso do túnel Tribunal de Justiça em 1993, colapso do túnel da Carvalho Pinto em 1997, dentre outros, também executados pelo método NATM.

Ainda conforme HSE (1996), um túnel metroviário em NATM, depois de finalizado e comissionado, possui os mesmos níveis de segurança dos demais métodos de escavação, concluindo que o método requer técnica e cuidados na investigação, planejamento, projeto, construção e monitoramento antes e durante a construção.

Isso evidencia que o grande problema do NATM é sua execução, onde são exigidos níveis rigorosos de instrumentação, controle, treinamento, sinalização, e demais medidas preventivas de segurança coletiva e individual.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho objetiva a análise da adequação de uma obra de escavação de túnel metroviário pelo método NATM aos itens 18.6, 18.9, 18.14, 18.20, 18.22 e 18.36 da NR-18, abordando aspectos particulares ou de grande importância para este tipo de obra, tendo por base um estudo de caso real.

Tratando-se ainda de uma obra complexa, serão consultadas recomendações e normas complementares, dentre elas NR 22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração, a Recomendação Técnica de Procedimentos 03 (RTP 03), a Norma Técnica ABNT NBR 7678:1983: Segurança na execução de obras e serviços de construção e as Normas Reguladoras da Mineração (NRM).

1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o grande potencial de dano de acidentes em escavações de túneis metroviários e a crescente demanda deste tipo de obra, a segurança na execução de túneis se apresenta como aspecto fundamental para viabilidade do processo, principalmente quando utilizado o método NATM, que exige maior controle e monitoramento das atividades.

Nesse contexto, a discussão e a revisão de alguns aspectos legais se apresentam de grande relevância para o assunto, conforme proposta do presente estudo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O MÉTODO NATM PARA CONSTRUÇÃO DE TÚNEIS

De acordo com Ribeiro Neto (1999), o *New Austrian Tunnelling Method* (NATM) se trata de um processo construtivo de túneis desenvolvido na década de 60 que consiste na estabilização de túneis escavados com o uso de revestimento de concreto projetado. O primeiro uso do termo NATM surgiu numa série de três artigos escritos pelo professor Rabcewicz, em novembro e dezembro de 1964 e janeiro de 1965, sendo conhecido também como túnel mineiro por ser originário na exploração de minas.

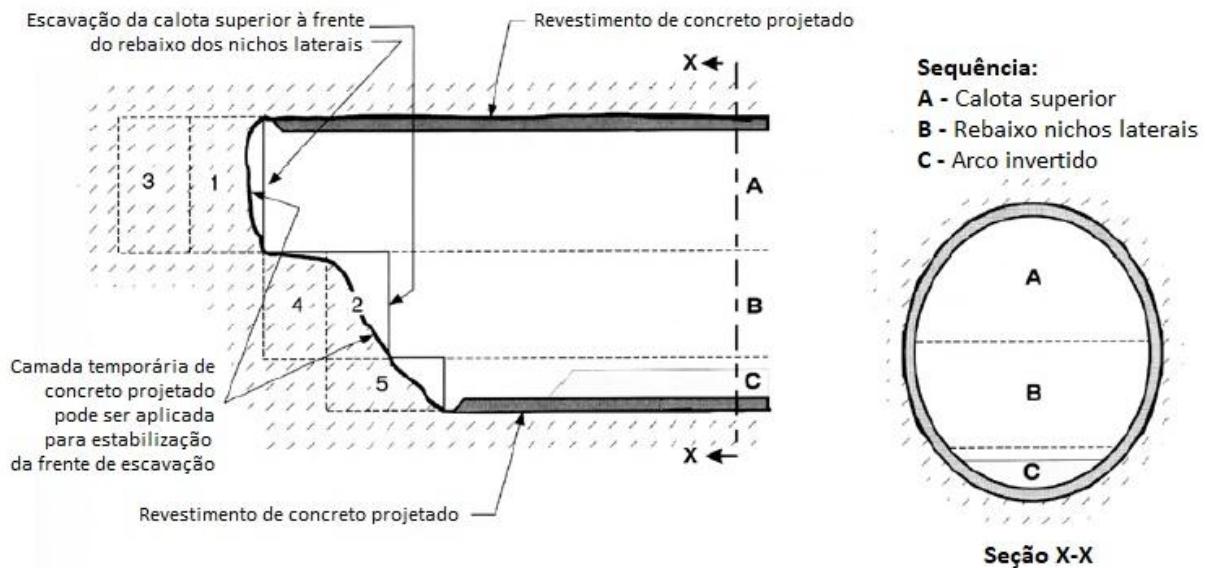
O método se baseia numa sequência construtiva de escavação, remoção e revestimento, por meio da qual se permite um alívio parcial das tensões iniciais do maciço antes da aplicação do suporte e do concreto projetado. A escavação pode ser feita com escavadeiras convencionais, escavadeiras com martelo hidráulico acoplado ou ainda desgaste por fresas ou roçadeiras (TRAVAGIN, 2012).

A escavação também pode ser feita parcializada, com alargamentos contínuos da seção transversal do túnel (MASOSONORE; DJEMAI, 2018).

Antes da etapa de escavação, geralmente são feitas enfilagens no solo para melhoria das propriedades mecânicas do maciço, e na etapa de revestimento, são utilizadas cambotas metálicas como suporte, com tirantes e chumbadores conforme necessário (CARREIRA, 2014), sendo aplicado o concreto projetado na sequencia, e podendo ser utilizadas também telas metálicas para reforço.

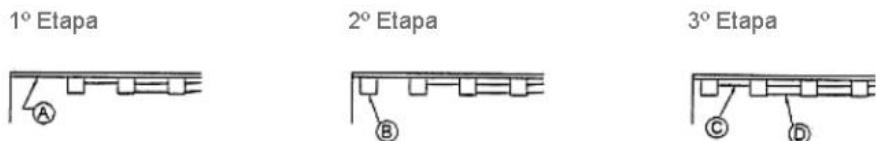
Conforme indicado por Ribeiro Neto (1999), os túneis escavados pelo método NATM são executados em avanços progressivos, onde é feita primeiramente a escavação, remoção e revestimento do arco superior (calota), em seguida dos rebaixos laterais, e posteriormente a escavação, remoção e revestimento do arco invertido, sequência esta ilustrada na Figura 1 e na Figura 2.

Figura 1 - Sequência construtiva do método NATM



Fonte: Adaptado de HSE (1996)

Figura 2 - Detalhe típico de incorporação de cambotas com concreto projetado



Fonte: Adaptado de Palermo apud Ribeiro Neto (1999)

Santana (2011) apresenta uma lista das principais atividades de construção de um túnel no método NATM, mencionando as seguintes: movimentação de máquinas e equipamentos; movimentação, transporte e manuseio de explosivos; carregamento e detonação; escavação manual; perfuração de rocha; operação de jumbo/perfuratriz; trabalho em altura; bate choco (mapeamento e remoção de blocos instáveis); instalação de cambotas; aplicação de concreto projetado; injeção de enfilagens; concretagem do arco invertido; abertura de valas e instalação de tubos de drenagem; e acabamento do túnel.

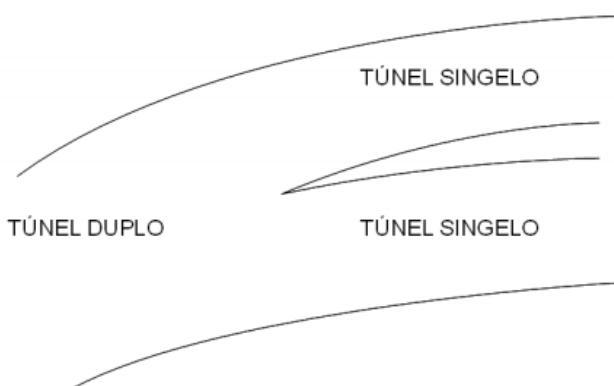
Para o acesso ao túnel e remoção do material escavado, Masosonore e Djemai (2018) afirmam que, em áreas urbanas, são usualmente utilizados poços verticais desde o início da construção.

Ainda de acordo com Ribeiro Neto (1999), o surgimento do concreto projetado viabilizou o método NATM pela sua rapidez e facilidade de aplicação de camadas adicionais de reforço, pela facilidade de emendas, e pelo baixo módulo de deformação nas primeiras idades, permitindo a deformação do maciço e mobilização de sua resistência, resultando num revestimento de menor robustez.

O fenômeno pelo qual as tensões do maciço são redistribuídas é chamado arqueamento, onde ocorre a mobilização da resistência ao cisalhamento das regiões vizinhas à escavação. O arqueamento ocorre em função das deformações do maciço antes e após a execução do revestimento e depende das propriedades do solo circundante e do processo construtivo adotado (CARREIRA, 2014).

Quanto à geometria dos túneis, Moreira apud Travagin (2012) afirma que este é um fator condicionante para a definição do método construtivo, indicando o uso de técnicas não mecanizadas, como o NATM, para execução de geometrias complexas, como é o caso de estações metroviárias, regiões de operação de Aparelhos de Mudança de Via – AMV ou transições entre seções de túneis. Um exemplo de mudança de seção do túnel está na transição entre via singela e via dupla, conforme ilustrado por Travagin (2012).

Figura 3 - Transição entre túneis de via singela e túnel de via dupla



Fonte: Travagin (2012)

Carreira (2014) afirma ainda que o método NATM se caracteriza como um método de escavação que busca o equilíbrio do solo por meio da instalação progressiva de suportes, com o acompanhamento e controle da evolução das deformações até que estejam estabilizadas. Nesse contexto, o autor menciona que uma das hipóteses adotadas no método é a de que o maciço não se instabilizaria sem aviso prévio.

Por essa razão, o monitoramento das deformações torna-se fundamental para o controle e acompanhamento do processo construtivo do método NATM, possibilitando a avaliação do desempenho da estrutura e da segurança da obra, conforme indicado por Ribeiro Neto (1999).

Nota-se que o NATM é um processo construtivo composto por um grande número de etapas sequenciais, realizadas de forma nem sempre padronizada por uma equipe de construção, o que explicaria a grande vulnerabilidade do método a falhas humanas (RIBEIRO NETO, 1999).

De acordo com o HSE (1996), além da vulnerabilidade ao erro humano, a competência da equipe envolvida no processo NATM é outro fator crucial que deve ser avaliado.

Ribeiro Neto (1999) conclui ainda que uma postura ativa frente à “Detecção do Risco” e “Ação Corretiva” e a intervenção eficaz em tempo hábil são fundamentais para assegurar o sucesso da escavação pelo método NATM.

Quanto aos acidentes ocorridos em túneis executados pelo método NATM, Ribeiro Neto (1999) apresenta uma relação de 14 casos históricos de deslocamentos excessivos, ruptura ou colapso de túneis em São Paulo entre os anos de 1981 e 1998.

Já HSE (1996), apresenta um levantamento de 39 incidentes ocorridos entre 1973 e 1994 em diversos países, dentre eles França, Alemanha, Áustria, Japão e Brasil, deduzindo que houve 19 tipos de falhas no atual mecanismo de construção de túneis pelo método NATM.

2.2 A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

A Engenharia de Segurança do Trabalho, dentro do ordenamento jurídico brasileiro, é amplamente impactada pelo Direito Trabalhista e Previdenciário, embora os demais ramos também incidam sobre a matéria.

Os primeiros dispositivos legais associados ao tema no Brasil surgiram no final do século XIX e início do século XX, com a publicação do Decreto nº 1.313, de 17 de janeiro de 1891, do Decreto nº 3.724, de 15 de janeiro de 1919, dentre outros.

Já nas décadas de 30 e 40, grandes avanços foram obtidos com a criação do então Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio, recentemente extinto em 1º de janeiro de 2019, e com a aprovação da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT).

A CLT, marco importante na legislação brasileira, foi aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, versando em seu Capítulo V, Título II, sobre a segurança do trabalho. Posteriormente, reformulada pela Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977, foram incluídas diversas disposições legais com o propósito de aprofundar as medidas preventivas, e dentre estas, a alteração do Artigo 200, delegando competência normativa ao Ministério do Trabalho não só para regulamentar, mas também para complementar as normas do Capítulo V – Da Segurança e da Medicina do Trabalho (CAMISASSA, 2015).

Assim, regulamentando a Lei nº 6.514/1977, o Ministério do Trabalho aprovou por meio da Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978, as Normas Regulamentadoras (NR) do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho.

Atualmente estão em vigor 37 NRs, abrangendo diversas atividades econômicas. Algumas normas têm por finalidade a regulamentação de atividades setoriais específicas, enquanto que outras têm caráter mais genérico.

No presente trabalho, tratando-se da análise de atividade de escavação de túneis metroviários pelo método NATM, é dado destaque às normas NR 18 – Condições e

Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, para qual será dado maior enfoque, e a NR 22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração, como norma adicional para casos omissos da NR-18.

2.2.1 A NR-18

A NR-18 estabelece diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de organização, que objetivam a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção (BRASIL, 2018).

É aplicável às atividades da construção, dentre as quais a construção de edifícios, obras de infraestrutura e serviços especializados para construção, como demolição, instalações prediais, obras de terraplanagem, etc., inclusive manutenção de edifícios em geral, reparo, pintura, limpeza e manutenção de obras de urbanização e paisagismo.

Tratando-se o presente trabalho da análise de uma obra de escavação de túnel metroviário pelo método NATM, serão abordados os itens da NR-18 particulares ou de grande relevância para esta atividade, como os itens 18.6, 18.09, 18.14, 18.20, 18.22 e 18.36.

A NR-18, em seu item 18.6, estabelece medidas de segurança para serviços de escavação, fundação e desmonte de rochas, dentre as quais se destacam aqui os subitens 18.6.1, 18.6.2, 18.6.3, 18.6.7, 18.6.10, 18.6.11, 18.6.12, 18.6.17 e 18.6.19.

Estes subitens tratam de serviços relacionados ao preparo da área de trabalho para início das atividades, com escoramento de muros, edificações vizinhas e estruturas que possam ser afetadas pela escavação, seus acessos (escadas, rampas, saídas de emergência), monitoramento e ventilação no caso de infiltração ou vazamento de gases e da sinalização do canteiro e da área de escavação. Em específico, são tratadas as atividades de escavação à céu aberto, cravação de estacas, escavações e fundações sob ar comprimido e execução de tubulões à céu aberto.

Pode-se mencionar como medidas preliminares os procedimentos de limpeza da área e escoramento de muros, edificações vizinhas e demais estruturas afetáveis pela escavação (item 18.6.1 e 18.6.2). Na existência de cabos subterrâneos de energia elétrica, estes devem ser desligados para início das atividades. No caso de escavações em via pública ou canteiros, deve haver sinalização de advertência, inclusive noturna, e barreira de isolamento em todo o perímetro. A sinalização de advertência deve ser prevista também nos acessos de trabalhadores, veículos e equipamentos às áreas de escavação.

Quanto às medidas relacionadas à execução das atividades, a NR-18 estabelece que os acessos à escavação devem ser feitos por escadas ou rampas, próximas aos postos de trabalho, a fim de permitir a saída rápida dos trabalhadores em caso de emergência (item 18.6.7). Estabelece também que o local deve ser devidamente ventilado e monitorado quando houver a possibilidade de infiltração ou vazamento de gás, sendo acionado o sistema de alarme sonoro e visual em caso de vazamento (item 18.6.10).

Tratam também da exigência de responsável técnico legalmente habilitado para execução dos serviços (item 18.6.3) e dos cuidados quando da operação de desmonte de rocha a fogo, exigindo alarme sonoro (item 18.6.19) nas detonações e a presença de um *blaster*, responsável pelo armazenamento, preparação das cargas, carregamento das minas, ordem de fogo, detonação e retirada das que não explodiram, destinando-as adequadamente (item 18.6.17).

Tratando-se ainda de local confinado, que conforme a NR-18 é qualquer espaço com a abertura limitada de entrada e saída da ventilação natural, recorre-se também ao item 18.20 da NR-18, que traz medidas de segurança complementares para a execução das atividades, estabelecendo medidas de segurança para os serviços em locais confinados que exponham os trabalhadores a riscos de asfixia, explosão, intoxicação e doenças do trabalho.

Antes do início dos trabalhos, a NR-18 exige que seja feita inspeção prévia no recinto (18.20.1.c) e que haja monitoramento permanente de substância que cause asfixia, explosão e intoxicação no interior do local confinado (18.20.1.d). Além disso,

a NR-18 proíbe o uso de oxigênio para ventilação do ambiente (18.20.1.e) e exige ventilação local exaustora eficaz que faça extração dos contaminantes e ventilação geral para insuflação de ar no recinto, garantindo a renovação contínua do ar de forma permanente (18.20.1.f). A NR-18 exige ainda que haja ao alcance dos trabalhadores ar mandado e/ou equipamento autônomo para resgate (18.20.1.k).

Em relação às máquinas, equipamentos e ferramentas diversas, a NR-18 estabelece que deve existir dispositivo de acionamento e parada localizado de modo que seja acionado ou desligado pelo operador na sua posição de trabalho (item 18.22.7.a) e que os equipamentos que operem em marcha à ré possuam alarme sonoro acoplado ao sistema de câmbio e retrovisores em bom estado (item 18.22.12.d). Estabelece também que os equipamentos e máquinas estejam localizados em ambiente com iluminação artificial e/ou natural adequada à atividade, conforme a NBR 5.413/1991 – Níveis de iluminância de interiores (18.22.10).

A NR-18 é sucinta no que diz respeito às estruturas de concreto (item 18.9) e não aborda em específico a execução de concreto projetado, que se trata de uma concretagem que não utiliza fôrma, cimbramentos ou cabos de protensão. Assim, as exigências cabíveis ao caso em estudo se relacionam aos equipamentos e dispositivos utilizados, estabelecendo a existência de dispositivos de segurança nas conexões dos dutos transportadores de concreto para impedir a separação das partes (item 18.9.8) e a inspeção das peças e máquinas do transportador de concreto antes da execução dos trabalhos (item 18.9.9). Além disso, a NR-18 estabelece que no local onde se executa a concretagem deve permanecer somente a equipe indispensável para execução da tarefa (item 18.9.10).

No subitem 18.36.3, do item “Disposições Gerais”, a NR-18 estabelece medidas complementares para execução dos serviços de escavação, fundação e desmonte de rochas. Dentre elas, destacam-se a preocupação a respeito da existência de galerias, canalizações e cabos na área onde serão realizados os trabalhos e a inspeção diária dos escoramentos.

Embora não seja o foco do presente trabalho, cabe mencionar demais itens da NR-18 de grande relevância para a atividade de escavação de túneis metroviários pelo

método NATM, exigidos também para as demais atividades de construção: 18.3 (Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção – PCMAT); 18.4 (áreas de vivência); 18.7 (carpintaria); 18.8 (armações de aço); 18.9 (estruturas de concreto); 18.10 (estruturas metálicas); 18.13 (medidas de proteção contra quedas de altura); 18.21 (instalações elétricas); 18.23 (equipamentos de proteção individual); 18.26 (proteção contra incêndio); e 18.27 (sinalização de segurança).

2.2.2 Normas Complementares

Além da NR-18, cabe mencionar outras normas/recomendações aplicáveis à atividade de escavação em estudo, entre elas a NR-22: Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração, a Recomendação Técnica de Procedimentos 03 (RTP 03), a Norma Técnica ABNT NBR 7678:1983: Segurança na execução de obras e serviços de construção e as Normas Reguladoras da Mineração (NRM).

A Recomendação Técnica de Procedimentos 03 (RTP 03), elaborada pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO), em atendimento ao item 18.6 da NR-18, traz recomendações complementares relacionadas às atividades que envolvem escavações, fundações e desmonte de rochas.

De acordo com a RTP 03, é necessária a adoção de medidas visando a segurança e a saúde dos trabalhadores sempre que houver riscos de desmoronamento, deslizamento, acidentes com explosivos e projeção de materiais, tendo por prioridade as medidas de proteção coletiva sobre aquelas de proteção individual.

Em relação às medidas preliminares, a RTP 03 complementa a NR-18 no que diz respeito à presença de instalações na região de escavação, orientando a proteção, desvio ou interrupção quando constatada a existência de redes de água, esgoto, tubulação de gás, cabos elétricos ou cabos de telefone. Quanto à sinalização de advertência, a RTP – 03 menciona a possibilidade de utilização de cones, fitas, cavalete, placas de advertência, pedestal de iluminação, bandeirolas, grades de proteção, tapumes e sinalizadores luminosos.

Quanto ao acesso às escavações, a RTP – 03 menciona o uso de escadas de com mais de 1,25 m em locais estratégicos que permitam a saída rápida dos trabalhadores em caso de emergência. Recomenda também que todos os locais de trabalho sejam mantidos adequadamente iluminados e ventilados, natural ou artificialmente (item 4.2.4). Para as escavações subterrâneas, a RTP 03 orienta a observação das disposições do item 18.20 da NR-18 – Locais confinados, e as disposições da NR-22.

Cabe destacar ainda que a RTP – 03 recomenda também o monitoramento de todo o processo de escavação, de modo a observar zonas de instabilidade global ou localizada, a formação de trincas e o surgimento de deformações em edificações e instalações vizinhas e em vias públicas.

Já a NR-22 traz com maior nível de detalhamento uma série de medidas de segurança para o trabalho de mineração subterrânea, mas aplicáveis também ao caso em estudo de escavação subterrânea, conforme indicado na RTP – 03.

Dentre os aspectos trazidos pela NR-22, destacam-se aqueles que estabelecem medidas adicionais de segurança na atividade de escavação túneis, mencionando-se aqui os itens 22.11 (máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações), 22.14 (estabilidade dos maciços), 22.18 (sistemas de comunicação), 22.21 (operações com explosivos e acessórios), 22.24 (ventilação em atividades de subsolo), 22.27 (iluminação) e 22.32 (Plano de Atendimento a Emergências – PAE).

Dentre as disposições da NR-22, pode-se mencionar a exigência de sinalização, desimpedimento e proteção contra queda de material nas vias de circulação de pessoas, mantidas em boas condições de segurança e trânsito (item 22.7.18), a adoção de cores para identificação de tubulações conforme a NBR 6.493 – Emprego de Cores para Identificação de Tubulações Industriais, ou alternativamente, identificação a cada 100 metros informando natureza do conteúdo, direção do fluxo e pressão de trabalho (item 22.19.10) e a exigência de iluminação adequada às atividades desenvolvidas, sendo obrigatório o nível mínimo de 20 lux nos caminhos

principais e nos pontos de carregamento, descarregamento e trânsito sobre transportadores contínuos (item 22.27.1).

Quanto à segurança do maciço, a NR-22 estabelece que ao se verificarem situações potenciais de instabilidade no maciço, as atividades deverão ser imediatamente paralisadas, com afastamento dos trabalhadores da área de risco e adotadas as medidas corretivas necessárias.

Em relação à ventilação das atividades de subsolo, a NR-22 estabelece a exigência de um sistema de ventilação mecânica que atenda aos requisitos de suprimento de oxigênio, renovação contínua do ar, diluição eficaz dos gases nocivos ou inflamáveis e de poeiras no ambiente, temperatura e umidade adequadas ao trabalho humano e que seja mantido e operado de forma regular e contínua (item 22.24.1), exigindo a concentração mínima de oxigênio no ar de 19% em volume (item 22.24.6) e a vazão mínima de ar necessária de 2,0 m³/min por trabalhador mais 3,5 m³/min/cv de motores a óleo diesel, conforme quadro II da NR-22 (itens 22.24.7 e 22.24.8).

A NR-22 estabelece também que o sistema de ventilação deve possuir um ventilador de emergência, com capacidade que mantenha a direção do fluxo de ar prevista, proteção nas entradas aspirantes e possuir sistema alternativo de alimentação de energia proveniente de fonte independente da alimentação principal (item 22.24.14), exigindo ainda medições mensais para avaliação da velocidade e vazão do ar, temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido, contemplando no mínimo pontos localizados no caminho de entrada da ventilação, nas frentes de lavra e de desenvolvimento, que no caso seria a frente de escavação e desmonte de rocha, e no ventilador principal (item 22.24.23).

Quanto à operação de desmonte de rochas, a NR-22 trata do assunto com maior profundidade, abrangendo a figura do *blaster* (encarregado do fogo), e atribuindo a este profissional as atividades de orientação e supervisão do carregamento, verificando a quantidade e sequencia de fogo, certificar que não haja mais pessoas na frente de desmonte antes de ligar o fogo e retirar-se, certificar-se do adequado funcionamento da ventilação auxiliar, comunicar o responsável pela frente de serviço o encerramento das atividades de detonação, dentre outras responsabilidades (item

22.21.4.1). Cita também a existência de um plano de fogo onde conste a disposição e profundidade dos furos, quantidade e tipo de explosivos, sequência de detonação, razão de carregamento, volume desmontado e tempo mínimo de retorno após a detonação (item 22.21.3).

A NR-22 estabelece ainda condições para o uso de explosivos, entre elas a evacuação e vigilância da área de risco, predefinição dos horários de fogo, consignados em placas visíveis na entrada de acesso às áreas de mina, e disposição de abrigo para uso eventual daqueles que acionam a detonação (item 22.21.23) e estabelece que o retorno à frente detonada só seja permitido com autorização do responsável pela área e após verificação das seguintes condições: dissipação dos gases e poeiras; confirmação das condições de estabilidade; marcação; e eliminação dos fogos falhados (item 22.21.36).

No que diz respeito às máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações, A NR-22, detalha algumas medidas adicionais, como a exigência de condições específicas para motores à combustão interna utilizadas no subsolo, permitindo que sejam movidos apenas a óleo diesel, que exista um sistema eficaz de ventilação, que haja sistema de filtragem do ar aspirado pelo motor e que seja executado programa de amostragem periódica do ar exaurido, realizados em condições de carga plena e sem carga, devendo ser amostrados pelo menos gases nitrosos, monóxido de carbono e dióxido de enxofre (item 22.11.7). Quanto ao uso de marteletes pneumáticos, estabelece o uso de dispositivo adequado para firmar a haste, vedada a utilização exclusiva das mãos (item 22.11.8).

Quanto à operação de máquinas e equipamentos pesados, a NR-22 estabelece como medidas de segurança a serem observadas o isolamento e sinalização da área de atuação, sendo permitido o acesso apenas mediante autorização do operador ou pessoa responsável, e a precaução especial quando da movimentação próxima a redes elétricas, dentre outras medidas (item 22.11.19).

Já a Norma NBR 7678:1983: Segurança na execução de obras e serviços de construção estabelece condições exigíveis de segurança e higiene em obras e

serviços de construção bem como procedimentos e medidas de caráter individual e coletivo para manutenção dessas condições na execução de tarefas específicas.

A NBR 7678 complementa a questão do escoramento das edificações e estruturas vizinhas, estabelecendo como medida necessária também o reforço de fundações, nos casos em que a escavação possa ameaçar a estabilidade de estruturas vizinhas (item 5.3.7), e prevê inspeções frequentes a esses reforços e escoramentos, especialmente após ocorrência de chuvas, ventanias ou outros fenômenos que possam aumentar os riscos (item 5.3.14).

Quando necessário o rebaixamento do lençol freático, a NBR 7678 orienta a investigação da possibilidade de ocorrerem recalques em edificações vizinhas, evitando-se esta solução se constatada esta possibilidade (item 5.3.18), e caso realizado o rebaixamento do lençol freático, devem ser tomadas precauções para que não haja interrupções súbitas no sistema (item 5.3.19).

A NBR 7678 recomenda também o uso de escadas provisórias para escavações com mais de 6 metros de profundidade (item 5.3.13)

Quanto ao desmonte de rocha, a NBR 7678 orienta que haja o menor número possível de pessoas manuseando explosivos (item 5.9.3.1), e que haja uma divisão de tarefas perfeitamente definida no carregamento, transporte, abertura de caixas, escorvamento, tamponamento, ligação de circuitos e detonação, de modo que cada trabalhador envolvido saiba exatamente quais são as suas tarefas (item 5.9.3.4). Quanto ao retorno à área de fogo no subsolo, a NBR 7678 orienta que a primeira pessoa a se aproximar do local vá munida de uma barra de madeira ou de metal para sondar paredes e tetos, desalojando pedras soltas (item 5.9.3.15.b).

Em relação aos procedimentos de concretagem, a NBR 7678 traz orientações complementares à NR-18 abordando também a necessidade de inspeção das peças e máquinas de sistemas transportadores fixos de concreto fresco (item 5.19.6), devendo existir em tais sistemas trancas de segurança, freios de emergência (item 5.19.3) e dispositivos que impeçam a separação das partes (item 5.19.5).

Além disso, a NBR 7678 orienta que quando o local de lançamento do concreto fresco não estiver à vista do operador do guindaste, da bomba de concreto ou equipamento de transporte, deve ser usado um sinaleiro que esteja à vista, e quando não for possível, deve-se utilizar comunicação radiofônica ou telefônica (item 5.19.10).

Em relação aos EPIs, a NBR 7678 orienta o uso de botas de cano longo, luvas e vestimenta apropriada para evitar lesões provocadas pelo cimento, recomendando o uso de cremes e loções para evitar dermatites (item 5.19.12). Orienta também que o trabalhador encarregado de segurar a ponta da mangueira ou duto transportador de concreto sob pressão esteja equipado com protetores faciais do tipo “escudo” (item 5.19.13).

Por fim, cabe mencionar também as Normas Reguladoras da Mineração, aprovadas pela Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001, do Departamento Nacional de Produção Mineral, estas trazem os regulamentos citados no artigo 97 do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, intitulado Código de Mineração.

Tratam-se de 22 normas que têm por objetivo disciplinar o aproveitamento racional das jazidas, considerando-se as condições técnicas e tecnológicas de operação, de segurança e de proteção ao meio ambiente, de forma a tornar o planejamento e o desenvolvimento da atividade minerária compatíveis com a busca permanente da produtividade, da preservação ambiental, da segurança e saúde dos trabalhadores.

2.2.3 A Convenção Nº 167 e a Recomendação Nº 175 da OIT

O decreto legislativo nº 61, de 2006, aprovou os textos da Convenção nº 167 e da Recomendação nº 175 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) sobre a Segurança e Saúde na Construção, promulgadas pelo Decreto nº 6.271, de 22 de novembro de 2007 pela Presidência da República.

Em seu artigo 19, a Convenção nº 167 trata dos serviços em escavações, poços, aterros, obras subterrâneas e túneis, fixando as seguintes precauções a serem tomadas:

- (a) colocando o escoramento adequado ou recorrendo a outros meios para evitar que os trabalhadores tenham risco de desabamento ou desprendimento de terra, rochas ou outros materiais;
- (b) para prevenir os perigos de quedas de pessoas, materiais ou objetos, ou irrupção de água na escavação, poço, aterro, obra subterrânea ou túnel;
- (c) para assegurar ventilação suficiente em todos os locais de trabalho a fim de se manter uma atmosfera pura, apta para a respiração, e de se manter a fumaça, gases, vapores, poeira ou outras impurezas em níveis que não sejam perigosos ou nocivos para a saúde e estejam de acordo com os limites fixados pela legislação nacional;
- (d) para que os trabalhadores possam se colocar a salvo no caso de incêndio ou de uma irrupção de água ou de materiais;
- (e) para evitar ao trabalhadores riscos derivados de eventuais perigos subterrâneos, particularmente a circulação de fluídos ou a existência de bolsões de gás, procedendo à realização de pesquisas apropriadas a fim de localizá-los (BRASIL, 2007).

Já a Recomendação nº 175 trata nos artigos 34 e 35, também em relação aos serviços de escavações, poços, aterros, obras subterrâneas e túneis, traz a seguinte redação:

- 34. Nenhum escoramento ou outro tipo de apoio para qualquer parte de escavação, poço, aterro, obra subterrânea ou túnel poderá ser feito, alterado ou desmontado, a não ser sob supervisão de pessoa especializada.
- 35. (1) Qualquer parte de uma escavação, poço, aterro, obra subterrânea ou túnel em que haja trabalhadores terá que ser inspecionada por pessoa especializada, nos períodos e nos casos determinados por legislação e normas nacionais, registradas as respectivas conclusões.
(2) Os trabalhos não poderão ser iniciados antes de tal inspeção (BRASIL, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODO

Para discussão dos aspectos da NR-18 e normas complementares particulares ou de grande importância para a execução de uma obra de escavação de túnel metroviário pelo método NATM, será feito um estudo de caso de uma obra em execução na cidade de São Paulo/SP.

A obra a ser estudada se trata do prolongamento de uma linha metroviária existente, com demanda diária estimada de 700 mil passageiros (Metrô, 2019).

A obra é dividida em diversos canteiros, com processos distintos de execução das escavações, dentre eles a escavação de Vala à Céu Aberto (VCA) e a escavação subterrânea pelo método NATM, esta última objeto do presente estudo.

Para o prolongamento do túnel existente, foram realizadas aberturas verticais em pontos estratégicos, onde futuramente serão alocadas as Estações e os pontos de Ventilação e Saída de Emergência (VSE).

O túnel principal a ser escavado é de aproximadamente 2 km de extensão, em seção de via dupla, havendo também túneis singelos (de via única) e túneis de acesso ao túnel principal nos pontos de VSE e estações. A obra, considerando todos os canteiros e turnos, conta com a participação de 1.205 trabalhadores contratados diretos da empreiteira.

Foram realizadas quatro visitas à obra de escavação em estudo, realizadas nos dias 19 e 24 de janeiro e 20 e 28 de fevereiro de 2019, sendo possível observar diferentes etapas do processo construtivo NATM em três canteiros de obra diferentes.

A localização dos canteiros na circunvizinhança é indicada na Figura 4 - Localização da obra e indicação dos canteiros visitados, obtida com o auxílio do software *Google Earth*.

Figura 4 - Localização da obra e indicação dos canteiros visitados



Fonte: Adaptado de Google Earth

Em visita aos canteiros de obra foi possível observar um trecho em fase de acabamento, outro trecho em fase de execução de enfilagens para estabilização do maciço da frente de escavação, outro trecho em fase de remoção de materiais escavados e execução do concreto projetado e outro trecho em fase de execução do arco invertido, totalizando o acompanhamento de serviços em 6 frentes de escavação diferentes.

Foram disponibilizados para consulta alguns documentos relacionados ao departamento de engenharia de segurança do trabalho da obra, dentre eles os procedimentos de execução de atividades, denominados “Instrução de Trabalho”, o plano de fogo de uma detonação e as Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ de alguns produtos, que auxiliarão a análise pretendida.

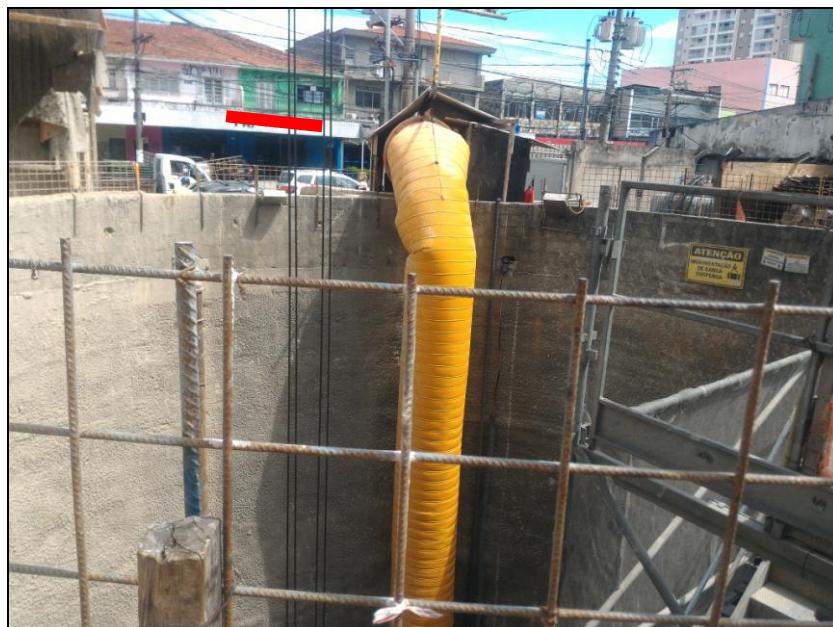
4 RESULTADOS

No presente capítulo são apresentadas as informações e o memorial fotográfico obtidos nas visitas aos três canteiros da obra em estudo.

4.1 CANTEIRO 01

No primeiro canteiro, o acesso ao túnel se deu por uma abertura circular próxima à via de grande circulação de veículos, local onde futuramente haverá uma Ventilação e Saída de Emergência (VSE) do túnel finalizado, acessos normalmente distribuídos nos trechos entre estações (Figura 5). Os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) fornecidos para a visita foram capacete, bota, óculos de proteção transparente e colete refletor na cor laranja.

Figura 5 - Acesso ao túnel de escavação



Fonte: Arquivo pessoal

No local foram identificadas as bombas do sistema de drenagem para rebaixamento do lençol freático, operação imprescindível para melhoria das condições do solo e viabilidade de acesso e permanência dos trabalhadores nas frentes de escavação. Constatou-se que a água drenada do subsolo é armazenada em duas caixas

d'água, sendo posteriormente conduzida através de membranas plásticas que atuam como filtro para remoção de impurezas (Figura 6).

Próximo ao acesso do túnel de escavação havia uma gaiola de resgate identificada por cartazes, com os ganchos de içamento soltos na plataforma da gaiola (Figura 7).

Figura 6 - Elementos do sistema de drenagem do lençol freático



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 7 - Gaiola de resgate em caso de emergência



Fonte: Arquivo pessoal

Também foi identificado um alarme sonoro para a operação de detonação de explosivos, de operação manual, sem interligação por cabeamento (Figura 8).

Figura 8 - Alarme sonoro acionado durante a detonação de explosivos



Fonte: Arquivo pessoal

Na entrada do acesso ao túnel, foram identificados avisos de alerta para a operação de detonação e uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), e constatou-se a existência de um controle de acesso, no qual todos os trabalhadores deveriam deixar seus crachás de identificação ao descer à escavação (Figura 9).

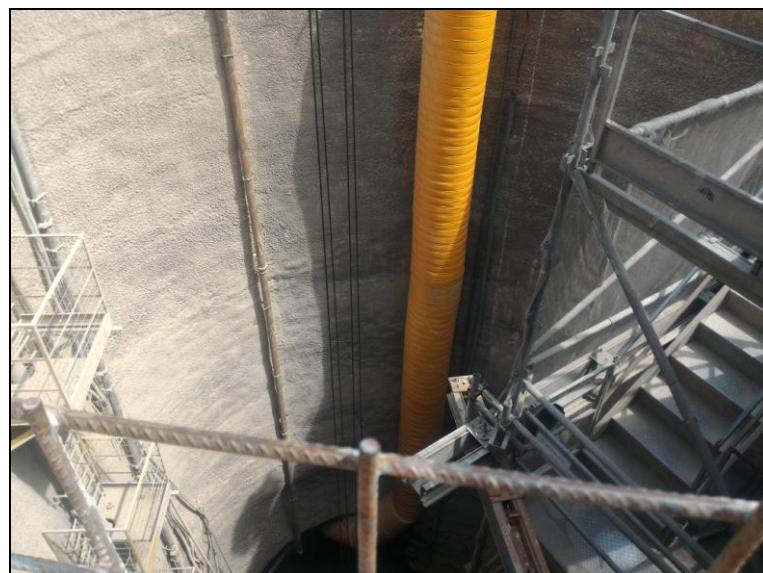
Figura 9 - Controle de acesso ao túnel



Fonte: Arquivo pessoal

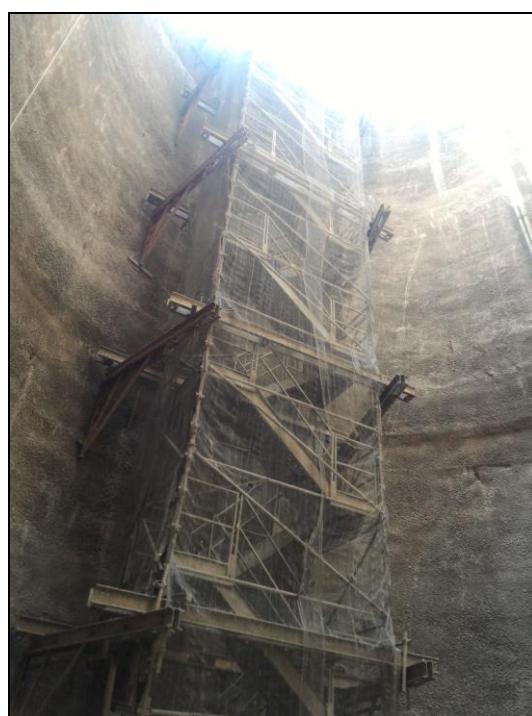
A descida ao túnel de escavação se deu por meio de plataformas metálicas, conforme indicado na Figura 10 e na Figura 11 a seguir. Na Figura 12 é possível visualizar o duto de transporte do concreto até a frente de escavação e as plataformas junto a este para limpeza e desentupimento do mesmo.

Figura 10 - Abertura de acesso ao túnel (futuramente VSE)



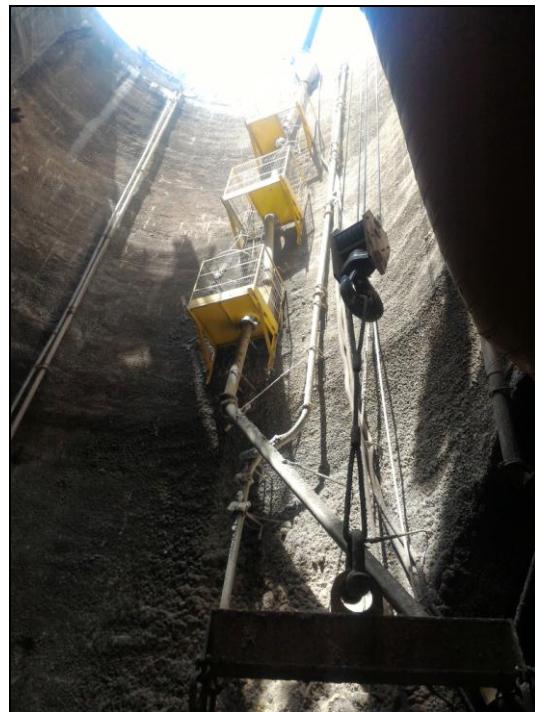
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 11 - Plataformas metálicas de acesso ao túnel



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 12 - Duto de transporte de concreto e plataformas de manutenção



Fonte: Arquivo pessoal

Na entrada do túnel, havia um caminho separado para a movimentação dos trabalhadores, segregado da área de movimentação das máquinas (Figura 13).

Figura 13 - Entrada do túnel (caminho segregado para os trabalhadores à direita)



Fonte: Arquivo pessoal

Ao lado da entrada havia uma botoeira para acionamento do alarme sonoro de movimentação de cargas e uma maca envelope do tipo *sked* para resgate em caso de emergência (Figura 14 e Figura 15).

Figura 14 - Alarme sonoro de movimentação de cargas



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 15 - Maca envelope de resgate do tipo *sked*



Fonte: Arquivo pessoal

O túnel se divide em dois trechos, um em fase de acabamento, com extensão aproximada de 60 metros, e outro em fase de escavação do arco superior, com extensão de 120 à 140 metros.

No ponto de intersecção dos trechos com o túnel de acesso, identificou-se uma caixa com ducha oftálmica, popularmente chamada de lava-olhos. O técnico que acompanhou a visita informou que quando o recipiente é esvaziado (Figura 17), este é colocado no suporte fixado na placa indicada na Figura 16 para troca.

Figura 16 - Ducha oftálmica



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 17 - Recipiente da ducha oftálmica



Fonte: Arquivo pessoal

Próximo à intersecção dos túneis havia também um banheiro químico para uso dos trabalhadores (Figura 18) e sinalizações de alerta quando da operação de detonação (Figura 19).

Figura 18 - Banheiro químico



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 19 - Sinalização de alerta



Fonte: Arquivo pessoal

No trecho do túnel em fase de acabamento, foi possível constatar trabalhadores limpando o local, mantendo a área organizada (Figura 20). As atividades em

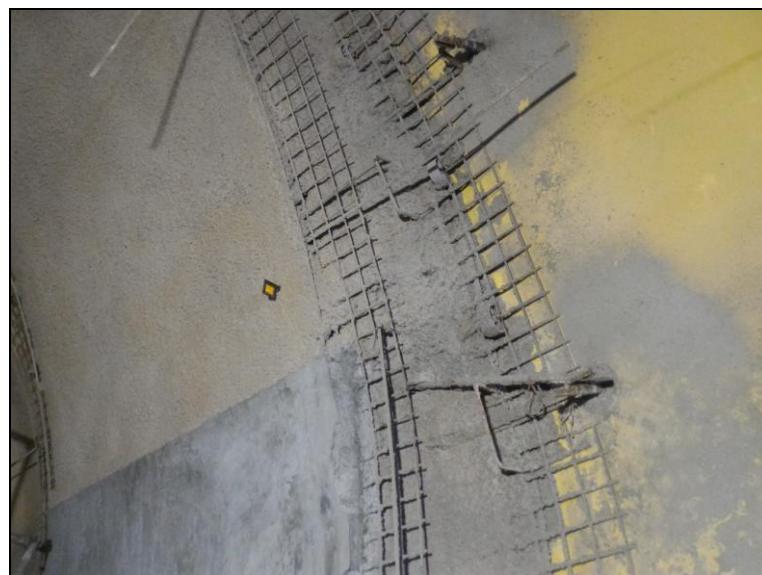
andamento eram de instalação das mantas da camada de impermeabilização, fixação das telas metálicas de armação e aplicação do concreto projetado em duas camadas (Figura 21).

Figura 20 - Trecho do túnel em fase de acabamento



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 21 - Detalhe do revestimento de acabamento do túnel

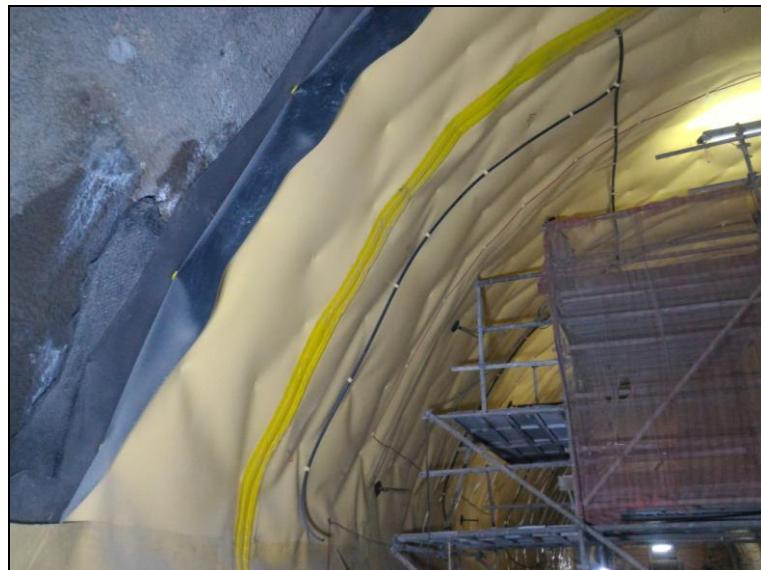


Fonte: Arquivo pessoal

Embora o duto de ventilação não se prolongasse até a frente de trabalho, foram identificados ventiladores instalados ao longo do túnel. Para execução dos trabalhos

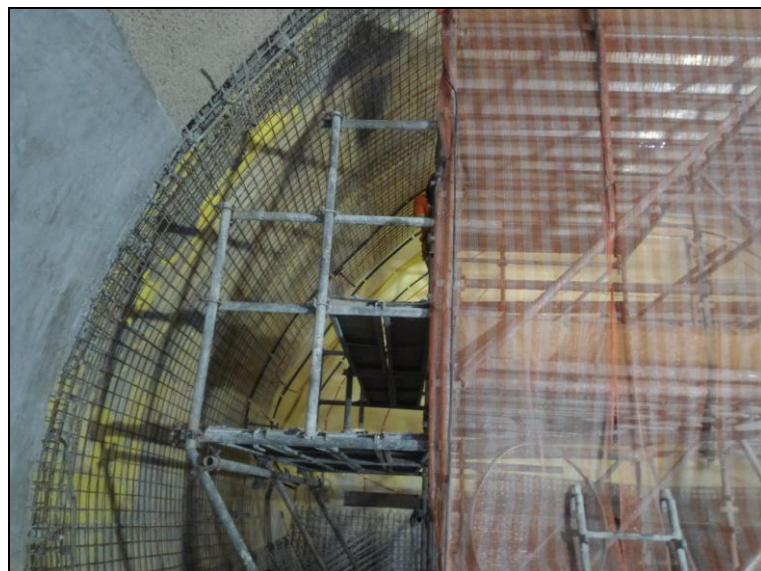
em altura, foram instalados andaimes metálicos, conforme indicado na Figura 22 e na Figura 23.

Figura 22 - Instalação das camadas de impermeabilização



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 23 - Andaimes metálicos para execução do acabamento



Fonte: Arquivo pessoal

No outro trecho do túnel, foi possível acompanhar a execução de enfilagens para estabilização do maciço da frente de escavação (Figura 24 e Figura 25).

Figura 24 - Execução de enfilagens na frente de escavação



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 25 - Execução de enfilagens na frente de escavação



Fonte: Arquivo pessoal

Observa-se na Figura 26 que o duto de ventilação não estava insuflando ar fresco na frente de escavação, onde os serviços estavam sendo executados, mas sim num ponto atrás mais afastado. É possível observar também o caminho segregado para a passagem dos trabalhadores em separado da via de movimentação das máquinas.

Figura 26 - Trecho do túnel em execução de enfilagens



Fonte: Arquivo pessoal

O caminho segregado, chamado na obra de “caminho seguro”, estava presente ao longo de todo o trecho do túnel em que o arco invertido ainda não havia sido concretado, conforme indicado na Figura 27 e na Figura 28.

Figura 27 - Caminho seguro ao longo da extensão do túnel



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 28 - Caminho seguro segregado da via de circulação das máquinas



Fonte: Arquivo pessoal

Quantos aos maquinários presentes na obra, identificou-se o uso de perfuratriz para execução das enfilagens (Figura 24 e Figura 25) e uso de escavadeiras (Figura 28 e Figura 29) para remoção de solo.

Ao longo do túnel havia também marteletes pneumáticos manuais para execução de furos para inserção dos explosivos (Figura 30), um manipulador telescópico (Figura 31) e uma plataforma articulada (Figura 32), os dois últimos para execução de trabalhos em altura.

Figura 29 - Pá carregadeira para remoção de solo na entrada do túnel



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 30 - Martelete manual



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 31 - Manipulador telescópico



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 32 - Plataforma articulada



Fonte: Arquivo pessoal

Quanto ao uso de explosivos para desmonte de rochas da frente de escavação, o técnico de segurança responsável pela execução deste serviço informou que o material é trazido para a obra escoltado de um paiol externo, no dia e horário previstos para a detonação.

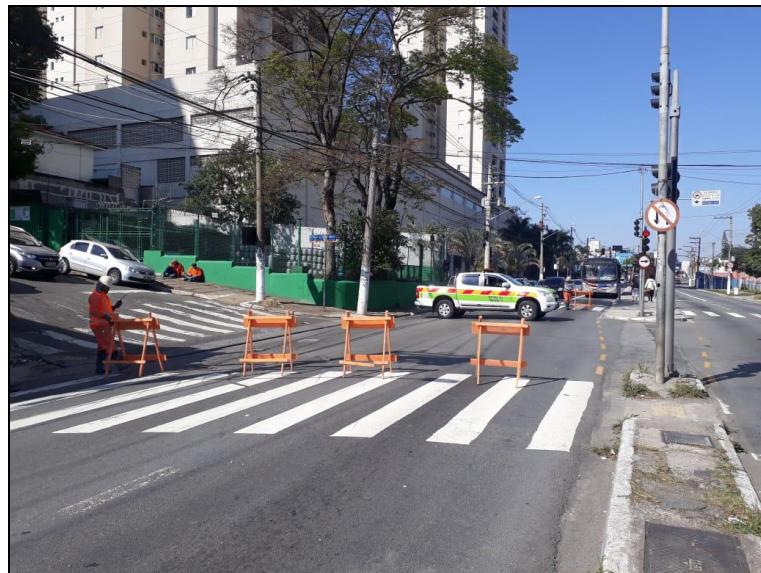
Quando o material chega ao canteiro da obra, é dado início ao procedimento de evacuação e isolamento do túnel, permitindo-se apenas o acesso ao *blaster*, que é o profissional encarregado de marcar as furações, manusear os explosivos e acessórios, orientar a equipe e efetuar o carregamento do fogo.

Toda a operação de carregamento é feita conforme o Plano de Fogo elaborado pelo Engenheiro de Minas responsável. A comunicação entre o *blaster* e a equipe de segurança e demais equipes é feita por equipamentos de rádio.

Após o carregamento, o *blaster* comunica o técnico de segurança responsável pelo isolamento, que dará início à paralisação das atividades e evacuação da área de risco por meio de sinal sonoro (1º sinal sonoro). O tráfego de pessoas e veículos é controlado na área de risco, sendo bloqueado o acesso às vias próximas, sendo a operação de detonação informada aos transeuntes por meio de sinalizações (2º sinal sonoro), conforme indicado na Figura 33 e na Figura 34. Ao 3º sinal sonoro a

detonação é autorizada, sendo feita a liberação da frente de serviço após soar o 4º sinal sonoro.

Figura 33 - Acesso às vias próximas à detonação bloqueado



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 34 - Bloqueio do acesso às vias próximas à detonação



Fonte: Arquivo pessoal

Na Figura 33 é possível visualizar também o trabalhador junto ao bloqueio da via com equipamento de rádio para comunicação com as demais equipes envolvidas no processo de detonação.

Para execução da detonação, é feito o desligamento dos sistemas de ventilação e iluminação, a retirada dos refletores próximos e a evacuação do pessoal da frente. O início da detonação é de responsabilidade do *blaster*. Na Figura 35, é apresentada a situação encontrada após a detonação.

Figura 35 - Desmonte de rochas da frente de escavação



Fonte: Arquivo pessoal

Antes, durante e após a detonação, as vias próximas são visualmente inspecionadas pela equipe técnica responsável, observando a formação de trincas e fissuras ou outros sinais visíveis de patologias nas estruturas superficiais. As vibrações sofridas pelo solo são registradas com o auxílio de sismógrafos (Figura 36).

Após a detonação, o sistema de ventilação é reacionado, devendo apresentar as seguintes capacidades mínimas: 2,5 m³/min/HP para equipamentos em uso simultâneo; 5,0 m³/min para pessoal mais 18,0 m³/min por trabalhador no interior do túnel; velocidade de 0,5 m/s a 20 m/s na tubulação da frente.

Figura 36 - Sismógrafo utilizado durante as detonações



Fonte: Arquivo pessoal

Em relação à concentração de gases nocivos, é feito um controle permitindo-se os seguintes limites máximos: 100 ppm para monóxido de carbono (CO); 500 ppm para gás carbônico (CO₂); 5 ppm para aldeídos; 25 ppm para compostos nitrogenados.

A medição dos gases é feita pelo *blaster* e pelo técnico de segurança responsável com o auxílio de detectores (Figura 37), sendo utilizada máscara semifacial filtrante (Figura 38).

Figura 37 - Detector de gases



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 38 - Máscara semifacial filtrante



Fonte: Arquivo pessoal

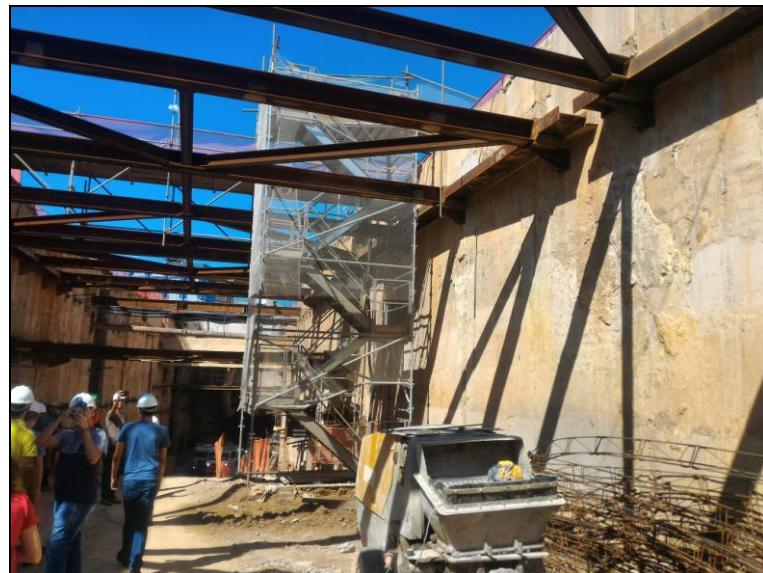
4.2 CANTEIRO 02

O segundo canteiro visitado, também situado próximo à via de grande circulação de veículos, possuía apenas uma frente de escavação. Os EPIs fornecidos para a visita foram bota, capacete, óculos de proteção transparente e protetor auricular.

O acesso ao túnel foi feito por meio da escavação de Vala à Céu Aberto (VCA), método no qual a escavação se dá após a execução de paredes concreto (parede diafragma) nos limites da área delimitada, podendo ser instaladas estroncas ou vigas para enrijecimento da estrutura, conforme a escavação progride até atingir a cota necessária.

Foi deixada uma rampa de acesso ao túnel de escavação (Figura 39 e Figura 40), permitindo que os caminhões se aproximassesem da entrada da abertura (Figura 41 e Figura 42), evitando o uso de caçambas, medida que agiliza o procedimento de remoção do solo escavado, se comparado ao içamento de caçambas (primeiro canteiro), mas que pode expor os trabalhadores a um risco maior de atropelamento ou esmagamento por veículos.

Figura 39 - Rampa de acesso ao túnel



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 40 - Rampa de acesso ao túnel



Fonte: Arquivo pessoal

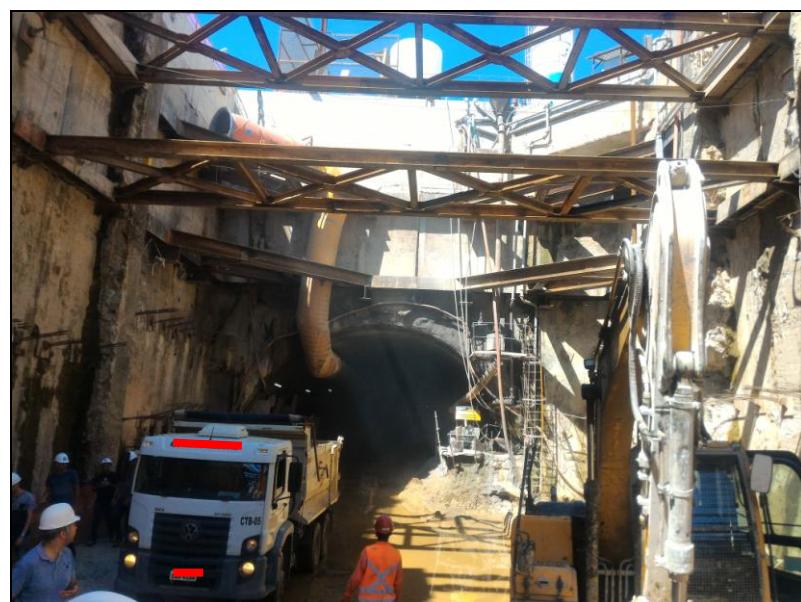
Na Figura 42 é possível observar também a tomada de ar do duto de ventilação na lateral esquerda do túnel. Na lateral direita, há o duto de transporte de concreto para frente de escavação, sendo possível observar uma plataforma para manutenção (limpeza e desobstrução) da tubulação.

Figura 41 - Abertura de entrada do túnel



Fonte: Arquivo pessoal

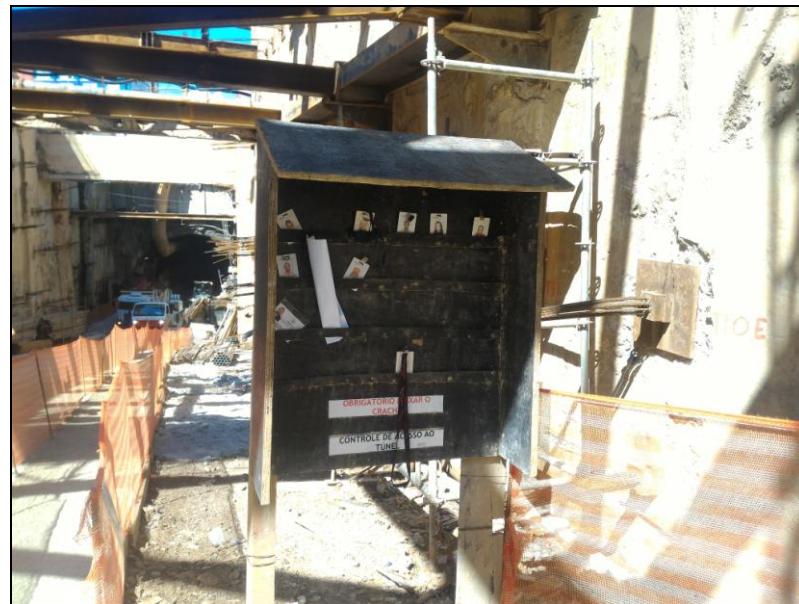
Figura 42 - Caminhão na entrada do túnel



Fonte: Arquivo pessoal

Assim como no outro canteiro, havia um controle de acesso ao túnel (Figura 43), no qual os funcionários deveriam deixar seus crachás de identificação. Diferentemente do primeiro canteiro, neste não foi exigido dos visitantes o mesmo procedimento.

Figura 43 - Controle de acesso ao túnel



Fonte: Arquivo pessoal

Logo na entrada do túnel havia uma maca disponível para emergências (Figura 44). O acesso dos trabalhadores era feito pelo caminho seguro, segregado da via de circulação do maquinário (Figura 45).

Figura 44 - Maca para emergências



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 45 - Caminho seguro (à esquerda)



Fonte: Arquivo pessoal

O túnel se encontrava em fase de concretagem da primeira camada de revestimento, procedimento que envolve a instalação de cambotas e telas metálicas e aplicação do concreto projetado. No momento da visita estava sendo feita a projeção do concreto, atividade que gera grande suspensão de aerodispersoides, não sendo permitida a aproximação ao local de aplicação (Figura 46).

Figura 46 - Indicação do trabalhador aplicando o concreto projetado



Fonte: Arquivo pessoal

Embora não tenha sido possível a visualização da atividade de concretagem da primeira camada no local, foram fornecidas imagens deste serviço sendo executado em outro ponto da escavação, reproduzidas a seguir (Figura 47 e Figura 48).

Figura 47 - Aplicação do concreto projetado



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 48 - Aplicação do concreto projetado



Fonte: Arquivo pessoal

Na Figura 47 e na Figura 48 é possível observar trabalhadores utilizando capacetes, botas, máscaras e macacões de proteção. Conforme informado nas visitas, os macacões brancos são destinados para proteção parcial de agentes químicos e proteção contra poeiras, sendo confeccionado em material sintético permeável. Já o macacão marrom, indicado na Figura 48, possui maior proteção, sendo confeccionado em *náilon* emborrachado e impermeável.

O técnico que acompanhou a visita informou que nas operações de concretagem, são utilizados aparelhos via rádio para comunicação.

Quanto ao maquinário utilizado, constatou-se o uso de uma escavadeira para remoção e carregamento do solo e caminhões para transporte do solo para fora do canteiro. Na Figura 46 é possível observar também uma perfuratriz, mas que não estava em funcionamento por não ser necessária para a etapa de escavação que estava sendo executada.

Diferentemente do túnel do primeiro canteiro, nesta escavação até então não havia sido necessário o uso de explosivos em função da inexistência de grandes volumes de rocha no maciço da frente de escavação.

4.3 CANTEIRO 03

No canteiro 03 estava sendo executado um túnel de via dupla e um túnel singelo, o segundo previsto para acesso futuro em casos de emergência e manutenções. O acesso aos túneis era feito por um poço semelhante ao do primeiro canteiro, mas a movimentação vertical de cargas era feita por um pórtico guindaste (Figura 49).

Havia a ocorrência de chuvas durante todo o dia da visita ao canteiro 03, sendo fornecidos bota, capacete, óculos de proteção transparente, colete refletor e capa de chuva como EPIs.

Figura 49 - Poço de acesso aos túneis do canteiro 03



Fonte: Arquivo pessoal

Na Figura 49 é possível observar também as tomadas de ar dos ventiladores dos túneis, mas sem abrigo de proteção, como havia sido constatado no canteiro 01. Foram identificadas placas de advertência ao longo do caminho percorrido (Figura 50) e próximo ao poço de acesso foi identificada a gaiola de resgate (Figura 51).

Assim como nos demais canteiros, havia um controle do acesso aos túneis, onde são colocados os crachás de identificação dos funcionários, inclusive dos visitantes (Figura 52).

Figura 50 - Placas de advertência



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 51 - Gaiola de resgate



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 52 - Controle de acesso aos túneis do canteiro 03

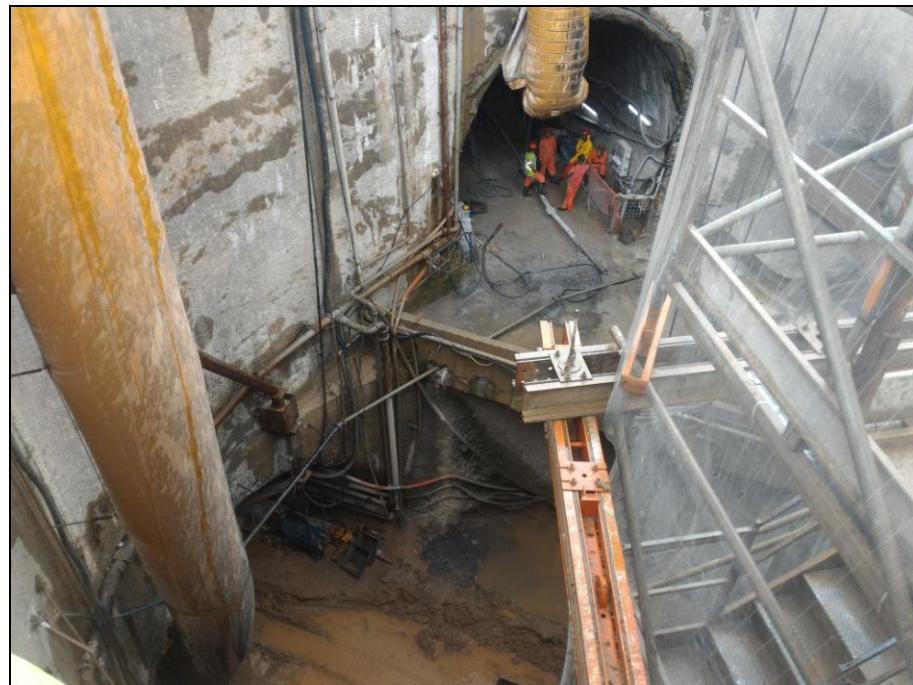


Fonte: Arquivo pessoal

A abertura do túnel singelo encontrava-se mais próxima da superfície do que a abertura do túnel de via dupla, localizado ao fundo do poço de acesso (Figura 53).

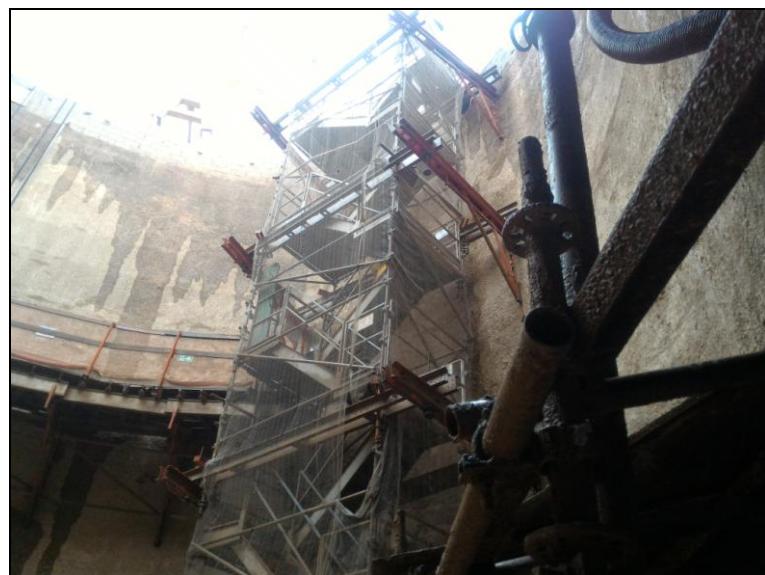
O acesso aos túneis era feito por uma escada de plataformas metálicas instalada no poço, protegida com guarda-corpos e telas (Figura 54). Havia uma maca no patamar próximo à abertura do túnel singelo (Figura 55).

Figura 53 - Aberturas dos túneis do canteiro 03



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 54 - Escada de acesso aos túneis



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 55 - Maca de resgate



Fonte: Arquivo pessoal

No túnel singelo estava sendo executado o arco invertido, envolvendo atividades de instalação de mantas de impermeabilização e de telas metálicas e projeção de concreto (Figura 56).

A movimentação dos trabalhadores era feita sobre a armação já montada, em cujo trecho inicial foi identificado um extintor de incêndio (Figura 57).

Figura 56 - Armação do arco invertido do túnel singelo



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 57 - Extintor de incêndio no túnel singelo



Fonte: Arquivo pessoal

Ao longo do túnel foi possível observar que os reservatórios e bombas utilizados para o rebaixamento do lençol freático, bem como demais tubulações auxiliares, estavam localizados numa altura elevada, necessitando de escadas para acesso em caso de manutenção (Figura 58 e Figura 59).

Figura 58 - Equipamentos e instalações auxiliares elevados



Fonte: Arquivo pessoal

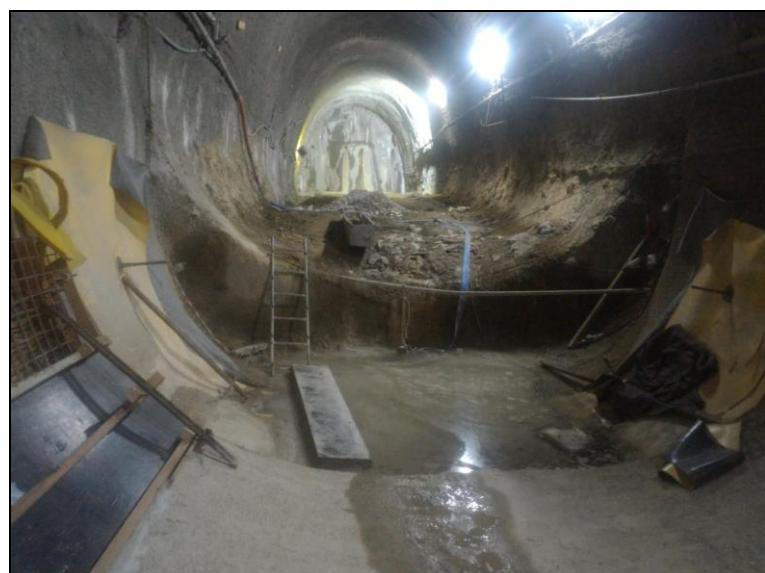
Figura 59 - Bomba de sucção elevada (escada de acesso ao chão)



Fonte: Arquivo pessoal

O arco invertido do trecho mais próximo à frente do túnel já havia sido concretado. Os serviços de escavação estavam paralisados em função da existência de um córrego situado acima da frente do túnel, no qual estava sendo realizada a canalização (Figura 60 e Figura 61).

Figura 60 - Trecho do túnel singelo próximo à frente



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 61 - Frente de escavação paralisada do túnel singelo



Fonte: Arquivo pessoal

Foi possível constatar que o duto de ventilação encontrava-se afastado da frente de escavação do túnel singelo, embora esta estivesse paralisada (Figura 62).

Figura 62 - Vista da frente de escavação do túnel singelo

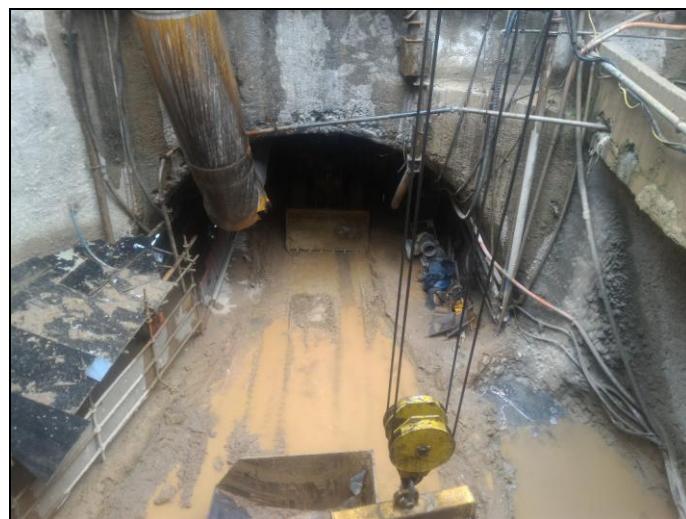


Fonte: Arquivo pessoal

Já no túnel de via dupla (Figura 63), estavam sendo executados serviços de escavação e remoção de solo, concretagem de arco invertido e estabilização do maciço de uma das frentes.

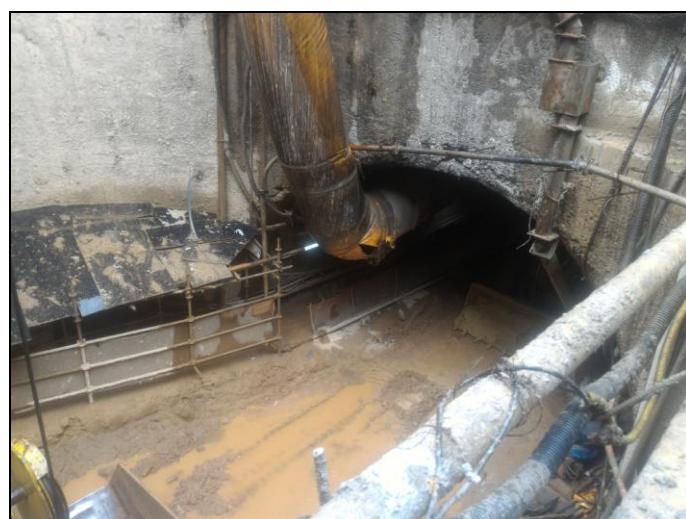
Logo no trecho da abertura do túnel, identificou-se um rasgo no duto de ventilação, que pode ser observado na Figura 64.

Figura 63 - Abertura de acesso ao túnel de via dupla do canteiro 03



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 64 - Rasgo no duto de ventilação do túnel de via dupla



Fonte: Arquivo pessoal

Assim como nos túneis dos canteiros 01 e 02, havia um caminho seguro para circulação dos trabalhadores segregado da via de circulação das máquinas.

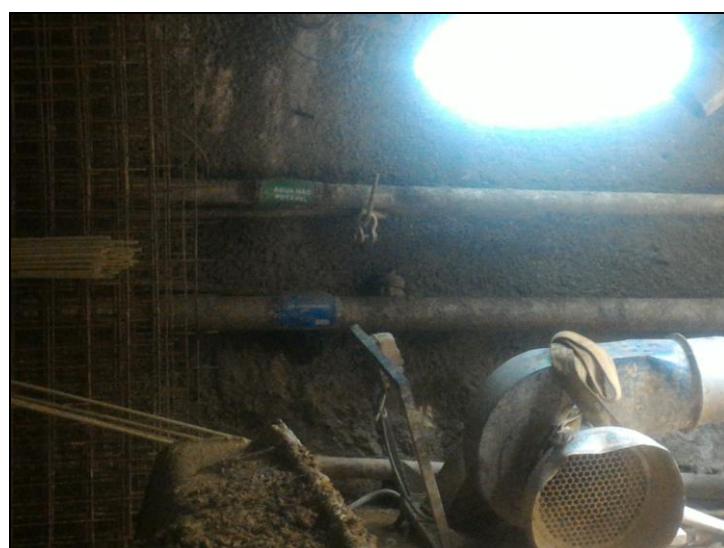
Próximo à abertura de entrada do túnel, identificou-se a boteira do alarme sonoro (Figura 65), embora a placa de aviso estivesse ilegível. No trecho próximo ao início do túnel e ao longo do mesmo foram identificadas placas informativas fixadas ao lado das tubulações existentes (Figura 66).

Figura 65 - Boteira do alarme sonoro



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 66 - Identificação das tubulações



Fonte: Arquivo pessoal

Em função da geometria do túnel, a escavação de uma das frentes foi feita em duas partes, com a execução de dois túneis menores, sendo posteriormente unidos com a demolição da parede central (Figura 67). Também em razão da geometria, por ser um túnel de via dupla, além da concretagem do arco superior, foi feita a concretagem de algumas cambotas do arco inferior, com espaçamento maior, atividade em execução em um dos túneis parciais da frente de escavação (Figura 69). No outro túnel parcial estavam sendo executadas enfilagens para estabilização do maciço (Figura 68).

Figura 67 - Frente de escavação em dois túneis parciais



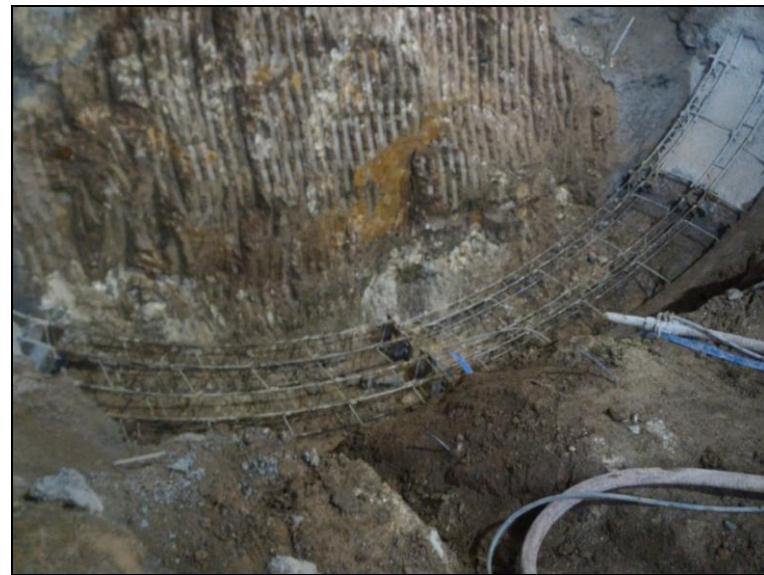
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 68 - Execução de enfilagens



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 69 - Concretagem da cambota inferior



Fonte: Arquivo pessoal

Na outra frente de escavação não estava sendo utilizada a execução de túneis parciais, mas sim a execução de um túnel com geometria inferior à projetada que será posteriormente alargado em uma das laterais (Figura 70). O arco invertido da frente tinha sido concretado há poucas horas da visita (Figura 71). Observa-se ainda na Figura 70 que o duto de ventilação não chegava até a frente de escavação.

Figura 70 - Frente de escavação do túnel de via dupla



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 71 - Frente de escavação após concretagem do arco invertido



Fonte: Arquivo pessoal

Em relação aos equipamentos utilizados, identificaram-se perfuratrizes para execução das enfilagens (Figura 68), um manipulador telescópico para trabalhos em altura (Figura 72), escavadeiras hidráulicas e pás carregadeiras para remoção e transporte de solo (Figura 73, Figura 74 e Figura 75), conforme identificado também nos demais canteiros.

Figura 72 - Manipulador telescópico



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 73 - Escavadeiras



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 74 - Pá carregadeira



Fonte: Arquivo pessoal

Na Figura 75 é possível observar que havia pouco espaço livre para movimentação da escavadeira hidráulica, estando o braço do equipamento muito próximo ao teto do túnel. Pela Figura 76 é possível notar marcas de impacto do equipamento na camada superior de concreto.

Figura 75 - Escavadeira hidráulica



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 76 - Marcas de impacto da escavadeira no teto do túnel



Fonte: Arquivo pessoal

Conforme mencionado anteriormente, constatou-se a existência do caminho seguro ao longo de toda a extensão do túnel, que pode ser observado na Figura 77, na Figura 78 e na Figura 79.

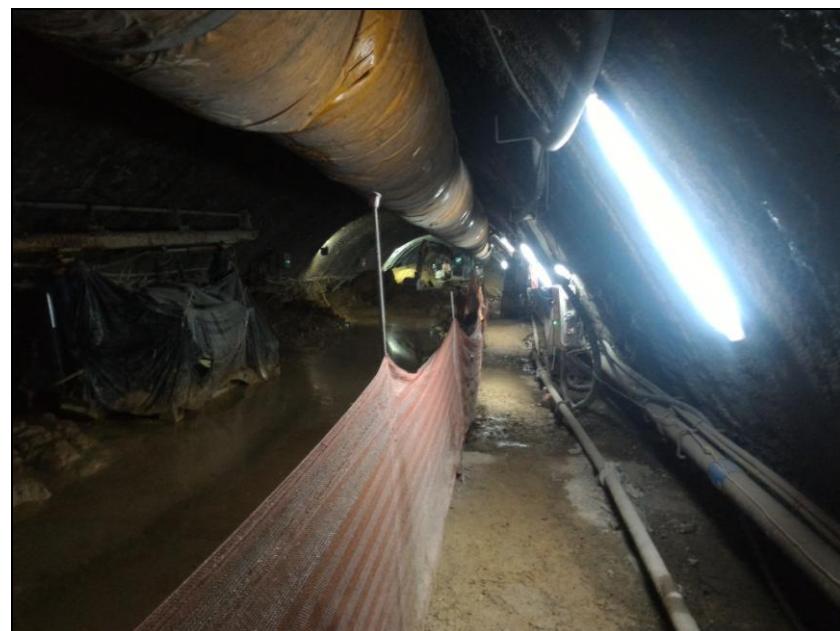
Na Figura 79 observa-se ainda um rasgo no duto de ventilação do túnel, que alimenta o trecho da frente de escavação indicado na Figura 70.

Figura 77 - Caminho seguro ao longo do túnel



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 78 - Caminho seguro



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 79 - Rasgo no duto de ventilação



Fonte: Arquivo pessoal

Assim como nos demais canteiros, não havia fontes de energia auxiliares para os sistemas de ventilação e rebaixamento de lençol freático para atuar em casos de falha do sistema principal, havendo apenas fonte emergencial para o sistema de iluminação dos túneis.

5 DISCUSSÃO

Em função do cenário apresentado da obra em estudo, serão confrontados os aspectos da NR-18 e normas complementares relacionados às atividades de escavação e desmonte de rochas, movimentação e transporte de materiais e pessoas, locais confinados, máquinas, equipamentos e ferramentas diversas, entre outras disposições.

De modo geral, observou-se que em todos os canteiros havia sinalização adequada, com placas de advertência fixadas em vários locais da obra. Ao longo do perímetro de todos os canteiros havia barreiras de isolamento e sinalizações nos acessos dos trabalhadores e veículos às áreas de escavação.

Os acessos aos túneis de escavação também estavam bem sinalizados, e era feito por meio de escadas metálicas (canteiros 01 e 03), com corrimãos e protegidas por telas em toda sua extensão. Verificou-se também a existência de equipamentos de resgate, tais como maca, *sked* e gaiola de resgate, embora tenha sido constatado que a gaiola do canteiro 01 não estava com o gancho de içamento acoplado, o que pode comprometer um tempo precioso para o resgate em situações emergenciais.

Assim, pode-se observar que foram atendidas as exigências de acesso à escavação da NR-18, que devem ser feitos por escadas ou rampas, próximas aos postos de trabalho, a fim de permitir a saída rápida dos trabalhadores em caso de emergência (item 18.6.7). Contatou-se também a presença de sistema de alarme sonoro em todos os túneis, para acionamento em casos de infiltração ou vazamento de gás, (item 18.6.10).

Quanto aos EPIs fornecidos, destaca-se a importância do uso de botas, capacete e óculos de proteção transparente, em função das condições encontradas durante a circulação nos túneis, com presença de lama e/ou rochas soltas, materiais estocados na via, tubulações fixadas em altura próxima à cabeça ou fixadas próximo ao chão. Ressalta-se também a importância do colete refletor para que os

operadores das máquinas sejam capazes de identificar com facilidade os trabalhadores em circulação no entorno.

Como medida complementar para segurança dos trabalhadores, poderia ser discutida a viabilidade de aquisição de capacetes com lanterna para os trabalhadores do subsolo, embora esta medida possa ser redundante tendo em vista que o sistema de iluminação contempla uma fonte emergencial de energia.

Outro aspecto observado nas visitas se refere à adoção de um caminho de circulação dos trabalhadores segregado à via de circulação das máquinas, chamado de caminho seguro. Trata-se de uma medida complementar e que não se encontra explícita nas normas analisadas, mas que contribui para a segurança dos trabalhadores, dado que a via de passagem das máquinas é feita na mesma seção em que há passagem de pessoas, e esta circulação é frequente.

A respeito da iluminação dos túneis, embora não tenha sido feita a medição do nível de iluminância, constatou-se o uso de refletores com espaçamento na ordem de 5 a 10 metros e uso de pedestais de iluminação nos locais de trabalho mais intenso, próximos às frentes de escavação e nos locais de execução de acabamentos. Para este sistema, havia um gerador emergencial acoplado para funcionamento em caso de falha da fonte de energia principal, medida fundamental para viabilizar a evacuação dos túneis com segurança em casos de emergência.

Em relação à ventilação, verificou-se que em todos os túneis havia ventilador de insuflação de ar fresco, contando com filtro na tomada de ar, que em alguns casos se encontrava protegida (canteiro 01) e em outros casos não (canteiros 02 e 03).

No canteiro 03 observaram-se alguns rasgos na tubulação de ventilação, ocasionando perdas no sistema. Em todos os canteiros constatou-se que a tubulação de ventilação não chegava até a frente de escavação de alguns trechos, encerrando-se alguns metros antes desta.

Outro ponto negativo observado no sistema de ventilação é que este não conta com uma fonte de energia emergencial, ficando assim à mercê de falhas críticas no sistema principal de fornecimento de energia.

Se considerarmos que os túneis estariam sujeitos ao acúmulo de gases tóxicos provenientes dos motores à combustão das máquinas, a situação encontrada na obra estaria irregular perante o item 22.24.14 da NR-22, pois seria necessário um sistema alternativo de alimentação de energia proveniente de fonte independente da alimentação principal. Além disso, de acordo com o item 18.20.1 da NR-18, seria necessária a presença de ventilação local exaustora eficaz que faça extração dos contaminantes, mantendo ao alcance dos trabalhadores ar mandado e/ou equipamento autônomo para resgate, o que não se constatou na obra em estudo.

Embora a vazão de ar que chega à frente de escavação não tenha sido informada, foram indicados alguns parâmetros a serem cumpridos na reativação do sistema após a execução das detonações.

Comparando os critérios internos exigidos pela organização, nota-se que este é mais restritivo em relação à NR-22 no que diz respeito à vazão de ar para suprimento dos trabalhadores, porém é mais permissivo no que diz respeito à vazão necessária por máquina movida à combustão de óleo diesel, conforme indicado na Figura 80.

Figura 80 - Comparativo da vazão de ar exigida pela NR-22 e a utilizada pela organização após as detonações

Suprimento de ar (vazão)	Exigência Interna	NR-22
Pessoas	$5 \text{ m}^3 + 18 \text{ m}^3/\text{min/pessoa}$	$2 \text{ m}^3/\text{min/pessoa}$
Máquinas (combustão de óleo diesel)	$2,50 \text{ m}^3/\text{min/HP}$ ou $2,53 \text{ m}^3/\text{min/cv}$	$3,5 \text{ m}^3/\text{min/cv}$

Fonte: Arquivo pessoal e Quadro II da NR-22

Outra questão relacionada ao conforto dos trabalhadores no interior do túnel se refere às medições periódicas da vazão e temperatura nos túneis, conforme

estabelece o item 22.24.23 da NR-22. Foi informado na visita que não é feita a medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido nos túneis, o que estaria inconforme com a norma citada.

Quanto ao sistema de drenagem, constatou-se sua operação ininterrupta, como orienta a NBR 7678, havendo diversas bombas de sucção ao longo dos túneis. Porém, não havia uma fonte de energia emergencial para este sistema, mas apenas bombas extras alocadas no canteiro em casos de falha dos equipamentos em operação. Neste caso, poderia ser adotado como medida complementar a existência de um sistema auxiliar de alimentação para permanência do rebaixamento do lençol freático, tendo em vista que os serviços de escavação são mantidos inclusive durante as chuvas, como foi o caso de uma das visitas (canteiro 03), tornando-se uma medida que contribui para a adequada evacuação do túnel em caso de emergência ou falha da alimentação de energia principal.

Quanto às máquinas encontradas no túnel de escavação, constatou-se que eram movidas a óleo diesel, com motor à combustão. Nos intervalos de espera, como troca de caçambas, por exemplo, os motores eram desligados e eram apenas acionados novamente com a liberação para execução dos serviços.

De modo geral, para cada frente de escavação havia uma perfuratriz para execução das enfilagens e uma escavadeira hidráulica para escavação e remoção de solo. Nas entradas dos túneis, no caso dos canteiros 01 e 03, havia uma pá carregadeira para enchimento das caçambas. Adicionalmente, foram identificados também manipuladores telescópicos e plataforma articulada para execução de trabalho em altura, esta última presente apenas no trecho em fase de acabamento do canteiro 01.

A diferença entre a plataforma articulada e o manipulador telescópico está na possibilidade do trabalhador da plataforma regular a altura do equipamento, sendo tal sistema ausente nos manipuladores telescópicos. Assim, sem um operador em solo não é possível deslocar a plataforma do manipulador telescópico para saída do trabalhador executando o trabalho em altura. Por esse motivo, seu uso não estaria

conforme com o item 18.22.7.a da NR-18, sendo mais indicado o uso apenas de plataformas articuladas, que estava sendo utilizada no trecho de acabamento do túnel do canteiro 01.

No canteiro 03, observou-se que a escavadeira hidráulica tinha um espaço muito limitado de operação, sendo identificadas inclusive marcas no topo do arco superior devido a choques do equipamento.

Outro ponto relacionado às máquinas e equipamentos é a delimitação de sua área de atuação. Embora não tenham sido constatadas barreiras próximas aos locais de operação das escavadeiras e perfuratrizes, o caminho seguro é segregado da via dos maquinários em toda a extensão do túnel, além de que os equipamentos estarem devidamente munidos com sistema sonoros de marcha ré. Outro fator mencionado anteriormente relacionado à circulação das máquinas é o uso do colete refletor utilizado pelos trabalhadores.

Uma medida de melhoria em relação à movimentação de máquinas seria a adoção do caminho seguro também na rampa de acesso do túnel do canteiro 02, onde há circulação frequente de caminhões desde a entrada do canteiro até a abertura de entrada do túnel.

Quanto às máquinas de movimentação vertical, constatou-se a existência de alarmes sonoros para a operação de içamento de cargas nos poços de acesso (canteiro 01 e 03).

Em relação às instalações auxiliares dos túneis, verificou-se a existência de placas identificadoras das tubulações existentes no túnel em via dupla do canteiro 03, espaçadas ao longo de algumas dezenas de metros, não sendo feita a medição precisa.

Conforme o item 22.19.10 da NR-22, as tubulações deveriam estar identificadas por cores conforme a NBR 6.493 – Emprego de Cores para Identificação de Tubulações

Industriais, ou identificadas a cada 100 metros, com informações sobre a natureza do conteúdo, direção do fluxo e pressão do trabalho.

Em função da facilidade de acúmulo de poeira nas tubulações, a adoção de cores pode ser inviável para o caso de uma obra de escavação subterrânea, tornando-se mais viável a identificação das tubulações, conforme observado no túnel do canteiro 03. Porém, a identificação do conteúdo deve também acompanhar a indicação da pressão de trabalho, o que não foi verificado.

Quanto ao procedimento de detonação de rocha na frente de escavação, verificou-se que a obra em estudo atende aos requisitos da NR-18, havendo um *blaster* responsável pelos procedimentos de armazenamento, preparação de cargas, carregamento, ordem de fogo, detonação e retirada das minas que não explodiram, havendo também um plano de fogo estabelecido e alarme sonoro utilizado nas detonações.

Constatou-se também a adoção das medidas de segurança constantes na NR-22, em especial entre elas a evacuação e vigilância da área de risco, predefinição dos horários de fogo, consignados em placas visíveis na entrada de acesso às áreas de mina, e verificação da dissipação de gases e poeiras após a detonação, com a medição de monóxido de carbono (CO), gás carbônico (CO₂), aldeídos, compostos nitrogenados e de oxigênio (O₂).

Quanto à atividade de concretagem, a NR-18 estabelece medidas voltadas à inspeção da tubulação e máquinas do sistema de transporte de concreto e a presença de dispositivos de segurança nas conexões dos dutos, deixando de abordar maiores detalhes deste serviço como aqueles relacionados especificamente ao concreto projetado, que também não são abordados nas demais normas regulamentadoras.

Tomando-se as recomendações da NBR 7678, que também não são específicas para a execução de concreto projetado, tem-se a orientação quanto à utilização de sinaleiro ou comunicação radiofônica ou telefônica quando o local de lançamento do

concreto fresco não estiver à vista do operador da bomba de concreto ou equipamento de transporte, o que foi constatado nas visitas. A comunicação entre os operadores da bomba e do lançamento no local era feita via equipamentos de rádio.

Além disso, a NBR 7678 orienta o uso de botas de cano longo, luvas e vestimenta apropriada para evitar lesões provocadas pelo cimento e o uso de protetores faciais do tipo escudo para o trabalhador encarregado de segurar a ponta da mangueira de concreto sob pressão, o que também foi constatado pela análise das imagens fornecidas.

Uma discussão pode ser feita em relação ao macacão utilizado para proteção do tronco e membros superiores e inferiores. Foi relatado nas visitas que o macacão branco (Figura 47) de proteção contra agentes químicos e poeiras era confeccionado por material permeável, e que perdia parte de sua função após a sudorese do operador da mangueira, conhecido por mangoteiro, com o contato da pele molhada com os aerodispersoides lançados no ar no momento da concretagem.

Por meio deste contato, as poeiras que passam pelo macacão tornam o EPI áspero, sendo relatado pelo técnico que acompanhou as visitas o aparecimento de dermatites na região das coxas dos trabalhadores, que é a parte do corpo utilizada para fixação do mangote, conforme se observa na Figura 47.

A fixação do mangote se faz necessária para evitar o ricochete da tubulação quando ocorrem entupimentos de concreto nos dutos, situação frequente conforme relatado nas visitas à obra em estudo. Outra maneira para fixação da mangueira e que evitaria a fricção com a pele do aplicador seria a observada na Figura 48, mas nem sempre é a situação encontrada em obra em função da necessidade de mais trabalhadores para segurar a tubulação e maior risco de ricochete do mangote.

Para contornar este problema, os trabalhadores estavam testando outro modelo de macacão, indicado na Figura 48, de cor marrom, impermeável à entrada de poeiras

no EPI e contato com a pele do mangoteiro. Os resultados da troca estavam sendo satisfatórios, conforme relato dos trabalhadores.

Outra forma de reduzir os danos causados pela fricção do mangote com a pele do trabalhador seria evitar a ocorrência de entupimentos frequentes na tubulação de transporte de concreto, o que pode ser feito com a adoção de diâmetro maior para os dutos. Embora esta medida acarrete em maior custo de implantação do sistema de transporte de concreto, este pode ser compensado pela maior rapidez do processo de execução do concreto projetado, evitando perdas de tempo e material devido a entupimentos da tubulação.

Observa-se que a aplicação de concreto projetado não é bem abordada nas normas de segurança, e sendo uma atividade que engloba algumas peculiaridades técnicas, envolvendo a exposição do trabalhador a riscos, poderia ser objeto de futuro estudo neste campo.

Por fim, apresentam-se na Figura 81 algumas sugestões de medidas de melhoria da segurança dos trabalhadores, com base nos apontamentos feitos anteriormente.

Figura 81 - Medidas de segurança sugeridas

Ventilação	<ul style="list-style-type: none"> • Proteção das tomadas de ar dos canteiros 02 e 03; • Instalação de um sistema de exaustão; • Fechamento de rasgos do duto do canteiro 03; • Utilização de fonte emergencial de energia; • Prolongamento de dutos até as frentes de escavação; • Efetuar medições periódicas da temperatura; • Adoção do critério da NR-22 para vazão de ar necessária para máquinas a combustão de óleo diesel.
Máquinas e equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Abolição do manipulador telescópico (só utilizar plataforma articulada); • Espaço adequado para movimentação das máquinas.
Acessos	<ul style="list-style-type: none"> • Adoção do caminho seguro na rampa de acesso ao túnel do canteiro 02.
Sistema de drenagem	<ul style="list-style-type: none"> • Adoção de fonte emergencial de alimentação de energia.
Concretagem	<ul style="list-style-type: none"> • Adoção de dutos com maior diâmetro; • Utilização de macacão impermeável para aplicação do concreto projetado.

Fonte: Autoria própria

6 CONCLUSÕES

Após análise dos resultados obtidos, cumpriu-se o objetivo proposto ao presente estudo sendo possível constatar pontos de não conformidade na obra visitada, principalmente relacionados à ventilação das frentes de escavação.

Não foi atendido o item 18.20.1 da NR-18, que estabelece a necessidade de ventilação local exaustora eficaz que faça extração dos contaminantes, mantendo ao alcance dos trabalhadores ar mandado e/ou equipamento autônomo para resgate, e o item 22.24.14 da NR-22, pelo qual seria necessário um sistema alternativo de alimentação de energia proveniente de fonte independente da alimentação principal do sistema de ventilação. Além disso, não são feitas medições periódicas da vazão e temperatura nos túneis, conforme estabelece o item 22.24.23 da NR-22. Quanto aos maquinários utilizados, constatou-se o uso de manipuladores telescópicos, o que estaria inconforme com o item 18.22.7.a da NR-18.

Foram identificados ainda pontos de melhoria das condições de segurança e saúde dos trabalhadores, sendo sugeridas medidas complementares como adoção de um caminho seguro na rampa de acesso ao túnel do canteiro 02, adoção de fonte emergencial de energia para o sistema de drenagem, adoção de dutos de concretagem de maior diâmetro, de modo a evitar entupimentos frequentes, e a adoção de macacão impermeável para os mangoteiros, trabalhadores responsáveis pela aplicação do concreto projetado.

Quanto ao sistema de ventilação, sugere-se ainda a proteção das tomadas de ar, fechamento de rasgos nos dutos e prolongamento destes até as frentes de escavação e adoção do critério trazido nos itens 22.24.7 e 22.24.8 da NR-22 para o cálculo do suprimento de ar para máquinas com motor à combustão de óleo diesel.

Dentre as atividades analisadas no estudo de caso apresentado, foi possível constatar que a aplicação de concreto projetado não é bem abordada na NR-18 e nas demais normas consultadas, carecendo de especificação de medidas efetivas de proteção aos trabalhadores que executam esta atividade.

REFERÊNCIAS

ASSIS, A. P. Entrevista: subterrâneo em revista. **Téchne**, v. 114, Set. 2006. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/114/artigo285506-1.aspx>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7678**: Segurança na execução de obras e serviços de construção. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6493**: Emprego de cores para identificação de tubulações industriais. 2 ed. Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL, Decreto nº 6.271, de 22 de novembro de 2007. Promulga a Convenção nº 167 e a Recomendação nº 175 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) sobre a Segurança e Saúde na Construção, adotadas em Genebra, em 20 de junho de 1988, pela 75ª Sessão da Conferência Internacional do Trabalho. Brasília, 22 de novembro de 2007. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6271.htm>. Acesso em: 13 fev. 2019.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Aprova as Normas Reguladoras de Mineração – NRM, de que trata o Art. 97 do Decreto-Lei nº227, de 28 de fevereiro de 1967. Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001. Brasília, 18 de outubro de 2001. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-237-em-18-10-2001-do-diretor-geral-do-dnpm>>. Acesso em: 08 mar. 2019

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 4**: Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho. Brasília. 2016. 30 p. Disponível em <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR4.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 18: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção.** Brasília. 2018. 68 p. Disponível em <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR18/NR-18.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 33: Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados.** Brasília. 2012. 9 p. Disponível em <<http://www.trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR33.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

CAMISASSA, M. Q. **Segurança e saúde no trabalho:** NRs 1 a 36 comentadas e descomplicadas. São Paulo: Método, 2015. 909 p.

CARREIRA, W. **Análise dos deslocamentos no maciço, em túnel executado pelo método NATM.** 2014. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

COMITÊ BRASILEIRO DE TÚNEIS. **Túneis do Brasil.** São Paulo: DBA Artes Gráficas, 2006. 327 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Malha de metrôs e trens de passageiros precisa crescer 80%.** 2016. 6 p. Disponível em <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/malha-de-metros-e-trens-de-passageiros-precisa-crescer-80>>. Acesso em: 08 mar. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte & Desenvolvimento: Transporte Metroferroviário de Passageiros.** 2016. 149 p. Disponível em <<http://www.cnt.org.br/Estudo/estudo-transporte-metroferroviario-de-passageiros>>. Acesso em: 08 mar. 2019.

FRANCIS, F. O.; ROCHA, H. C. **Obras subterrâneas civis.** Geologia de engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. **Recomendação Técnica de Procedimentos 03:** escavações, fundações e desmonte de rochas – RTP 03. 1. ed. São Paulo, 2002.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. **Safety of New Austrian Tunnelling Method (NATM) Tunnels.** [S.l.:s.n.]. 1996. 137 p. Disponível em: <<http://www.hse.gov.uk/pubns/natm.htm>>. Acesso em: 29 jan. 2019.

JIMENO, C. L. et al. **Manual de túneles y obras subterrâneas.** Móstoles: Entorno Grafico, S. L., 1997.

MAFFEI, C. E. M. et al. As causas do acidente da Estação Pinheiros da Linha 4 do Metrô de São Paulo. **Téchne**, v. 138, Set. 2008. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/138/artigo285733-1.aspx>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

MASOSONORE, M. C.; DJEMAI, H. **Consequences of tunneling by the New Austrian Tunneling Method (NATM) in urban áreas on ground surface.** Faculty of Civil Engineering, University of Sciences and Technology Houari Boumediene. [s.l.]. 2018. 44 p.

MURAKAMI, C. A. **Noções básicas para o acompanhamento técnico de obras de túneis.** 2001. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PALERMO, G.; HELENE, P. **Concreto projetado como revestimento de túneis.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

RIBEIRO NETO, F. **Segurança, ruptura e colapso de túneis urbanos em NATM.** 1999. 171 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SANTANA, F. F. **Perigos e riscos em escavação de túnel no método NATM.** 58 p. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Programa de Educação Continuada em Engenharia, São Paulo, 2011.

TRAVAGIN, V. B. **Subsídios para escolha do método construtivo de túneis.** 2012. 125 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2012.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica Programa de Educação Continuada. **Legislação e Normas técnicas.** Epusp - EAD/ PECE, 2017. 221p.