

**BRUNO PORTO TUPINAMBÁ
CAIO MARRANGHELO MINGIONE
CHRISTIANA BRAGA FURTADO
JULIANNA LAJUT
NICOLE GIORDANO**

**IMPLANTAÇÃO DA ESTAÇÃO MOEMA E EXPANSÃO DA
LINHA 5-LILÁS DO METRÔ DE SÃO PAULO**

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Jaime Domingos
Marzionna

São Paulo
2012

**BRUNO PORTO TUPINAMBÁ
CAIO MARRANGHELO MINGIONE
CHRISTIANA BRAGA FURTADO
JULIANNA LAJUT
NICOLE GIORDANO**

**IMPLANTAÇÃO DA ESTAÇÃO MOEMA E EXPANSÃO DA
LINHA 5-LILÁS DO METRÔ DE SÃO PAULO**

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Jaime Domingos
Marzionna

São Paulo
2012

Tupinambá, Bruno Porto

**Implantação da Estação Moema e expansão da linha 5-Lilás do Metrô de São Paulo / B.P. Tupinambá, C.M. Mingione, C.B. Furtado, J. Lajut, N. Giordano. -- São Paulo, 2012.
138 p.**

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica.

**1. Metrô – São Paulo (SP) 2. Geotecnia 3. Escavação subterrânea
4. Dimensionamento de estruturas 5. Construção civil 6. Demanda
I. Mingione, Caio Marranghelo II. Furtado, Christiana Braga III. Lajut,
Juliana IV. Giordano, Nicole V. Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica V.
t.**

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Jaime Domingos Marzionna, pela dedicação, apoio e contribuição para o crescimento pessoal e profissional do grupo.

À Companhia do Metropolitano de São Paulo, em especial ao Eng° Luís Fernando Mendes Romão e ao Eng° Danton Soares Júnior, pelo auxílio e fornecimento de informação indispensáveis à elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Hermes Fajersztajn, ao Geólogo Hugo Cássio Rocha e ao Prof. Cláudio Wolle pela participação na banca e conselhos para aperfeiçoamento do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivos Gerais	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 JUSTIFICATIVA	19
4 METODOLOGIA	20
5 SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANOS	23
6 METRÔ DE SÃO PAULO – HISTÓRIA E PERSPECTIVAS FUTURAS	28
6.1 Histórico.....	28
6.2 Planos de expansão	29
7 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DA ESTAÇÃO.....	33
7.1 História do Bairro de Moema	33
7.2 Caracterização atual do Bairro	36
8 ESTUDOS DE DEMANDA.....	40
8.1 Pesquisa Origem-Destino (O/D)	40
8.2 Modelo de previsão de demanda	44
8.3 Calibrações do modelo e projeção final do carregamento da rede.....	46
9 TRAÇADO	50
9.1 Planejamento do traçado.....	50
9.2 Detalhamento de Traçado	51
9.3 Critérios de dimensionamento de linhas e estações	52
10 MÉTODOS CONSTRUTIVOS	54
10.1 Escavação	54
10.2 Contenções	60
10.3 Escoramentos.....	64
10.4 Métodos construtivos utilizados no Caso da Estação Moema.....	65
11 IMPLANTAÇÃO DA OBRA	74
11.1 Serviços Topográficos	74
11.2 Remanejamento das Interferências	74
11.3 Desapropriações	74
11.4 Implantação de Desvio de Tráfego	76
11.5 Canteiro	77

12	GEOTECNIA E GEOLOGIA.....	79
13	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTENÇÃO.....	84
13.1	Metodologia de Cálculo	84
13.2	Dados do Projeto.....	85
13.3	Determinação dos carregamentos.....	87
13.4	Cálculo da Ficha Mínima	94
13.5	Dimensionamento da Seção Transversal da Parede Diafragma	109
13.6	Cálculo de Ficha para Parede Diafragma como Fundação	115
13.7	Estabilidade Global.....	120
13.8	Estabilidade de Fundo.....	120
13.9	Considerações acerca de análise de recalques	123
14	IMPACTOS E LICENCIAMENTO AMBIENTAL	125
14.1	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental	126
14.2	Plano Básico Ambiental.....	128
15	CONCLUSÕES	133
16	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
17	BIBLIOGRAFIA.....	137

RESUMO

Este Trabalho de Formatura consiste no estudo da implantação da estação Moema e da expansão da Linha 5 - Lilás do Metrô de São Paulo, abordando seu papel no contexto urbano e aspectos técnicos envolvidos.

O trabalho é introduzido pela caracterização do atual sistema metroviário da cidade de São Paulo, com foco sobre a Linha 5 - Lilás e a estação Moema. Segue-se uma discussão geral sobre sistemas de transporte coletivo urbano e por uma abordagem da história do metrô na cidade e planos futuros de expansão. Passa-se então para uma caracterização da região do bairro de Moema, onde será implantada a estação, evidenciando sua importância para a região. A caracterização é seguida de uma análise sobre como o Metrô de São Paulo realiza estudos de demanda por transporte, sendo mostrados alguns resultados desses estudos para a Linha 5 - Lilás e para a estação Moema. Também é abordado de que forma e a partir de quais critérios é determinado o traçado de uma linha de metrô.

Segue-se então para uma discussão sobre os métodos construtivos mais comumente empregados na execução de túneis e estações de metrô, analisando os motivos da escolha dos métodos que serão efetivamente utilizados na construção da estação Moema e do trecho correspondente do túnel da Linha 5 - Lilás. Além disso, é mostrado o processo de implantação do canteiro de obras da estação em estudo, abordando os desafios impostos por uma obra desse porte em ambiente urbano.

Finalmente, é desenvolvido um estudo geotécnico da implantação da estação, parte principal deste trabalho. Este estudo consiste na caracterização geológica e geotécnica da área de estudo, e do dimensionamento da parede diafragma da estação Moema. O trabalho encerra-se com uma análise dos impactos ambientais e do processo de licenciamento ambiental envolvidos no empreendimento.

Palavras-Chave: Linha 5 - Lilás, Metro, Moema, demanda, traçado, obra, métodos construtivos, licenciamento ambiental, análise geotécnica, escavação, contenções.

ABSTRACT

This graduating project consists on the study of the Moema's station construction process and the Line 5-Lilac expansion of the São Paulo's Subway

The essay is introduced by the characterization of the current subway system of the city of São Paulo, focusing on the Line 5 - Lilac and Moema station. In addition, there's a general discussion of urban public transport systems and an approach to the history of the subway in the city, and future plans for expansion. Then, the essay goes to a characterization of the region of the Moema district, where the station is located, showing its importance to the region. The characterization is followed by an analysis of how the São Paulo Metro conducts studies of demand for transport, being shown some results of these studies for Line 5 - Lilac and Moema station. It's also discussed how it's determined the route of a subway line.

Furthermore, a discussion of the construction methods most commonly employed in the execution of tunnels and subway stations is proposed, analyzing the reasons that based the choice of the methods to be used in Moema station and the tunnel of Line 5 - Lilac.

Moreover, it's analyzed the construction process of the station, addressing the challenges posed by a project of this size in an urban environment.

Finally, it's developed the geotechnical study, the main part of this work. This study consists of the geological and geotechnical characterization of the study area and the design of diaphragm wall at Moema station. The essay is concluded with an analysis of environmental impacts involved in the venture.

Keywords: Line 5-Lilac, Moema, demand, routing, work, construction methods, environmental engineering, geotechnical analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rede metroviária e a RMSP (CMSP, 2010).....	13
Figura 2 - Mapa da rede metroferroviária em 2012 (METRÔ, 2012).....	14
Figura 3 - Traçado da Linha 5 – Lilás atual e expansão (Adaptado de EXPANSÃO..., 2012).	16
Figura 4 - Mapa temático da Linha 5 – Lilás após expansão (Adaptado de MEU TRANSPORTE, 2012).....	16
Figura 5 - Localização da estação Moema (Adaptado de GOOGLE MAPS, 2012)...	17
Figura 6 - Diferenças na ocupação de espaço físico entre modais (CMSP, 1995). ..	23
Figura 7 - Comparação entre capacidades do metrô e da via expressa (CMSP, 1995).	24
Figura 8 - Quadro comparativo entre tipos de transporte (ALOUICHE, 2011).	27
Figura 9 - Rede metroferroviária esperada em 2014 (CMSP, 2010).	31
Figura 10 - Rede planejada para 2030 (CMSP, 2012a).	32
Figura 11 - Mapa de Moema (GOOGLE MAPS, 2012).	33
Figura 12 - Igreja Nossa Senhora Aparecida em Moema.	35
Figura 13 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo de Moema (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2012).	38
Figura 14 - Rede estrutural de transporte público da Subprefeitura de V. Mariana (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2012).	39
Figura 15 - Aspectos socioeconômicos da pesquisa O/D (METRÔ, 2012).	43
Figura 16 - Viagens diárias por modo de transporte (METRÔ, 2012).	43
Figura 17 - Viagens diárias por modo de transporte (METRÔ, 2012).	44
Figura 18 - Esquema do processo de estudo de demanda (EPIFANI, 2012).....	47
Figura 19 - Demanda de passageiros por linha em 2011 (METRÔ, 2012).	47
Figura 20 - Entrada de passageiros por estação em 2011 (METRÔ, 2012).	48
Figura 21 - Projeção de demanda para 2015 na Linha 5 – Lilás (METRÔ, 2012)....	49
Figura 22 - Relação de critérios de dimensionamento de trechos metroviários (HOCHTIEF; MONTREAL; DECONSULT, 1968).....	53
Figura 23 - Relação de critérios operacionais da via metroviária (HOCHTIEF; MONTREAL; DECONSULT, 1968).	53
Figura 24 - Método Vala a céu aberto (VCA) (METRÔ, 2012).	54
Figura 25 - Estação de metrô construída pelo método VCA invertido (Adaptado de MEDEIROS, 2011)	56
Figura 26 - Exemplo de seção de túnel executado em NATM, com <i>invert</i> em concreto (Adaptado de CHAGAS, 2008).....	57
Figura 27 - NATM utilizado para execução do túnel Higienópolis (MEDEIROS, 2011).	58
Figura 28 - Shield usado para execução da Linha 4 do metrô em São Paulo (BASTOS, 2012).	59
Figura 29 - Tipos de Shield (MEDEIROS, 2011).	59
Figura 30 - Estacas justapostas tangentes (MEIRELES; MARTINS, 2006).	60
Figura 31 - Estacas justapostas secantes (MEIRELES; MARTINS, 2006).	61
Figura 32 - Concretagem submersa de um segmento de parede diafragma (ABEF; 2004).	62
Figura 33 - Representação de segmentos de parede diafragma.	62
Figura 34 - Exemplo de seção transversal de estacas-prancha (CARDOSO, 2008).63	
Figura 35 - Parede de contenção em perfis metálicos com pranchões de concreto (PINI, 2012).....	63

Figura 36 - Estacas com arco de concreto projetado (MEIRELES; MARTINS, 2006).	64
Figura 37 - Quadro de métodos construtivos disponíveis e justificativa de utilização.	67
Figura 38 - Sequência executiva da estação Moema.	68
Figura 39 - Sequência esquemática da execução de tirantes (ABEF, 2004).	70
Figura 40 - Esquemática da sequência executiva da estação.	73
Figura 41 - Indicação da área de desapropriação (METRÔ, 2012).	76
Figura 42 - Indicação das interferências de tráfego	77
Figura 43 - Obras de desvio de tráfego na av. Ibirapuera	77
Figura 44 - Indicações dos blocos 1, 2 e 3 do canteiro de obras.	78
Figura 45 - Formações geológicas da RMSP (SANTOS, 2012).	80
Figura 46 - Perfis geológicos de seções diversas da cidade de São Paulo (HOCHTIEF; MONTREAL; DECONSULT, 1968).	80
Figura 47 - Perfil geológico da expansão da Linha 5 (DA SILVA; TAKEUCHI; ROCHA, 2011).	82
Figura 48 - Detalhes da escavação de Moema (DA SILVA; TAKEUCHI; ROCHA, 2011).	83
Figura 49 - Sondagem simplificada	85
Figura 50 - Detalhamento dos parâmetros do solo (Adaptado de CMSP, 2012b).	85
Figura 51 - SPT do solo (CMSP, 2012c).	86
Figura 52 - Representação das cotas de lajes e tirantes.	87
Figura 53 - Relação entre empuxo lateral e deslocamentos (HACHICH et al., 1996).	88
Figura 54 - Cálculo dos coeficientes de empuxo ativo.	89
Figura 55 - Diagrama de tensões horizontais por empuxo ativo ao longo da parede.	90
Figura 56 - Cálculo dos coeficientes de empuxo passivo.	91
Figura 57 - Diagrama de empuxo passivo ao longo da parede.	91
Figura 58 - Diagrama das tensões horizontais devidas ao empuxo da água do lado externo da escavação.	92
Figura 59 - Diagrama das tensões horizontais devidas ao empuxo da água do lado interno da escavação.	93
Figura 60 - Diagrama de tensões.	94
Figura 61 - Modelo utilizado para parede diafragma.	95
Figura 62 - Gráfico do carregamento do Modelo.	97
Figura 63 - Modelo carregado no Ftool.	98
Figura 64 - Cálculo das reações no modelo carregado.	99
Figura 65 - Carregamento do modelo para solução alternativa.	101
Figura 66 - Modelo carregado para solução alternativa.	102
Figura 67 - Cálculo de reações no modelo carregado da solução alternativa.	103
Figura 68 - Diagrama de momentos fletores da solução alternativa - fase final de escavação.	104
Figura 69 - Diagrama de forças cortantes da solução alternativa - fase final de escavação.	105
Figura 70 - Redistribuição de momentos no modelo.	106
Figura 71 - Majoração das forças cortantes e Reações nos tirantes.	106
Figura 72 - Diagrama de momentos fletores da fase final da obra.	107
Figura 73 - Diagrama de forças cortantes para fase final da obra.	108
Figura 74 - Representação da laje nervurada	110

Figura 75 - Dados da laje de cobertura.	110
Figura 76 - Dados do reaterro.	110
Figura 77 - Resumo dos dados de entrada.	111
Figura 78 - Seção transversal da parede com armadura dupla.....	111
Figura 79 - Gráfico de interação (MONTROYA apud APOSTILA PEF2304, 20--).	112
Figura 80 - Resultados para $h=1\text{m}$	113
Figura 81 - Resultados para $h=0,8\text{m}$	113
Figura 82 - Valores de K e alfa para diferentes camadas de solo (HACHICH <i>et al.</i> , 1996).	117
Figura 83 - Valores de F1 e F2 para diferentes tipos de estaca (HACHICH <i>et al.</i> , 1996).	117
Figura 84 - Carregamentos.	118
Figura 85 - Representação da planilha de cálculo por Aoki e Velloso.....	119
Figura 86 - Ruptura da base de um talude vertical (MARZIONNA, 1979).	121
Figura 87 - Esquema de uma vala com parede de contenção sem ficha em areia pura (MARZIONNA, 1979).	122
Figura 88 - Critério simplista para avaliação de recalques (MARZIONNA, 1979). ..	124
Figura 89 - Simplificação do Processo genérico de AIA (SÁNCHEZ, 2006).	125

1 INTRODUÇÃO

A rede de transporte urbano de passageiros do Estado de São Paulo é composta pelos serviços do Metrô – Companhia do Metropolitano de São Paulo, da CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos e da EMTU – Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos, todas vinculadas a Secretaria Estadual dos Transportes Metropolitanos.

O Metrô de São Paulo é responsável pelo planejamento, concepção, construção, operação e manutenção do sistema metroviário, assim como pela articulação do transporte público na Região Metropolitana de São Paulo. Atualmente, o Metrô de São Paulo possui cinco linhas em operação:

- Linha 1 – Azul (Jabaquara – Tucuruvi);
- Linha 2 – Verde (Vila Prudente – Vila Madalena);
- Linha 3 – Vermelha (Corinthians - Itaquera – Palmeiras-Barra Funda);
- Linha 4 – Amarela (Paulista – Faria Lima);
- Linha 5 – Lilás (Capão Redondo – Largo Treze).

A malha metroviária totalizava, em 2011, 74,2 quilômetros, 64 estações e 984 carros. Foram 812 milhões de passageiros transportados em 2011, ou 1,08 bilhão se consideradas as transferências entre linhas metroviárias (METRÔ, 2012). O processo de expansão do sistema é contínuo, seja pela ampliação das linhas pré-existentes, seja pela criação de novas linhas. A Figura 1 mostra a inserção da rede metroviária na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), sendo possível observar que a malha restringe-se a apenas uma parcela da área do município de São Paulo.

Todas as linhas são operadas pelo Metrô, a exceção da Linha 4 - Amarela, administrada pela empresa de iniciativa privada ViaQuatro, pertencente ao grupo CCR, na forma de uma Parceria Público Privada.

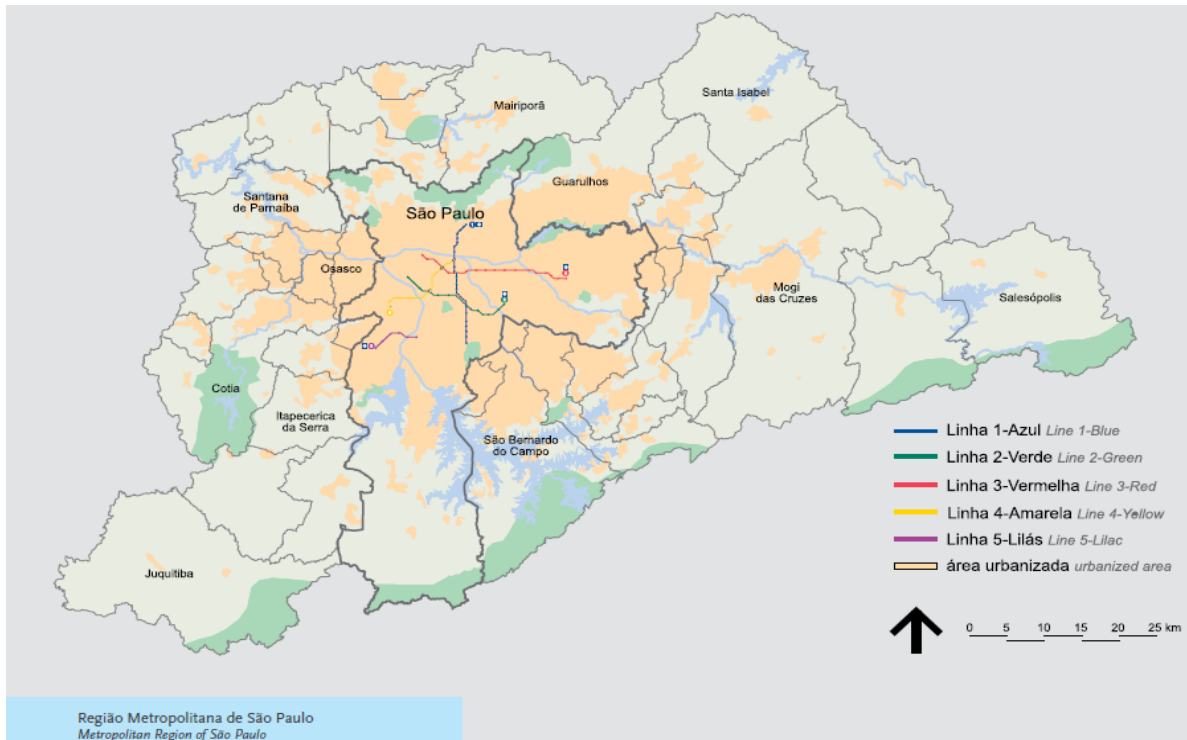


Figura 1 - Rede metroviária e a RMSP (CMSP, 2010).

A rede metroferroviária (Metrô + CPTM) totaliza 335 quilômetros de extensão. O sistema do Metrô integra-se à CPTM nas estações Luz, Pinheiros, Tamanduateí, Brás, Palmeiras-Barra Funda, Tatuapé, Corinthians-Itaquera e Santo Amaro e aos outros modais de transporte na cidade de São Paulo. A Figura 2 mostra o mapa temático da rede metroferroviária no ano de 2012, incluindo as ligações entre os diferentes modais de transporte coletivo.



Figura 2 - Mapa da rede metroferroviária em 2012 (METRÔ, 2012).

A Linha 5 - Lilás totaliza atualmente 8,4 km de trilhos, servindo seis estações. São elas:

- Capão Redondo;
- Campo Limpo;
- Vila das Belezas;
- Giovanni Gronchi;
- Santo Amaro;
- Largo Treze.

A Linha atende à periferia sudoeste de São Paulo, uma das áreas mais carentes do município, abrangendo os bairros de Capão Redondo, Capela do Socorro, Campo Limpo, Rio Pequeno, Grajaú, Piraporinha e Santo Amaro, além dos municípios de Taboão da Serra, Embu e Itapeverica da Serra.

A linha possibilita a ligação da região com o centro de Santo Amaro, um importante núcleo comercial e de serviços da região e de onde partem os trens da Linha 9 - Esmeralda da CPTM e ônibus para outras regiões da cidade.

Atualmente, a linha encontra-se em processo de expansão. Intenciona-se que, até 2015, o trajeto seja ampliado para 20 quilômetros, terminando na Chácara Klabin, região da Saúde (Zona Sul). Com isso, a linha vai se integrar com a Linha 2-Verde na estação Chácara Klabin e com a Linha 1-Azul na estação Santa Cruz e ganhará mais 11 estações. São elas:

- Adolfo Pinheiro;
- Alto da Boa Vista;
- Borba Gato;
- Brooklin/ Campo Belo;
- Água Espraiada;
- Eucaliptos;
- Moema;
- Servidor;
- Vila Clementino;
- Santa Cruz;
- Chácara Klabin.

A Figura 3 mostra o traçado da Linha 5 – Lilás, destacando as estações do trecho já existente e as estações que se intenciona construir no plano de expansão. A Figura 4 mostra o mapa temático da Linha 5 – Lilás após a expansão.



Figura 3 - Traçado da Linha 5 – Lilás atual e expansão (Adaptado de EXPANSÃO..., 2012).



Figura 4 - Mapa temático da Linha 5 – Lilás após expansão (Adaptado de MEU TRANSPORTE, 2012).

A estação Moema é uma das estações que irá compor a atual expansão da Linha 5 – Lilás. Localizada no bairro de Moema, entre as avenidas Ibirapuera, Jamaris e Divino Salvador, a estação terá grande impacto no sistema de transporte da região. Depois de concluída, estima-se que passem por ela mais de 25 mil pessoas todos os dias. A Figura 5 mostra a localização da estação.

A estação será construída através de método VCA invertido com contenção por parede diafragma atirantada. Sua execução enfrentará diversos desafios, uma vez que a obra se encontra em uma região altamente povoada e urbanizada, com significativo fluxo diário de pessoas e veículos. Assim, a obra demandará a

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O intuito deste trabalho é o estudo do processo de implantação de uma nova linha de metrô na cidade de São Paulo, desde o reconhecimento de sua necessidade até sua execução, avaliando as interferências com o meio urbano e as consequentes dificuldades, aspectos de projeto e tecnológicos.

2.2 Objetivos Específicos

Por meio da adoção do estudo de caso da expansão da Linha 5 - Lilás do metrô de São Paulo e, mais especificamente, da implantação da estação Moema, serão realizadas:

- Descrição do processo de elaboração dos estudos de demanda por transporte realizados pelo Metrô;
- Descrição dos aspectos envolvidos e critérios utilizados pelo Metrô no planejamento e definição do traçado de uma nova linha de metrô;
- Descrição dos métodos construtivos existentes para estações e túneis de metrô; análise das soluções escolhidas para o caso em estudo;
- Análise dos aspectos envolvidos na implantação do canteiro de obras da estação Moema;
- Estudo de conceitos teóricos da engenharia geotécnica envolvidos no projeto de escavação e contenção; Caracterização da geologia da região do caso de estudo.
- Dimensionamento da parede diafragma para contenção da escavação;
- Análise do processo de licenciamento ambiental do projeto e dos impactos ambientais envolvidos.

3 JUSTIFICATIVA

A região metropolitana de São Paulo é uma das maiores aglomerações urbanas do mundo, desempenhando um forte papel econômico e de articulação entre pessoas, mercadorias e informações.

A grande população e crescente produção de riquezas requerem uma movimentação contínua e eficiente de bens e pessoas, a qual, se mal planejada, leva a congestionamentos, poluição, marginalização e segregação de regiões, violência, entre outros problemas. A cidade de São Paulo vive hoje uma crise de mobilidade, principalmente devido à limitada abrangência de sua rede de transportes urbanos e à escolha centrada no uso do transporte individual. O simples aumento da malha viária, ainda que necessário, passa a ser insuficiente e/ou inviável para solucionar o problema. Desse modo, sistemas de transporte público eficazes se fazem essenciais para o desenvolvimento sustentável da cidade.

O metrô destaca-se como uma importante alternativa de transporte, tendo alta capacidade e podendo trazer contribuições positivas para o meio urbano, como a redução dos tempos de viagem, a operação com baixa emissão de gases estufa e a indução do desenvolvimento regional.

A Linha 5 - Lilás do metrô de São Paulo foi escolhida como objeto desse estudo por se encontrar atualmente em fase de expansão, permitindo um maior acesso à informações sobre a mesma. Esta linha possui ainda um papel especial na busca pela maior integração de regiões marginalizadas, tendo sido a primeira linha do metrô de São Paulo construída da periferia para o centro. Quando completa, sua expansão permitirá uma maior ligação entre bairros periféricos do sudoeste da cidade e as regiões centrais.

Dentro da Linha 5 – Lilás, a escolha da estação Moema se deu devido à ampla gama de desafios presentes na implantação desse projeto: trata-se de uma região bastante movimentada, à beira de uma importante via arterial da cidade, a Avenida Ibirapuera, com grande número de edificações no entorno e com a presença de uma igreja histórica a poucos metros da escavação.

Assim, esse estudo se justifica não só pela importância que o metrô representa para uma cidade como São Paulo, mas também pela complexidade dos aspectos técnicos de engenharia envolvidos na implantação do projeto.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para desenvolvimento deste trabalho baseou-se na realização de pesquisa bibliográfica, na análise de projetos e documentos fornecidos pelo Metrô, na entrevista de especialistas e funcionários do Metrô e em visitas de campo.

Foram fornecidos pelo Metrô os seguintes projetos referentes à estação Moema:

- Projeto Básico de Sondagens e Perfis Geológicos;
- Projeto Básico de Interferências;
- Projeto Básico de Remanejamento de Interferências;
- Projeto Básico Geométrico;
- Projeto Básico de Desvio de Tráfego;
- Projeto Básico de Sistema de Contenção;
- Projeto Básico de Drenagem;
- Projeto Básico de Impermeabilização.

Foi fornecido ainda o Esquema Unifilar da expansão da Linha 5 – Lilás.

A organização do estudo, as informações necessárias relativas a cada capítulo, e os métodos de sua aquisição estão detalhados a seguir.

Sistemas de Transporte Urbano

Neste capítulo inicial, busca-se fazer uma discussão teórica sobre os tipos de sistemas de transporte urbano, a importância da integração entre os diferentes modais de transporte e a definição do que é um sistema de metrô. Para isso, foi realizada pesquisa em livros e periódicos especializados.

Metrô de São Paulo – História e Perspectivas Futuras

Aqui se tem por objetivo fazer uma retrospectiva dos principais acontecimentos que marcaram a história do metrô de São Paulo e discutir a questão da expansão do sistema na cidade. Utilizou-se como fonte de pesquisa o site institucional do metrô e artigos publicados na mídia.

Caracterização da Região da Estação

Neste capítulo busca-se caracterizar o bairro de Moema, região de implantação da estação Moema, evidenciando seu papel no contexto urbano e aspectos socioeconômicos. Para tanto, valeu-se de informações existentes em publicações acadêmicas e no site oficial da subprefeitura da Vila Mariana, além de mapas e visitas ao local.

Estudos de Demanda

Este capítulo tem por objetivo a descrição do processo de elaboração dos estudos de demanda realizados pelo Metrô. Para isso, foram utilizados dados disponibilizados pelo Metrô de São Paulo e pesquisas em livros e publicações acadêmicas. Além disso, foi realizada uma entrevista com profissionais do Metrô responsáveis por esses estudos.

Traçado

Aqui se busca realizar uma descrição dos aspectos envolvidos e critérios utilizados pelo Metrô no planejamento e definição do traçado de uma nova linha de metrô. Para tal, foram utilizadas informações contidas em livros sobre o tema e entrevistas com profissionais do Metrô.

Métodos Construtivos

Nesse capítulo é realizada uma descrição dos métodos construtivos existentes para estações e túneis de metrô. Além disso, é feita uma análise das soluções escolhidas para o caso em estudo. Para isso foi realizada pesquisa em livros e periódicos especializados, consulta a especialistas e entrevistas com profissionais do Metrô.

Implantação da Obra

Neste capítulo é feita uma análise dos aspectos envolvidos na implantação do canteiro de obras da estação Moema, tais como desapropriações, demolições e eventuais desvios de tráfego. Foram utilizados livros, periódicos especializados, notícias da mídia, consulta a especialistas, visitas de campo e entrevistas com profissionais do Metrô.

Geotecnia e Dimensionamento do Sistema de Contenção

Nesses capítulos é feito um estudo de conceitos teóricos da engenharia geotécnica envolvidos no projeto de escavação e contenção, a caracterização da geologia da região do caso de estudo e o dimensionamento da parede diafragma para contenção da escavação. Utilizaram-se como materiais livros sobre o tema e consulta à especialistas no assunto.

Impactos e Licenciamento Ambiental

Conclui-se o trabalho com este capítulo contendo uma análise do processo de licenciamento ambiental do projeto e dos impactos ambientais envolvidos. Para isso, foi realizada pesquisa em livros sobre o tema e documentos do Metrô.

5 SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANOS

Os sistemas de transporte coletivo urbano podem ser classificados, segundo CMSP (1995), como:

- Baixa capacidade: sistemas que transportam até 15 mil passageiros/hora/sentido – sendo exemplificado principalmente pelos ônibus comuns;
- Média capacidade: sistemas capazes de transportar entre 15 mil e 30 mil passageiros/hora/sentido – exemplificado por corredores exclusivos de ônibus com veículos articulados;
- Alta capacidade: capazes de transportar acima de 30 mil passageiros/hora/sentido – exemplificado pelo caso dos metrô e dos trens urbanos.

A Figura 6 e a Figura 7 ilustram a comparação entre os principais meios de transporte urbanos, em termos, respectivamente, de ocupação de espaço e diferença de capacidades.

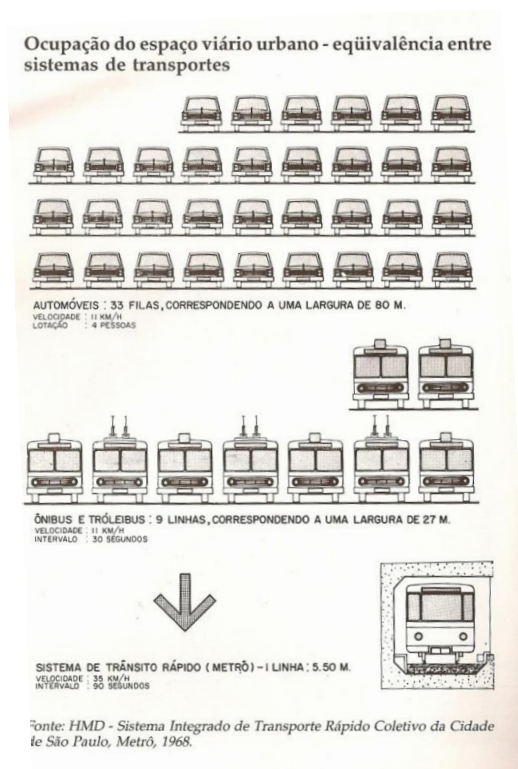


Figura 6 - Diferenças na ocupação de espaço físico entre modais (CMSP, 1995).

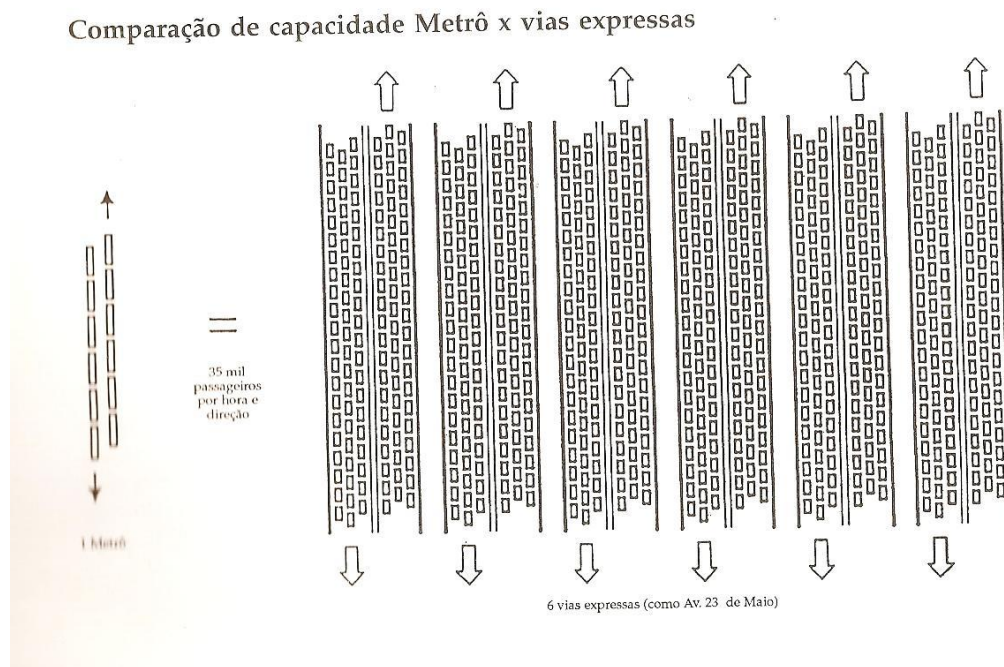


Figura 7 - Comparação entre capacidades do metrô e da via expressa (CMSP, 1995).

Como se pode observar, os sistemas de metrô ocupam menos de 7% do espaço horizontal ocupado por automóveis, e cerca de 20% do ocupado por ônibus. Em relação à capacidade, para um mesmo fluxo, uma linha de metrô chega a ter seis vezes a capacidade de uma via expressa. Estes dados demonstram as vantagens dos sistemas de metrô, tanto por sua maior capacidade, como pela menor ocupação do espaço urbano.

A definição do sistema de transporte depende de cada caso, da região urbana em que é inserida, da densidade populacional da cidade e seu crescimento, dos deslocamentos da população ao longo do dia, tipos de usuários, qualidade do serviço desejada, demandas, custo, acessibilidade, integração com outros meios de transporte, tarifas, entre outros (ALOUICHE, 2011).

Sistema de Metrô

Segundo Alouche (2011), o que define o meio de transporte “metrô” é sua caracterização como um sistema ferroviário de passageiros, que atua em rede urbana, com separação total de tráfego e de outros modos de transporte, e que possui unidades elétricas múltiplas que circulam com alta capacidade e frequência. Integrado a rede de transporte das cidades, a partir das estações, pode circular em meio subterrâneo, em elevado ou superfície, geralmente sobre trilhos ou rodas

pneumáticas, fazendo parte desta definição os monotrilhos assentados em estruturas ou que circulam com motores lineares.

De acordo com o autor, são cinco as características básicas que compõem a definição de metrô: via ou faixa exclusiva e segregada, veículos rigidamente guiados, energia propulsora elétrica, tipo de serviço de alta qualidade e alta capacidade de transporte. Estas características, que os diferenciam dos demais sistemas de transporte público, são detalhadas a seguir.

- Via ou faixa exclusiva e segregada:

Há um controle total do transporte, sem que haja interferências, a não ser através dos usuários. Por esse motivo, grande parte das vias é subterrânea.

- Veículos rigidamente guiados:

Trens circulam com segurança, sendo pré-estabelecidas aceleração e velocidade, sem que haja atuação do condutor, o qual é, muitas vezes, dispensado. Existem diversos tipos de transporte que utilizam veículos rigidamente guiados, podendo-se mencionar os bondes, os VLT (veículos leves sobre trilhos), os VLP (veículos leves sobre pneus), o metrô leve, o monotrilho e o metrô pesado.

- Energia propulsora elétrica:

A propulsão por energia elétrica faz com que o metrô não esteja atrelado ao uso de combustíveis fósseis, não contribuindo para a poluição e efeitos ambientais negativos consequentes da geração de gases estufa.

- Serviço de alta qualidade:

Transporte de alta segurança, confiabilidade, disponibilidade, rapidez de atendimento e conforto. O sistema é controlado por um centro operacional, o que permite controle total e absoluto do sistema.

- Alta capacidade de transporte:

Pelo fato de ser um sistema de faixas exclusivas e possuir veículos rigidamente guiados, é possível haver uma garantia de atendimento da demanda para o qual foi projetado, uma vez que está menos sujeito a problemas de condução e possui maior controle operacional.

Assim, de acordo com esses critérios pode-se considerar como metrô os seguintes tipos de transporte: metrô leve, monotrilho e metrô pesado.

O metrô leve pode ser considerado como um metrô de menor capacidade por atender menores demandas, de 25.000 a 45.000 passageiros por hora por sentido, circula geralmente em superfície, e possui veículos de gabarito reduzido, podendo circular em túneis de menor diâmetro, com cerca de quatro metros, e em elevados mais estreitos e leves.

O monotrilho também pode se enquadrar na categoria “leve”, uma vez que sua demanda é de cerca de 10.000 a 35.000 passageiros por hora por sentido, que circulam sobre rodas de pneus, apoiados ou suspensos em estruturas de concreto ou aço, normalmente em elevado.

Já o metrô pesado, que engloba o metrô urbano (circunscrito aos limites de uma municipalidade) e o metrô regional ou trem metropolitano (que circula por diferentes municípios dentro de uma região metropolitana), possui demandas de 60.000 a 80.000 pessoas por hora por sentido. O metrô urbano e o metrô regional diferenciam-se pela região de atuação, origem da demanda e perfil da demanda, o qual chega a ser relativamente homogêneo no caso do metrô urbano. Ainda neste caso, as estações, geralmente subterrâneas ou em elevado, são mais próximas (distanciadas de 500 a 2.000 metros), a rede é mais rigorosamente segregada, não permitindo interferências diretas com nenhum outro modo, e os intervalos de composições são menores, visando atender às altas demandas.

A Figura 8 resume as diferenças entre os tipos de metrô, e inclui também o VLT, por vezes denominado de “metrô de superfície”, mas que não pode ser considerado como metrô de acordo com os critérios anteriormente mencionados, uma vez que não apresenta via segregada nem controle operacional adequado.

Comparação de modais de transporte público						
Modal	Demanda	Via	Tecnologia	Custo	Vantagens	Desvantagens
VLT	15 a 30 mil passageiros/hora/sentido	Geralmente em superfície	Dominada e disponível no Brasil	20 a 30 milhões de US\$/km	Fácil inserção na cidade com menor custo; circula em centros históricos; utiliza pouco espaço público se comparada a BRT; limpo e ecológico; acessibilidade perfeita; segurança na evacuação em caso de acidentes; manutenção fácil; implantação induz à renovação urbana	Velocidade comercial reduzida em função da interferência nos cruzamentos; não opera sem condutor
Metrô leve	25 a 45 mil passageiros/hora/sentido	Superfície, elevado e subterrâneo	Dominada e disponível no Brasil	30 a 40 milhões de US\$/km	Velocidade comercial (28 a 40km/h); todas as vantagens de um metrô, mas com menor capacidade: regularidade, confiabilidade, rapidez, conforto, etc; pode operar sem condutor e atingir <i>headways</i> < 90 seg	Altos custos de infraestruturas; segregação total da via em superfície, em elevado ou em subterrâneo; manutenção igual à de um metrô pesado
Monotrilho	10 a 35 mil passageiros/hora/sentido (os existentes)	Geralmente em elevado	Não dominado e ainda não disponível no Brasil	40 a 100 milhões de US\$/km	Velocidade comercial (28 a 40 km/h); implantação relativamente rápida; não necessita de vias largas; pode operar sem condutor; <i>headways</i> < 90 seg	O elevado pode causar poluição visual; evacuação difícil em caso de acidentes; aparelhos de mudança de via complexos e caros; manutenção cara e sofisticada
Metrô pesado	60 a 80 mil passageiros/hora/sentido	Superfície, elevado e subterrâneo	Dominada e disponível no Brasil	Acima de 100 milhões de US\$/km	Velocidade comercial (30 a 40 km/h); implantação relativamente lenta; pode operar sem condutor; <i>headways</i> < 90 seg	Considerando a necessidade de vias em túneis, estações grandes em função da demanda, tem custo elevado

Figura 8 - Quadro comparativo entre tipos de transporte (ALOUICHE, 2011).

6 METRÔ DE SÃO PAULO – HISTÓRIA E PERSPECTIVAS FUTURAS

6.1 Histórico

Apresenta-se aqui um breve histórico do sistema de metrô da cidade de São Paulo (METRÔ, 2012):

- 1927-1966: o primeiro projeto de um sistema integrado de transporte metropolitano é apresentado à Prefeitura de São Paulo em 1927, mas não é levado adiante. Desde então, diversas tentativas de se implantar um sistema de metrô são feitas, sem sucesso, em geral devido à falta de recursos.
- 1966: favorecido por uma reforma fiscal que amplia os recursos municipais, o prefeito José Vicente Faria Lima cria o Grupo Executivo do Metropolitano (GEM), antecessor da Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô). É aberta a concorrência para a construção do novo meio de transporte, e o órgão recebe vários projetos de empresas nacionais e estrangeiras interessadas em realizar a obra.
- 1967: a prefeitura assina o contrato para a elaboração dos estudos econômicos e do pré-projeto de engenharia com o consórcio vencedor da concorrência: o HMD, formado pelas empresas alemãs Hochtief e Deconsult e pela brasileira Montreal.
- 1968: em 24 de abril é fundada a Companhia do Metropolitano de São Paulo. Alguns meses depois, teriam início as obras de instalação do metrô paulistano. Em 14 de dezembro começam as obras da Linha Norte-Sul, atualmente chamada Linha 1-Azul.
- 1974: início das operações comerciais no trecho Jabaquara-Vila Mariana da Linha 1-Azul.
- 1975: em 1º de março é iniciada a construção da Linha Leste-Oeste, atualmente denominada Linha 3-Vermelha.
- 1979: trecho Sé-Brás da Linha 3-Vermelha entra em operação comercial em 10 de março.

- 1991: em 25 de janeiro tem início a operação comercial no trecho Paraíso-Consolação da Linha 2-Verde.
- 1998: começa a construção da Linha 5-Lilás, realizada pela Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM).
- 2002: em fevereiro, após a assinatura de convênio com a CPTM, o Metrô passa a se responsabilizar pela operação e manutenção da Linha 5-Lilás. A nova linha é inaugurada em outubro, com 8,4 quilômetros de extensão.
- 2004: começa as obras da Linha 4-Amarela (Linha Sudeste-Sudoeste).
- 2010: inicia a operação comercial em trecho da Linha 4-Amarela.
- 2012: obras de expansão das Linhas 2-Verde, 4-Amarela e 5-Lilás em andamento.

6.2 Planos de expansão

A expansão do sistema metroviário, por necessitar de grandes investimentos e ter impactos significativos na vida da população, costuma ser uma tarefa complexa e intrinsecamente ligada à questões de cunho político.

Nos últimos doze anos, o Metrô e o governo de São Paulo elaboraram diversos planos de expansão da rede, mas o ritmo de construção ficou muito abaixo do planejado. Cada novo projeto que é proposto costuma trazer alterações no traçado das linhas do plano anunciado anteriormente. Entretanto, durante esse período, foram inaugurados apenas alguns trechos das linhas 5 - Lilás, 4 - Amarela e 2 - Verde.

Dentre os diversos planos de expansão dos transportes públicos em São Paulo, pode-se destacar o Plano Integrado de Transportes Urbanos 2020 (PITU 2020), publicado pela Secretaria dos Transportes Metropolitanos do Estado de São Paulo em 1999. Mais tarde, diversos outros planos foram feitos tomando-o como base. Em 2006, o próprio Pitu foi revisto, gerando o Pitu 2025.

Assim, percebe-se um problema do não cumprimento e reformulação sucessiva dos planos, causada em grande parte pela descontinuidade de políticas públicas e da falta de prioridade dada ao Metrô, e que fazem com que os planos mudem mais rapidamente do que as linhas são construídas.

A Figura 9 mostra a rede metroviária esperada em 2014. A Figura 10 mostra a rede planejada para o ano de 2030.

Atualmente, a expansão total da rede metroviária para o período 2011/2014 prevê 30,7 km de linhas e 27 novas estações e, para o período 2012/2015, são previstos investimentos de R\$ 29,9 bilhões. No momento, de acordo com o Relatório de Administração do Metrô 2011 (CMSP, 2011) estão sendo executadas as obras de expansão em três linhas:

- Linha 2 - Verde: monotrilho de Vila Prudente a Cidade Tiradentes;
- Linha 4 - Amarela: segunda fase de implantação (acabamento e a inauguração das estações intermediárias: Fradique Coutinho, Oscar Freire e Higienópolis-Mackenzie; construção e inauguração de duas estações: São Paulo-Morumbi e Vila Sônia);
- Linha 5 - Lilás: expansão do Largo Treze até Chácara Klabin.

Estão em projeto ainda a criação das seguintes linhas:

- Linha 6 - Laranja: inicialmente ligação entre estação São Joaquim e Brasilândia e, em seguida, até Pirituba e Jardim Anália Franco;
- Linha 15 - Branca: ligação entre a Vila Prudente e a Dutra, na divisa com o município de Guarulhos;
- Linha 18 - Bronze: primeira rede metroviária intermunicipal, monotrilho integrando a Região Sudeste da Região Metropolitana de São Paulo (ABC) com a rede de Metrô;
- Linha 17 - Ouro: ligação do aeroporto de Congonhas à rede metro-ferroviária, por meio do sistema monotrilho (ligação Jabaquara-Congonhas-Morumbi).

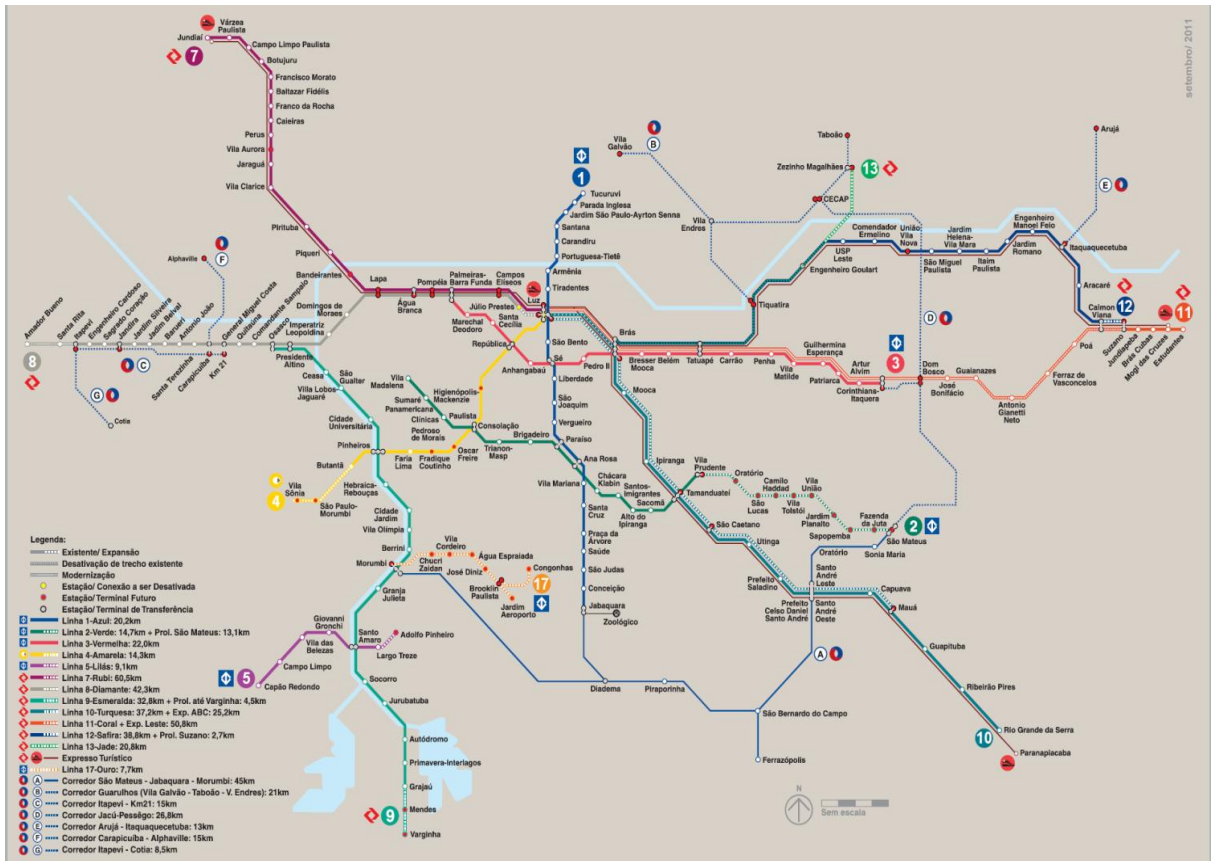


Figura 9 - Rede metroferroviária esperada em 2014 (CMSP, 2010).

margens do Rio Pinheiros, até o início do século XIX. A região de Moema ligava o centro da cidade de São Paulo com a então vila de Santo Amaro através dos caminhos dos carros de boi. Naquela época o território da atual Moema era parte do chamado “Sítio da Traição” (O BAIRRO..., 2003).

A ferrovia e o surgimento do bairro

Em 1882, imigrantes ingleses e alemães foram contratados como operários para trabalhar na construção de uma estrada de ferro de trem a vapor que passaria pela região e passaram a fazer parte do povoado do Sítio da Traição. Por volta de 1886 é inaugurada a estrada de ferro da Companhia de Carris de Ferro de São Paulo, antiga companhia de estradas de ferro da região. Por se tratar de uma estrada de ferro suburbana, com paradas com considerável distância umas das outras e tendo seu leito isolado por alambrados, a chamada *Trainway* de Santo Amaro não possuía o mesmo traçado linear como as linhas de bondes da cidade. Devido a esse traçado não linear, deu-se a formação de vários núcleos urbanos em torno dos pontos de parada.

Os bondes elétricos e a urbanização

Em 1913, a empresa de origem canadense *Light and Power Company*, substituiu o trem a vapor pelos bondes elétricos. O bonde percorria um trajeto diferente do trem. O percurso do bonde propiciou o loteamento de chácaras e sítios, ocorrendo assim uma rápida urbanização ao longo de seu percurso. Diversas estações foram construídas, tais como a estação Pavão, Vila Helena, e a estação Moema. A Companhia Territorial Paulista (CTP) em 1915 começou a demarcação e o loteamento da região que, futuramente, receberia o nome de Indianópolis e, mais tarde, Moema.

As fábricas e os novos moradores

O expressivo aumento demográfico da cidade de São Paulo deveu-se, em grande parte ao desenvolvimento industrial e à imigração. Moema fez parte desse processo. Várias fábricas se instalaram no bairro nesta década de 30, devido à crise mundial de 1929 que beneficiara o Brasil com a exportação de café. Este fato alavancou o progresso do bairro, cuja principal atividade, nessa época, era a produção industrial. Entre 1920 e 1940, a região foi uma das que apresentou maior crescimento populacional na cidade. Em 1933, construiu-se uma praça e a igreja de Nossa

Senhora Aparecida, constituindo-se o “Largo de Moema”. A Figura 12 mostra a igreja e parte da praça atualmente.



Figura 12 - Igreja Nossa Senhora Aparecida em Moema.

O aeroporto de Congonhas e as grandes avenidas

O Aeroporto de Congonhas, inaugurado em abril de 1936, deu impulso ao rápido desenvolvimento do bairro. Congonhas foi construído com a intenção de prover São Paulo com um aeroporto que não estivesse sujeito às enchentes do rio Tietê, como ocorria no Campo de Marte. Apesar de o aeroporto não pertencer propriamente ao bairro de Moema, sua influência foi bastante relevante dada à proximidade. Na década de 40, Moema passou por grandes transformações em decorrência da construção da Estrada de Santo Amaro, atual avenida Rubem Berta. Na administração Ademar de Barros, em 1957, foi aprovado o plano de abertura da avenida 23 de Maio, via expressa que permitiu a ligação com o Aeroporto através do Ibirapuera e Moema, em conexão com a avenida Rubem Berta.

O parque Ibirapuera e os primeiros prédios

No dia 21 de agosto de 1954 foi inaugurado e entregue à população o Parque do Ibirapuera, que se transformou em patrimônio da cidade de São Paulo e em um dos responsáveis pela alta qualidade de vida dos moradores de Moema. A partir dessa época, o bairro de ocupação predominantemente industrial passou a ser ocupado por edifícios residenciais e pelo comércio, o que prossegue até os dias de hoje. Entre os anos de 1971 e 1972, mudanças na legislação implicaram em modificações na lei de zoneamento, o que favoreceu a construção de prédios residenciais e comerciais.

O shopping Ibirapuera e o novo perfil do bairro

A partir da década de 1970, com a construção do Shopping do Ibirapuera, a região passou por uma transformação, tornando-se predominantemente residencial, de alto padrão, e os terrenos, já escassos, começaram a dar lugar à construção cada vez mais acelerada de edifícios de apartamentos. Além disso, estabelecimentos do setor primário cederam lugar aos do setor terciário. O bairro é hoje autossuficiente, contando com infraestrutura de comércio, rede bancária, lazer, saúde e entretenimento. Moema, com aproximadamente 80 mil habitantes, possui características que atraem comerciantes e clientes de vários lugares.

7.2 Caracterização atual do Bairro

Atualmente, o Bairro de Moema é administrado pela subprefeitura da Vila Mariana, composta também pelos bairros Saúde e Vila Mariana. Trata-se de uma região que possui uma alta renda média, em torno de R\$ 3,6 mil mensais, bem acima do índice do município, de cerca de R\$ 1,3 mil. Os dados sobre educação em Moema evidenciam seu desenvolvimento. Quase 80% dos moradores completaram o Ensino Fundamental, contra 49,9% do município. O Ensino Médio foi concluído por 71,34% da população, bem superior aos 33,68% da média municipal, e os anos de estudo chegam a 12,3.

Moema tem uma área em torno de nove km², e em 2010 possuía uma população de 83.368 habitantes, o que resulta em uma densidade demográfica de 9.263 hab/km² (PORTAL DA PREFEITURA DO CIDADE DE SÃO PAULO, 2012).

O bairro de Moema tem sua política de Uso e Ocupação do Solo segundo apresentado no mapa da Figura 13. Pode-se notar que em maior parte do território o

bairro de Moema se encontra em Zona Mista de Alta densidade e em Zona Centralidade Polar de Alta densidade, o que mostra a diversificação do bairro e seu grande número de habitantes.

O mapa da Figura 14 indica a rede estrutural de transporte público da subprefeitura da Vila Mariana, onde são mostradas as malhas viárias de transportes públicos existentes e também a malha prevista. Nota-se que a expansão da Linha 5 - Lilás do metrô estava prevista para término em 2012, o que não foi constatado na realidade.

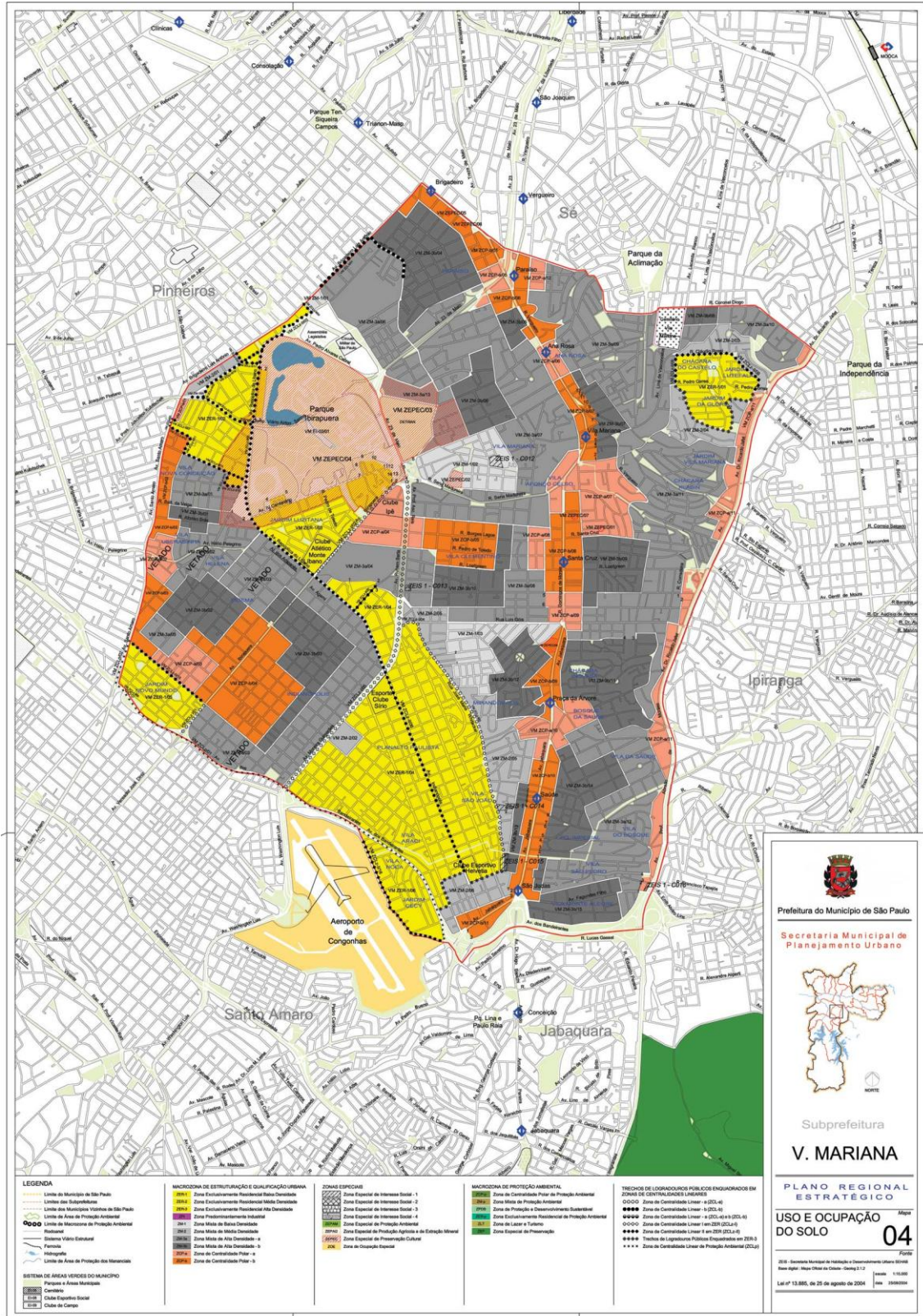


Figura 13 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo de Moema (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2012).

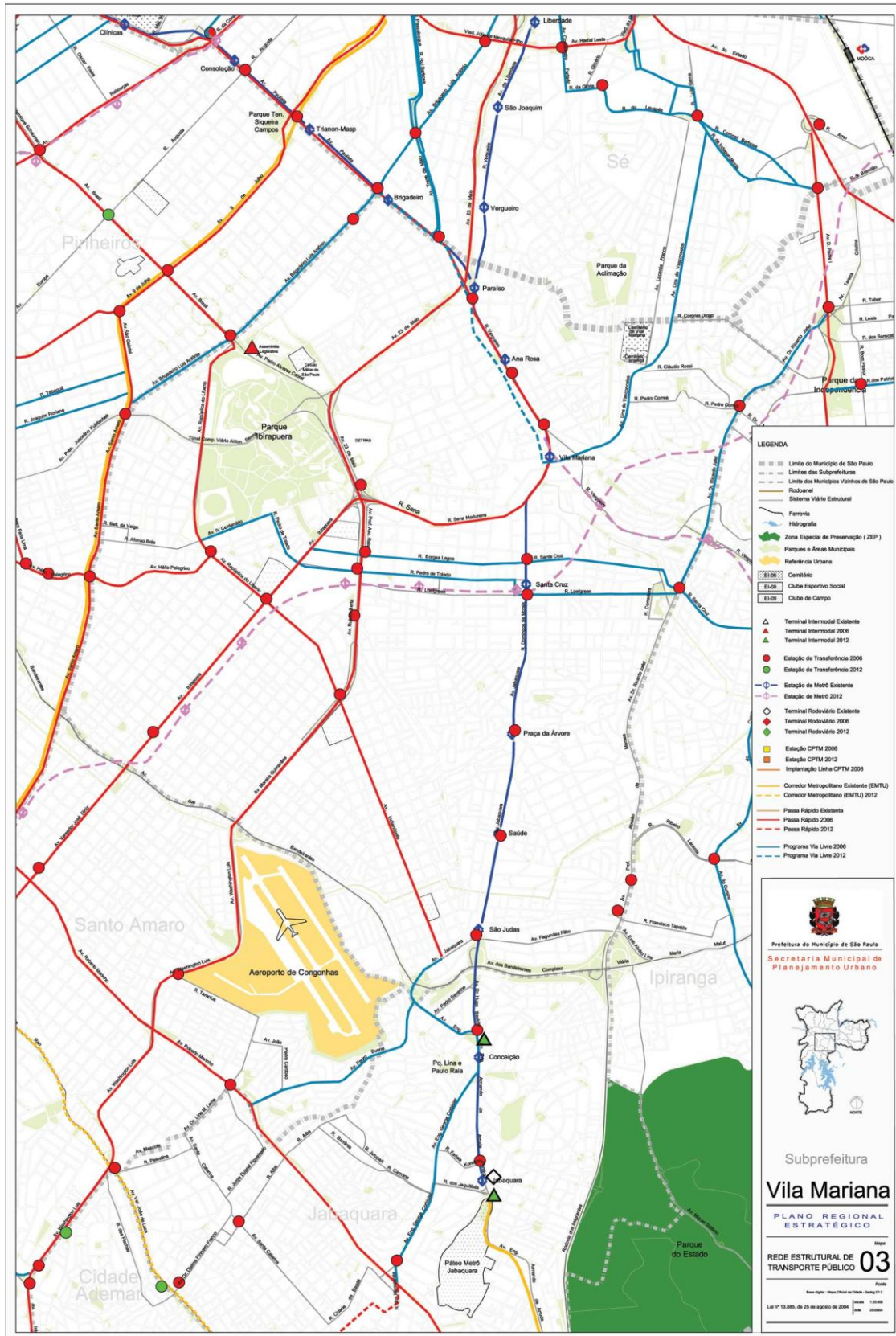


Figura 14 - Rede estrutural de transporte público da Subprefeitura de V. Mariana (PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2012).

8 ESTUDOS DE DEMANDA

A instalação de uma linha de metrô ou a expansão de uma linha já existente é sempre feita com base em um estudo de demanda por transporte. A passagem de uma linha de metrô por uma determinada região muda a forma como as pessoas transitam por esse local, uma vez que uma parcela das pessoas, que antes utilizava um dos outros modais de transporte disponíveis, passa agora a utilizar o metrô. Assim, um estudo de demanda tem por objetivo prever o número de passageiros que serão atraídos para uma nova linha e o impacto que essa linha causará na demanda da rede como um todo, nos anos posteriores a sua implantação.

“Para o planejamento das novas linhas [de metrô] é de vital importância o acompanhamento sistemático, pelo Metrô-SP, das transformações da cidade. Não só acompanhamento, mas também a interpretação dessas mudanças” (TUPINAMBÁ, 2007). Este acompanhamento se dá por meio de pesquisas atuais e projeções de dados socioeconômicos, de condições de uso do solo e do processo de desenvolvimento das sub-regiões.

Assim, o estudo de demanda realizado pelo Metrô de São Paulo inicia-se com uma etapa preliminar de obtenção de dados, que são utilizados para elaborar e alimentar os modelos de previsão. Nessa etapa, utilizam-se dados obtidos junto à empresas de transporte e tráfego da RMSP, à Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) e ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além disso, são utilizados também dados oriundos da Pesquisa Origem-Destino, realizada pelo próprio Metrô. Somando-se a esses dados o projeto preliminar das novas linhas (projeto funcional), é possível construir um modelo de previsão de demanda futura.

8.1 Pesquisa Origem-Destino (O/D)

De acordo com CMSP (1990): “A pesquisa Origem e Destino constitui-se em elemento central das atividades de planejamento de transporte e objetiva a identificação das características dos deslocamentos usuais da população”. Assim, a pesquisa O/D tem como função principal fornecer dados para o conhecimento e caracterização da natureza dos deslocamentos diários da população do local de estudo, incluindo sua situação socioeconômica. Consiste basicamente de questionários aplicados a uma determinada amostra de população de certa região.

Com a pesquisa, consegue-se ter as características da população residente na Região Metropolitana de São Paulo e das viagens realizadas em um dia útil, além de informações de pessoas que apenas passam por esta região.

Os principais conceitos utilizados na Pesquisa Origem-Destino realizada no ano de 2007 são apresentados a seguir (METRÔ, 2012):

- Sub-região: divisão político-administrativa da RMSP adotada pela Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos;
- Viagem: deslocamento de uma pessoa entre dois pontos (origem e destino) determinados por um motivo específico, utilizando um ou mais modos de transporte;
- Zona de pesquisa ou zona de tráfego: zona para o levantamento da origem e destino das viagens. É a menor unidade territorial básica para a qual está garantida a validade estatística das informações levantadas;
- Índice de mobilidade: fixada uma área, é a relação entre o número de viagens e o número de habitantes dessa;
- Modo coletivo: metrô, trem, ônibus, transporte fretado, transporte escolar e lotação;
- Modo individual: dirigindo automóvel, passageiro de automóvel, táxi, motocicleta e outros.
- Viagem a pé, sendo considerada quando:
 - Motivo da viagem realizada a pé da origem ao destino é trabalho ou escola, independentemente da distância percorrida;
 - Distância percorrida é superior a 500 metros, para os demais motivos.
- Modo principal: modo de maior hierarquia dentre os utilizados na mesma viagem. Podem ser, por ordem hierárquica decrescente: metrô; trem; ônibus; transporte fretado; transporte escolar; táxi; dirigindo automóvel; passageiro de automóvel; motocicleta; bicicleta; outros, e a pé. Por exemplo, de acordo com este conceito, o modo principal de uma viagem realizada por ônibus e metrô é considerado o metrô;
- Modo motorizado: somatória das viagens por modos coletivo e individual;

- Modo não-motorizado: somatória das viagens a pé e por bicicleta;
- Divisão modal: porcentagem das viagens motorizadas entre os modos coletivo e individual;
- Taxa de motorização: quantidade de automóveis particulares por mil habitantes.

O questionário da pesquisa deve conter perguntas que mostram a características da viagem e sua situação socioeconômica, como, por exemplo:

- Identificação da pessoa que realizou a viagem e sua unidade domiciliar;
- Identificação da viagem realizada;
- Horário e duração;
- Motivos na origem e no destino;
- Modo (a pé, ônibus, trem, etc);
- Número de famílias que habitam a unidade residencial;
- Números de carros por família;
- Renda de cada morador.

A pesquisa de origem-destino é realizada a cada dez anos, ou em um período um pouco inferior, dependendo das necessidades de atualização de dados devida ao dinamismo da RMSP. Na pesquisa O/D de 2007, que serve de base para este estudo, houve 460 zonas de pesquisa. Esse tipo de levantamento de dados é de difícil execução devido à complexidade da RMSP. Existe ainda o problema de que, por se tratar de entrevistas aleatórias, estas se tornam subjetivas por estarem sujeitas às viagens atípicas (METRÔ, 2012).

As Figura 15 e Figura 16 a seguir mostram algumas informações que podemos obter a partir da pesquisa O/D realizada.

Zona	Nome	Domicílios	Famílias	População	Matrículas Escolares	Empregos	Automóveis Particulares	Viagens Produzidas	Viagens Atraídas	Área Total (ha)
64	Moema	16.474	16.474	43.271	12.193	51.394	21.620	131.491	131.266	281
65	Bandeirantes	3.554	3.554	9.654	4.868	24.327	3.921	56.850	57.857	133
66	Vila Nova Cor	2.857	2.896	8.294	2.832	17.618	4.075	42.708	42.773	112
67	Chácara Itair	8.541	8.541	21.976	6.723	72.170	11.018	142.328	146.040	203
68	Vila Olímpia	2.703	2.703	6.880	2.252	23.481	2.709	47.941	46.049	90
69	Hélio Pelegrin	3.299	3.339	8.976	12.164	21.226	3.111	51.511	51.221	104
70	Brooklin	6.891	6.950	20.186	3.517	22.823	8.822	61.253	60.783	236
71	Vila Cordeiro	2.245	2.245	6.435	7.373	30.703	2.615	62.544	62.811	177
72	Berrini	1.982	2.009	5.489	571	67.334	1.827	102.781	105.449	201
73	Campinas	4.128	4.128	9.903	6.262	31.846	4.585	60.957	61.065	49
74	Pamplona	4.364	4.364	11.155	1.477	19.144	5.183	40.360	39.331	51

Figura 15 - Aspectos socioeconômicos da pesquisa O/D (METRÔ, 2012).

TABELA 7
REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO
EVOLUÇÃO DAS VIAGENS DIÁRIAS POR MODO PRINCIPAL
1967, 1977, 1987, 1997 e 2007



MODO	1967		1977		1987		1997		2007	
	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%
Coletivo	4.894	68,1	9.580	62,8	10.455	56,1	10.473	51,2	13.913	55,3
Individual	2.293	31,9	5.683	37,2	8.187	43,9	9.985	48,8	11.254	44,7
Motorizado	7.187	100,0	15.263	100,0	18.642	100,0	20.458	100,0	25.167	100,0
Bicicleta	-		71	1,2	108	1,0	162	1,5	304	2,4
A pé	-		5.970	98,8	10.650	99,0	10.812	98,5	12.623	97,6
Não-motorizado	0	0,0	6.041	100,0	10.758	100,0	10.974	100,0	12.927	100,0
TOTAL	7.187		21.304		29.400		31.432		38.094	

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1967/1977/1987/1997 e 2007

Figura 16 - Viagens diárias por modo de transporte (METRÔ, 2012).

É interessante notar que, apesar do crescimento no número absoluto de usuários de modos coletivos de transporte entre os anos de 1967 a 2007, que cresceu de 4,9 milhões para 13,9 milhões, o número percentual de usuários caiu de 68,1% para 55,3%, indicando um crescimento na parcela da população que utiliza modos de transporte individuais.

TABELA 11
REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO
VIAGENS DIÁRIAS POR MODO PRINCIPAL E SUB-REGIÃO
1997 e 2007



1997 (em milhares)

SUB-REGIÃO DE ORIGEM	VIAGENS POR MODO											Total
	Metrô	Trem	Ônibus*	Fretado	Escolar	Auto	Táxi	Moto	Bicicleta	A Pé	Outros	
Sudoeste	6	1	228	11	17	182	0	4	5	413	3	870
Oeste	37	108	598	54	46	823	1	15	20	1.024	11	2.737
Norte	10	48	111	7	6	92	2	2	8	277	2	565
Nordeste	40	5	425	46	18	508	3	3	21	815	10	1.894
Leste	32	59	274	25	13	474	1	10	38	723	8	1.657
Sudeste	40	106	846	156	67	1.425	5	13	16	1.402	18	4.094
Centro	1.533	322	4.772	162	244	6.134	91	99	54	6.158	46	19.615
TOTAL	1.698	649	7.254	461	411	9.638	103	146	162	10.812	98	31.432

2007 (em milhares)

SUB-REGIÃO DE ORIGEM	VIAGENS POR MODO											Total
	Metrô	Trem	Ônibus	Fretado	Escolar	Auto	Táxi	Moto	Bicicleta	A Pé	Outros	
Sudoeste	18	3	265	18	68	209	1	22	6	394	4	1.008
Oeste	61	134	780	59	169	727	1	78	28	1.084	7	3.128
Norte	26	52	138	8	43	119	-	10	3	316	2	717
Nordeste	62	1	588	53	74	504	3	31	29	750	5	2.100
Leste	44	80	365	39	57	479	4	47	49	960	4	2.128
Sudeste	68	110	1.169	170	155	1.755	3	140	42	1.875	7	5.494
Centro	1.944	435	5.729	167	761	6.588	79	393	147	7.244	32	23.519
TOTAL	2.223	815	9.034	514	1.327	10.381	91	721	304	12.623	61	38.094

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1997 e 2007

(*) Em 1997 inclui lotação.

Figura 17 - Viagens diárias por modo de transporte (METRÔ, 2012).

A partir da Figura 17, observa-se que, entre 1997 e 2007, houve um aumento no número absoluto de usuários de quase todos os modais de transporte, a exceção de taxi e outros. O metrô, por sua vez, registrou um aumento de 1,7 milhões de usuários para 2,2 milhões nesses dez anos, um crescimento de aproximadamente 30%.

8.2 Modelo de previsão de demanda

Para determinar a demanda ao longo da rede, o metrô utiliza o Modelo Quatro Etapas. É constituído por quatro etapas ou submodelos: Geração de viagens; Distribuição de viagens; Divisão modal; Alocação de viagens (HANSON; GIULIANO, 2004; MODELING..., 2011; STRAMBI, 2011).

Geração de viagens

A etapa de “Geração de viagens” trata da determinação da quantidade total de viagens produzidas e atraídas para cada zona de tráfego da cidade (subdivisões das zonas da pesquisa O/D). Esses valores são influenciados por variáveis socioeconômicas, pelas características de uso do solo e pelas características dos usuários. Para cada motivo de viagem (trabalho, escola...) é feita uma regressão linear múltipla, com base na ponderação das diferentes variáveis consideradas, obtendo-se assim a quantidade de viagens para aquele motivo. É o ponto de partida do modelo.

Distribuição de viagens

Esse submodelo se refere à origem e aos destinos das viagens. Nessa etapa é representada a interação entre duas zonas, isto é, o número de viagens produzidas/atraídas gerado para uma zona na etapa anterior é dividido entre as zonas de atração/zonas de produção a ela relacionadas. Para isso são utilizadas variáveis socioeconômicas, as características de uso do solo, informações obtidas na Pesquisa Origem-Destino e informações das redes de transporte existentes.

Para a modelagem da distribuição de viagens o Metrô utiliza o modelo gravitacional de distribuição. Nesse modelo, o número de viagens de um local i até j é considerado dependente do número de saídas de i , da atratividade de j e da dificuldade de se viajar de i para j , representada por uma função de custo generalizado. O produto final dessa fase é a matriz viagens geradas x produzidas.

Divisão modal

Nessa etapa, as viagens são alocadas entre os modos de transporte, individual ou coletivo. Assim, esse submodelo prevê o número de viagens, de cada origem para cada destino, que usará cada modo de transporte.

Os principais fatores que influenciam a escolha do modo a ser utilizado são: atributos do deslocamento (motivo da viagem, período (pico ou fora do pico), se o destino é ou não na região central, etc), atributos do usuário (posse de automóvel, renda familiar ou individual, nível cultural e estrutura familiar) e atributos do sistema de transporte (quantidade, conforto, custo, tempo, etc).

A escolha do modo de transporte a ser utilizado depende do custo generalizado atribuído ao modo em questão. Este inclui variáveis como tempo de viagem (no veículo em cada modo; andando; espera/buscando vaga para estacionar) e custos monetários (tarifas do transporte público; tarifas de estacionamento, incluindo pedágios). Assim, custo generalizado são todos os atributos percebidos pelo usuário (níveis não mensuráveis também podem ser incluídos) que são transformados em valor econômico, ou equivalente em tempo de viagem.

Alocação de viagens

Nesta fase são previstas quantas viagens que possuem a origem X e o destino Y , que usam o modo de transporte W , fazem uso de determinada rota. É nesse

submodelo que se faz o carregamento da rede de transportes, sendo necessárias informações como: matrizes de viagens por modo; descrição das redes de transporte (por modo ou única) e critérios de escolha de rota. Leva-se em consideração basicamente dois parâmetros: os tempos de deslocamento para cada caminho alternativo e a capacidade das rotas.

O Metrô utiliza o software canadense EMME (Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium) para essa etapa de alocação de viagens.

8.3 Calibrações do modelo e projeção final do carregamento da rede

Inicialmente, o Modelo Quatro Etapas é realizado considerando como dados de entrada a rede de transportes e as informações coletadas para o ano base, isto é, o ano atual no qual se realiza o estudo. Assim, o modelo fornece o carregamento da rede no ano base, de acordo com os parâmetros nele considerados. Estes parâmetros são então calibrados, de forma que o carregamento da rede gerado pelo modelo seja compatível com os valores realmente observados em medições atuais. O modelo é considerado calibrado quando a discrepância entre o carregamento gerado pelo modelo e o real medido é inferior a 20%.

Entretanto, o que interessa ao Metrô é o carregamento da rede não no ano base, mas em um ano horizonte (futuro). Para isso, após o modelo ter sido devidamente calibrado, os dados de entrada são projetados para o ano horizonte, obtendo-se como dados de saída do modelo a demanda futura na rede.

Assim, o produto resultante do estudo de demanda é a previsão de demanda para diferentes anos e cenários de oferta, que servirão de subsídio para diferentes atividades ligadas ao Metrô, conforme mostrado na Figura 18.

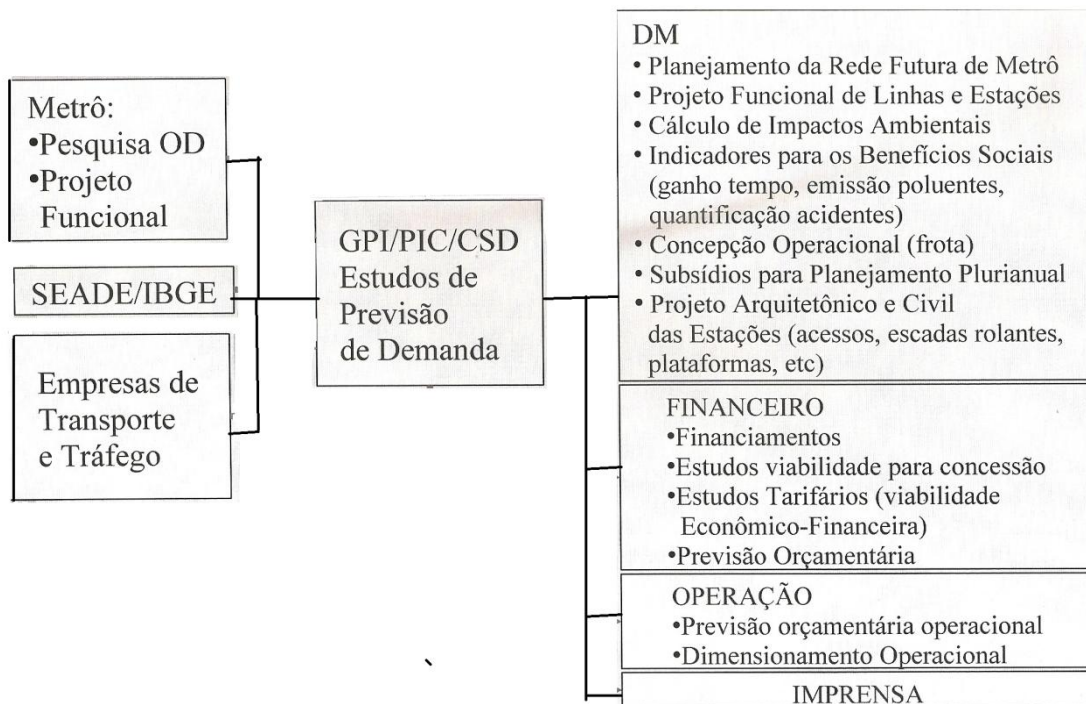


Figura 18 - Esquema do processo de estudo de demanda (EPIFANI, 2012).

A Figura 19 e Figura 20 mostram alguns resultados obtidos num estudo de demanda. A Figura 21 mostra as demandas projetadas para Linha 5 – Lilás no ano de 2015.

DEMANDA DE PASSAGEIROS POR LINHA - ANO: 2011

DEMANDA	Linha 1-Azul	Linha 2-Verde	Linha 3-Vermelha	Linha 5-Lilás	Rede
Total (Milhares)	291.204	121.409	335.713	63.332	811.657
Média dos dias úteis	982	428	1.119	213	2.742
Média dos Sábados	552	178	663	124	1.517
Média dos Domingos	307	96	379	63	845
Máxima Diária	1.094	537	1.261	262	3.148

Fonte: GOP/OPC/CTE

Figura 19 - Demanda de passageiros por linha em 2011 (METRÔ, 2012).

ENTRADA DE PASSAGEIROS POR ESTAÇÃO / MÉDIA DOS DIAS ÚTEIS - 2011

Linha 1-Azul		Linha 2-Verde		Linha 3-Vermelha		Linha 5-Lilás	
Estação	Entradas (1)	Estação	Entradas (1)	Estação	Entradas (1)	Estação	Entradas (1)
Jabaquara*	89	Vila Prudente	21	Corinthians-Itaquera*	95	Capão Redondo	59
Conceição	38	Tamanduateí	34	Artur Alvim*	71	Campo Limpo	26
São Judas	22	Sacomã	30	Patriarca	25	Vila das Belezas	8
Saúde	35	Alto do Ipiranga	17	Guilhermina-Esperança	25	Giovanni-Gronchi	18
Praça da Árvore	23	Santos-Imigrantes	15	Vila Matilde	30	Santo Amaro	66
Santa Cruz	63	Chácara Klabin	5	Penha	37	Largo Treze	36
Vila Mariana	30	Ana Rosa (3)	8	Carrão	49	-	-
Ana Rosa (2)	35	Paraíso (3)	8	Tatuapé	70	-	-
Paraíso (2)	32	Brigadeiro	50	Belém	46	-	-
Vegueiro	28	Trianon-Masp	45	Bresser-Moóca	35	-	-
São Joaquim	44	Consolação*	116	Brás*	112	-	-
Liberdade	28	Clínicas	33	Pedro II	26	-	-
Sé (2)	36	Santuário N.S De Fátima-Sumaré	14	Sé (4)	46	-	-
São Bento*	78	Vila Madalena	31	Anhangabaú*	89	-	-
Luz*	132	-	-	República*	85	-	-
Tiradentes	19	-	-	Santa Cecília	35	-	-
Armênia	31	-	-	Marechal-Deodoro	38	-	-
Portuguesa-Tietê	56	-	-	Palmeiras-Barra Funda*	205	-	-
Carandiru	14	-	-	-	-	-	-
Santana	60	-	-	-	-	-	-
Jardim São Paulo	14	-	-	-	-	-	-
Parada Inglesa	17	-	-	-	-	-	-
Tucuruví	60	-	-	-	-	-	-
TOTAL(5)	962	TOTAL	428	TOTAL	1119	TOTAL	213
						TOTAL GERAL	2742

Fonte: GOP/OPC/CTE

* Dez estações de maior movimento

(1) Dados das entradas em milhares.

(2) Quantidade de usuários que embarcam na Linha 1-Azul

(3) Quantidade de usuários que embarcam na Linha 2-Verde

(4) Quantidade de usuários que embarcam na Linha 3-Vermelha

(5) O total pode ser diferente da soma das partes devido ao arredondamento

Figura 20 - Entrada de passageiros por estação em 2011 (METRÔ, 2012).



LINHA 5 – LILÁS: CAPÃO REDONDO – CHÁCARA KLABIN
Estimativa de Demanda - Ano 2015 – Projeção a partir da O/D-2007
 com PPA-dez/11

ESTAÇÃO	HORA PICO MANHÃ						DIÁRIO
	C. REDONDO – CHÁCARA KLABIN			CHÁCARA KLABIN - C.REDONDO			
	EMB	DES.	CARR.	EMB	DES.	CARR.	
Capão Redondo	15.770	-	15.770	-	1.579	0	76.080
Campo Limpo	6.738	7	22.501	7	839	1.579	33.290
Vila das Belezas	2.914	5	25.410	217	504	2.411	15.960
Giovanni Gronchi	5.102	766	29.746	58	824	2.697	29.590
Santo Amaro	10.701	5.371	35.076	408	474	3.463	74.350
Largo Treze	6.273	1.531	39.817	94	4.293	3.529	53.460
Adolfo Pinheiro	5.142	2.965	41.994	25	1.925	7.728	44.100
Alto da Boa Vista	234	548	41.680	31	1.372	9.628	9.580
Borba Gato	426	2.004	40.102	18	2.203	10.970	20.390
Brooklin	1.021	3.171	37.952	629	1.255	13.155	26.640
Campo Belo	3.966	5.138	36.780	3.748	4.822	13.782	77.500
Eucaliptos	299	2.104	34.975	126	1.547	14.855	17.870
Moema	511	3.925	31.561	239	1.199	16.276	25.760
AACD-Servidor	188	1.182	30.568	83	3.544	17.236	21.910
Hospital São Paulo	221	2.170	28.619	125	2.024	20.696	19.910
Santa Cruz	4	19.041	9.582	11.847	14	22.594	135.520
Chácara Klabin	-	9.582	0	10.761	-	10.761	89.200
Total Sentido	59.511	59.511		28.417	28.417		
Total Geral							771.110

Rede de METRÔ Considerada:

Linha 1 - Azul: Tucuruvi - Jabaquara
 Linha 2 - Verde: Vila Madalena – Vila Prudente
 Linha 2 Prolong.: Vila Prudente – São Mateus
 Linha 3 - Vermelha: Palmeiras-Barra Funda – Corinthians-Itaquera
 Linha 4 - Amarela: Taboão da Serra - Luz
 Linha 5 - Lilás: Capão Redondo – Chácara Klabin
 Linha 17 - Ouro: Jabaquara – São Paulo-Morumbi e Ramal Congonhas - Brooklin Paulista
 Linha 18: Paço Municipal -Tamanduateí

Rede da CPTM Considerada:

Linha 7 - Rubi: Francisco Morato - Luz
 Linha 8 - Diamante: Itapevi – Julio Prestes
 Linha 9 - Esmeralda: Varginha – Osasco
 Linha 10 - Turquesa: Rio Grande da Serra – Brás
 Linha 10 – Turquesa - Expresso ABC: Mauá - Luz
 Linha 11 – Coral - Expresso: Suzano - Luz
 Linha 11 - Coral: Estudantes - Suzano
 Linha 12 - Safira: Suzano - Brás
 Linha 13 - Jade: CECAP – Eng. Goulart

Figura 21 - Projeção de demanda para 2015 na Linha 5 – Lilás (METRÔ, 2012).

9 TRAÇADO

9.1 Planejamento do traçado

O traçado de uma nova linha de metrô é definido a partir de um estudo que compreende duas fases principais (CMSP, 1995):

- Definição e Caracterização de Alternativas de Traçado;
- Análise e Seleção de Alternativas.

Essas duas fases são detalhadas na sequência.

Definição e Caracterização de Alternativas de Traçado

Na fase de Definição e Caracterização de Alternativas de Traçado, uma das diretrizes que o traçado toma como base são os eixos viários com alta demanda de viagens por transporte coletivo da rede viária existente. De um modo geral, tem-se como premissa básica a integração com as redes de metrô, ferrovias e ônibus já existentes ou planejadas, de modo a obter uma rede integrada de alta capacidade. O traçado deve aproximar subcentros urbanos importantes de modo a suprir as maiores demandas e com isso possibilitar melhores resultados na substituição de ônibus por metrô. É importante destacar que o traçado deve ultrapassar as barreiras físicas que dificultam a articulação entre áreas urbanizadas, tais como rios, morros, grandes corredores e leitos de ferrovias, assim como deve respeitar áreas a serem preservadas.

Ao se elaborar os estudos de traçado, deve-se definir o tipo de metrô e o método construtivo a ser adotado. Isso se deve ao fato de que, dependendo do método, pode haver restrições ou maior flexibilidade ao traçado em planta e perfil. É indispensável que, nesta fase, se tenham levantado as áreas potenciais para implantação de pátios de manutenção e estacionamentos de trens, e que cada alternativa contenha uma solução com relação a estes aspectos, que podem acabar por inviabilizar a implantação de uma determinada alternativa.

Análise e Seleção de Alternativas

Nesta fase, cada alternativa é avaliada quanto ao atendimento dos seguintes critérios de avaliação:

- Atendimento a demanda lindeira;

- Atendimento a demanda integrada;
- Impacto no uso e ocupação do solo e meio ambiente;
- Condicionantes físicos;
- Obras viárias complementares;
- Desapropriações e custos/benefícios.

Deste modo, descartam-se as alternativas que menos satisfazem os requisitos de projeto e volta-se a avaliar as alternativas selecionadas, comparando-as entre si, reutilizando os mesmos critérios anteriores de avaliação. Para facilitar esta análise comparativa, os estudos são geralmente aprofundados buscando desenvolver os seguintes aspectos:

- Estudo de reorganização e integração do transporte coletivo;
- Estimativa do carregamento da linha;
- Localização e dimensionamento de estações, terminais de integração, pátios e estacionamentos de trens;
- Detalhamento do traçado em planta e perfil;
- Estudo de acessibilidade;
- Estudo de impactos;
- Avaliação custo/benefício.

Como se trata de uma discussão multidisciplinar, um processo interativo de discussões é estabelecido, articulando as diversas áreas do Metrô e organismos externos envolvidos com o planejamento de transporte, nas quais são colhidos subsídios que enriquecem os estudos.

9.2 Detalhamento de Traçado

Tendo sido selecionadas as principais alternativas, é feito o detalhamento do traçado, que deve compreender os seguintes aspectos, de acordo com CMSP (1995):

- Sistema de transporte coletivo

Deve-se obter a consolidação e detalhamento dos dados de demanda e carregamento da linha. Analisa-se a reorganização do sistema de transportes e a integração do metrô com outros modais.

- Traçado da Linha e Sistema Viário

Desenha-se o traçado da linha em planta e perfil, seções típicas, adequações viárias, obras associadas e realizam-se estudos de acessibilidade.

- Estações e Terminais de Integração

Elabora-se o estudo de localização destes equipamentos com ajuda dos estudos técnicos e de tráfego, permitindo definir o layout dos terminais e a reurbanização e tratamento do entorno.

- Empreendimentos Associados e Operações Urbanas/ Interligadas

A construção de uma nova linha pode estar associada a uma operação urbana, o que envolve diversos aspectos urbanísticos e possibilidades de financiamento da linha.

9.3 Critérios de dimensionamento de linhas e estações

A construção e operação de um metrô exigem o estabelecimento de normas e especificações técnicas adequadas. O quadro da Figura 22 apresenta alguns dos critérios considerados e adotados no Brasil para o dimensionamento de trechos metroviários, visando o dimensionamento seguro e econômico da via. O quadro da Figura 23, por sua vez, apresenta os critérios operacionais de uma via metroviária, os quais asseguram conforto e segurança na operação do metrô com uma maior eficiência no serviço, ou seja, buscando o atendimento do maior número de passageiro em condições de serviço adequadas.

Critérios de dimensionamento de trechos metroviários
Bitola
Raio de curva de linhas, plataformas e vias secundárias
Entrevia (eixo a eixo) para trechos em elevado, nível e túnel
Comprimento da plataforma
Altura da plataforma
Rampa máxima da linha e estações
Concordância vertical (padrão e mínima)
Superelevação (regra geral, máxima em plataforma e mínima)
Rampas de superelevação (declive regular e máximo)
Curvas de transição
Gabarito dinâmico e folga limite do carro

Figura 22 - Relação de critérios de dimensionamento de trechos metroviários (HOCHTIEF; MONTREAL; DECONSULT, 1968).

Critérios operacionais da via metroviária
Densidade máxima de trens de acordo com o horário
Sequência mínima
Tempo de parada nas estações
Velocidades referida às linhas
Velocidades referente à operação (passagem pelas estações, circulação, manobras, em trechos sinalizados, trens de serviço/socorro)
Aceleração em nível
Desaceleração em nível
Aceleração em função da rampa
Desaceleração de frenagem em função da rampa
Aceleração e desaceleração máximas admissíveis em atenção ao conforto dos passageiros (exceto de emergência)

Figura 23 - Relação de critérios operacionais da via metroviária (HOCHTIEF; MONTREAL; DECONSULT, 1968).

10 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Obras de metrô são empreendimentos de grande porte, com linhas de grandes extensões que atravessam áreas de diferentes características. Existem diferentes métodos construtivos para execução de linhas e estações. Como critérios para escolha destes métodos devem ser considerados custos de implantação e manutenção, vida útil, segurança e impactos socioambientais.

Estações e linhas de metrô podem ser subterrâneas, em superfície ou em elevado. Neste trabalho, são apresentados os principais métodos utilizados para construção de estações e linhas subterrâneas, as quais são geralmente adotadas em regiões densamente ocupadas como a cidade de São Paulo. Nestas regiões, existem limitações como a necessidade de se minimizar as desapropriações, interrupções de tráfego e de preservar patrimônios históricos.

10.1 Escavação

Vala a céu aberto (VCA)

O método de Vala a Céu Aberto (VCA), Trincheira, ou *Cut and Cover*, utilizado para construção de túneis e estações, é comumente referido como método destrutivo (METRÔ, 2012) devido ao alto nível de interferência com a superfície. Assim sendo, é necessário dispor de terreno para abertura de valas de grandes dimensões. O método pode ser visualizado na Figura 24.



Figura 24 - Método Vala a céu aberto (VCA) (METRÔ, 2012).

Este método é preferencialmente empregado em locais onde existem menores interferências com o meio viário e com outros sistemas de infraestrutura e suporte urbano, como adutoras e troncos coletores, redes de telefonia e dados, ou quando houver possibilidade de seu desvio temporário sem causar grandes perturbações no meio urbano (PICCOLI, 2011).

As condições geotécnicas e geológicas não são fatores limitantes, possibilitando sua utilização em situações diversas (ALMEIDA; GIACOBBE; NUNES, 2011). Do mesmo modo, é possível utilizá-lo mesmo abaixo do nível freático, desde que se faça uso de rebaixamento de lençol freático ou outros tratamentos que impeçam a entrada de água na vala.

A abertura de grandes valas torna o método vantajoso do ponto de vista executivo, pela facilidade de movimentação de equipamentos dentro da escavação. O método também pode ser mais vantajoso do que outros quanto ao custo, principalmente se comparado às máquinas tuneladoras.

Por outro lado, desvantagens como a geração de ruídos, poluição e eventual necessidade de construção de barreiras, desvios e passarelas para transposição são consequências com as quais se deve lidar. Vale destacar que valas a céu aberto são normalmente empregadas em todas as obras de metrô, como, por exemplo, em aberturas para se dar partida em tuneladoras.

Em São Paulo, este método VCA foi empregado para execução da Linha 1-Azul.

Vala a céu aberto invertido

Esta variante do método de VCA é utilizado quando é necessário minimizar os impactos de superfície, em locais onde é difícil a criação de valas à céu aberto como no método convencional (PICCOLI, 2011).

Basicamente, o método consiste na execução de uma laje de cobertura anterior à escavação total da vala para que haja a liberação da superfície. É aberta uma vala de menor dimensão ou deixada uma abertura na laje apenas para entrada de equipamentos, que realizam a escavação por baixo da laje de cobertura. Essa característica, contudo, pode limitar a mobilidade de equipamentos, dificultando o

processo executivo se comparado ao método VCA original. A Figura 25 esquematiza a execução do método.

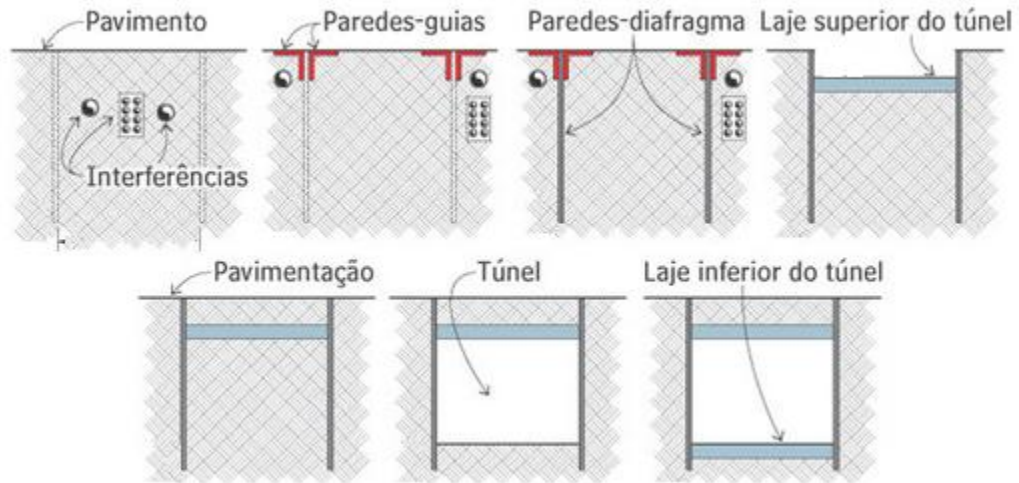


Figura 25 - Estação de metrô construída pelo método VCA invertido (Adaptado de MEDEIROS, 2011)

Em São Paulo, foi empregado pela primeira vez no trecho Paraíso-Brigadeiro da Linha 2-Verde, sob a Avenida 23 de Maio. Também foi adotado na Estação Chácara Klabin da Linha 2-Verde e para execução das estações Fradique Coutinho e Faria Lima, da Linha 4-Amarela, entre outras.

NATM

O método *New Austrian Tunnelling Method*, é empregado para construção de túneis e estações subterrâneas.

Segundo Chagas (2008), a metodologia NATM é baseada em alguns princípios. O primeiro está no uso da própria resistência do solo como principal componente de suporte da escavação. Assim, a capacidade de suporte do maciço é mobilizada para garantir a estabilização da escavação.

Outro princípio está na interação entre maciço e revestimento: os suportes utilizados devem ser flexíveis de modo a permitir a atuação do empuxo ativo resultante da deformação do solo, e a aplicação de concreto projetado logo após a escavação deve minimizar o relaxamento e deformações excessivas do maciço.

Outras características importantes deste método se referem ao constante controle de deformações ao longo da escavação e ao rápido fechamento do *invert*, elemento que atua como escora da escavação, e que pode ser visualizado na Figura 26.

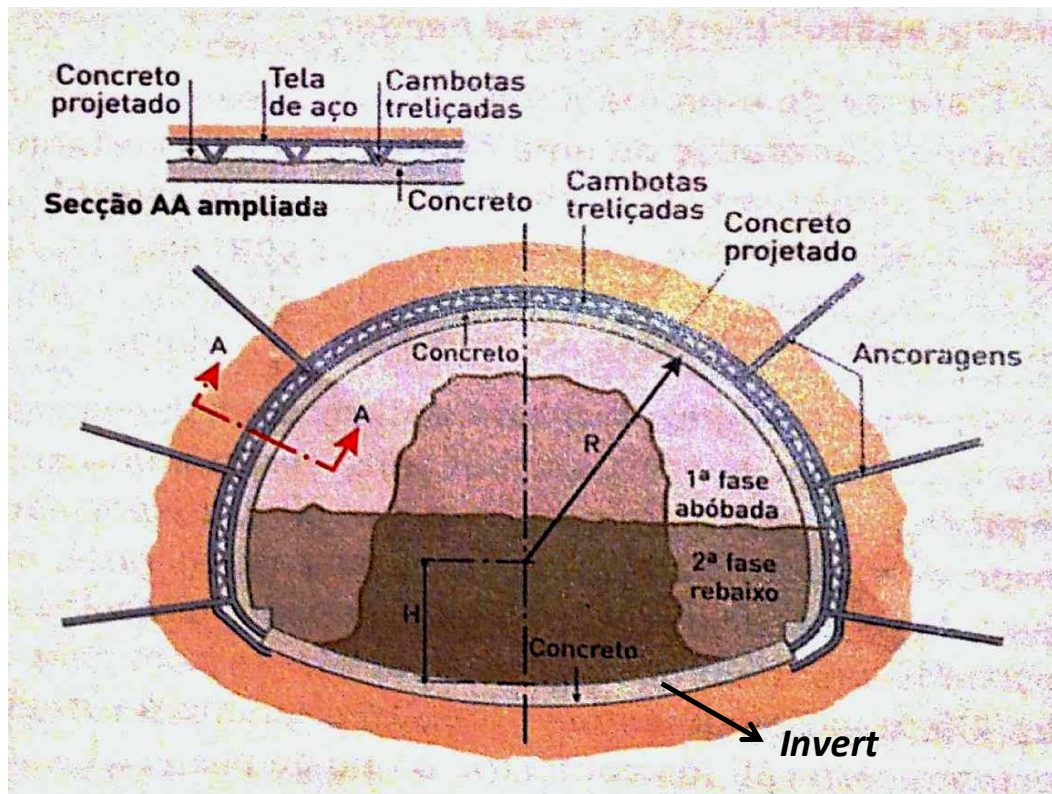


Figura 26 - Exemplo de seção de túnel executado em NATM, com *invert* em concreto (Adaptado de CHAGAS, 2008).

Desse modo, para utilização do método é desejável que o solo possua boas características de resistência e que não seja feito abaixo do nível d'água ou, caso contrário, há a necessidade de tratamento do solo ou de rebaixamento do lençol. O rebaixamento do nível d'água ou tratamento do solo pode ser feitos se as condições do entorno e o custo associado forem favoráveis.

Há ainda uma maior possibilidade de recalques durante a execução do revestimento ocasionados por vazios e pela concentração de tensões em alguns pontos resultante da transferência de carga entre materiais de diferentes resistências (HOCHTIEF; MONTREAL; DECONSULT, 1968). No caso de execução em níveis próximos à superfície, assim como em áreas onde há tráfego intenso, o NATM não é uma boa solução se a pouca cobertura do solo não for reforçada, como, por exemplo, com a utilização de sistemas auxiliares.

Possui a vantagem de poder parcializar e adaptar a seção da escavação em qualquer ponto de acordo com as necessidades geométricas e geotécnicas (METRÔ, 2012). Também possui a vantagem de não ocasionar interferência destrutiva da área de intervenção durante sua execução, reduzindo assim possíveis conflitos com sistemas de infraestrutura e suporte urbano (PICCOLI, 2011).

Sua sequência executiva baseia-se na escavação sequencial do maciço, utilizando concreto projetado como suporte e outros elementos estruturais como cambotas metálicas, chumbadores ou tirantes (METRÔ, 2012). A Figura 27 mostra a execução de um túnel por NATM.



Figura 27 - NATM utilizado para execução do túnel Higienópolis (MEDEIROS, 2011).

Estações como Alto do Ipiranga e Vila Prudente, ambas da Linha 2-Verde, utilizaram este método. Também são empregadas para execução de túneis, tais como os do trecho 2 (Estação Fradique Coutinho - VCA Vila Sônia) da Linha 4-Amarela.

Máquinas tuneladoras

Também conhecidas como *Shields* ou *TBM (Tunnel Boring Machine)*, possuem uma couraça metálica sob a qual se escavam e revestem os túneis (ALMEIDA;

GIACOBBE; NUNES, 2011). Após a escavação e ainda dentro da couraça é montado o revestimento que pode ser feito com estruturas pré-moldadas de concreto ou metálicas, ou pode-se fazer apenas a estabilização do solo com tratamentos específicos (CHAGAS, 2008). Há diversos tipos de *Shield*, sendo o projeto deste determinado pelo tipo de solo ou rocha a ser escavado. Alguns tipos estão representados na Figura 28 e na Figura 29.

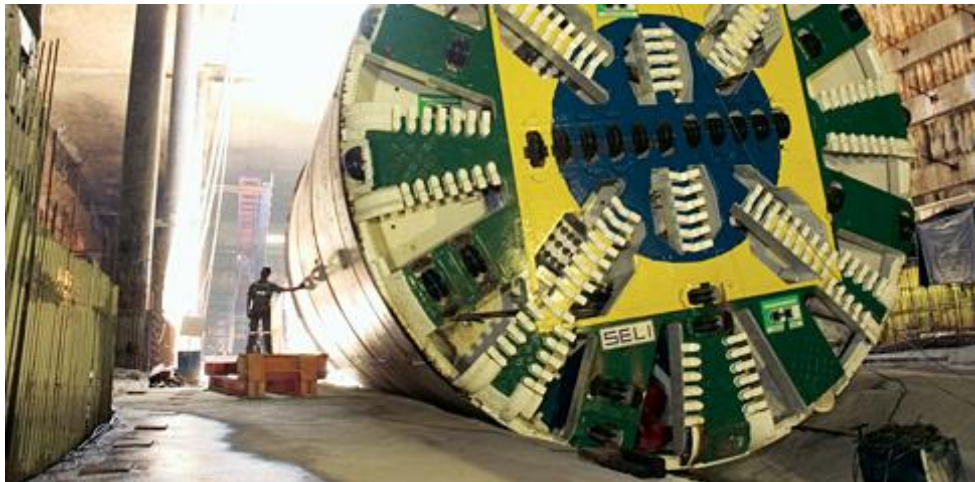


Figura 28 - Shield usado para execução da Linha 4 do metrô em São Paulo (BASTOS, 2012).

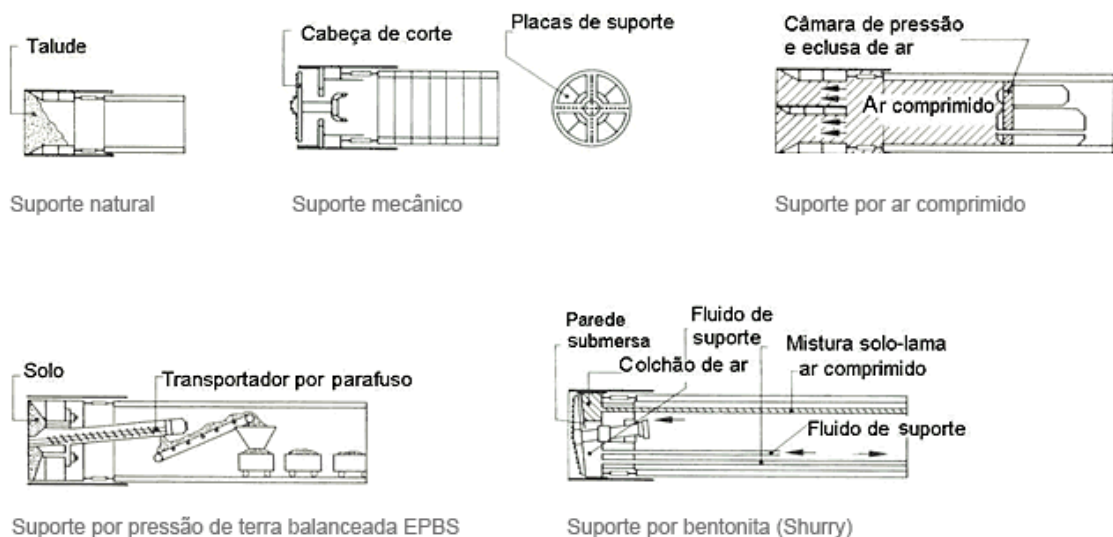


Figura 29 - Tipos de Shield (MEDEIROS, 2011).

O método gera pouca interferência na superfície, em edificações e em redes subterrâneas de utilidades públicas (CHAGAS, 2008).

Outras vantagens que podem ser decisivas na escolha do método são um maior controle e minimização de deformações, gerando menores recalques; maior precisão

no traçado; maior produtividade; elevadas condições de segurança. Também possibilita execução em situações de elevado nível d'água, a partir da utilização de técnicas como rebaixamento de lençol freático, tratamentos com ar comprimido ou lama bentonítica, ou ainda com uso de EPB (*Earth Pressure Balance*) (PICCOLI, 2011; ALMEIDA; GIACOBBE; NUNES, 2011).

Por ter alto investimento, o seu uso deve ser justificado por aspectos como a extensão da escavação, e pelas vantagens mencionadas (CHAGAS, 2008).

O Metrô de São Paulo foi pioneiro no Brasil na utilização de máquinas tuneladoras de grande diâmetro. Desde sua aplicação na construção da Linha 1-Azul na década de 70, o 'tatução' evoluiu para máquinas mais modernas com maior velocidade de escavação. As vantagens do método trazem sua priorização na construção de túneis de via (ROCHA; SILVA; NETO, 2011).

10.2 Contenções

Paredes de estacas justapostas tangentes moldadas in loco

Esse método consiste na execução de estacas de concreto tangenciando-se entre si. Esse sistema de contenção deve ser usado em solos com nível d'água baixo ou que possuem algum tipo de tratamento. Nos pontos de tangência entre as estacas, podem ocorrer problemas com solos menos consistentes ou em presença de água. A Figura 30 esquematiza uma parede de estacas justapostas tangentes.

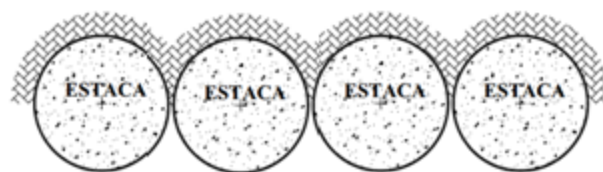


Figura 30 - Estacas justapostas tangentes (MEIRELES; MARTINS, 2006).

Paredes de estacas justapostas secantes de concreto moldado in loco

Esse sistema se assemelha ao das estacas justapostas moldadas in loco com a diferença de que nesses sistemas as estacas são secantes, e não mais tangentes. Neste caso, a escavação é feita com hélice contínua secante que permite maior estanqueidade, resultando em uma parede mais contínua, por destruir parte da

estaca já concretada (antes que o concreto atinja sua resistência) ao executar a estaca seguinte. Dessa forma, sua execução é feita de forma alternada, executando-se primeiro duas estacas primárias espaçadas e posteriormente a secundária entre as primárias já executadas, como mostra a Figura 31. A vantagem desse método é que este pode ser feito abaixo do nível freático sem necessidade de tratamento do solo.

Por outro lado, o método possui algumas desvantagens, como a baixa disponibilidade dos equipamentos de hélice contínua secante no mercado atualmente, e o fato destes possuírem um limite de profundidade para escavação. Quando as escavações forem muito profundas, também pode se ter dificuldade na colocação de armação, o que pode ser resolvido colocando-se perfis metálicos ao invés da armadura convencional.

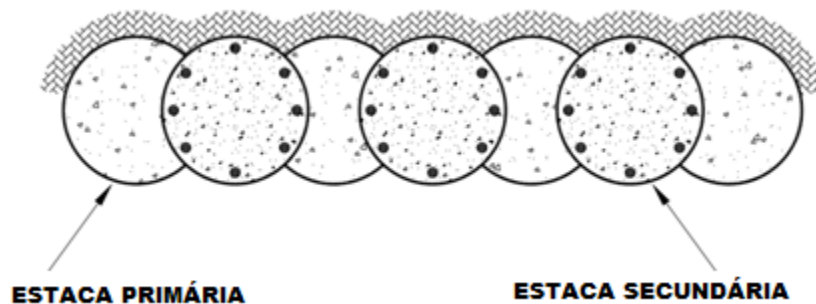


Figura 31 - Estacas justapostas secantes (MEIRELES; MARTINS, 2006).

Paredes diafragma

Paredes diafragma possuem grandes dimensões e formato retangular. Para sua execução, é utilizado um fluido estabilizante, sendo mais comumente empregada lama bentonítica. Essa lama atua como um estabilizador da escavação, pois possui a propriedade de equilibrar a pressão exercida pelo solo e pela água presente nele. O uso desse método possui a vantagem de causar menos vibrações e de provocar poucos ruídos, quando comparado à cravação de estacas e perfis. Além disso, ela pode ser executada abaixo do nível do lençol freático e assim como a maioria dos métodos executados in loco, possui a vantagem de ter sua espessura ajustada de acordo com a sua necessidade. A sua desvantagem consiste no seu preço mais elevado se comparado a outros métodos.

A Figura 32 indica a execução de um segmento de parede diafragma. A Figura 33 mostra detalhe dos segmentos.

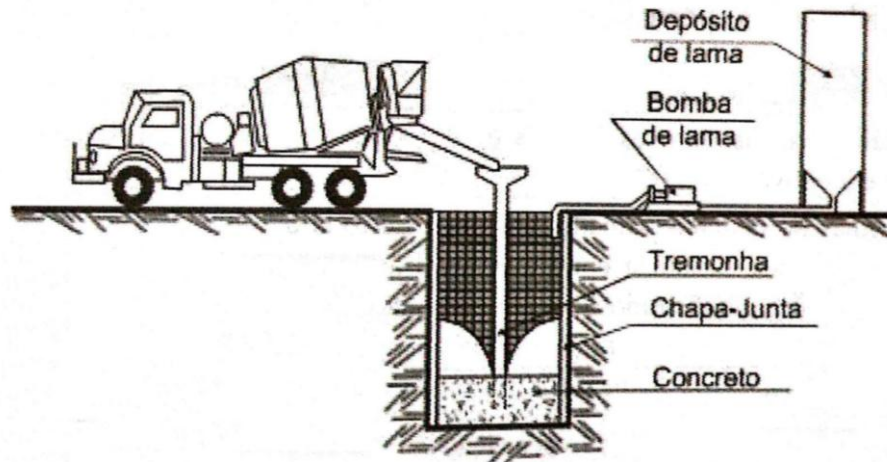


Figura 32 - Concretagem submersa de um segmento de parede diafragma (ABEF; 2004).

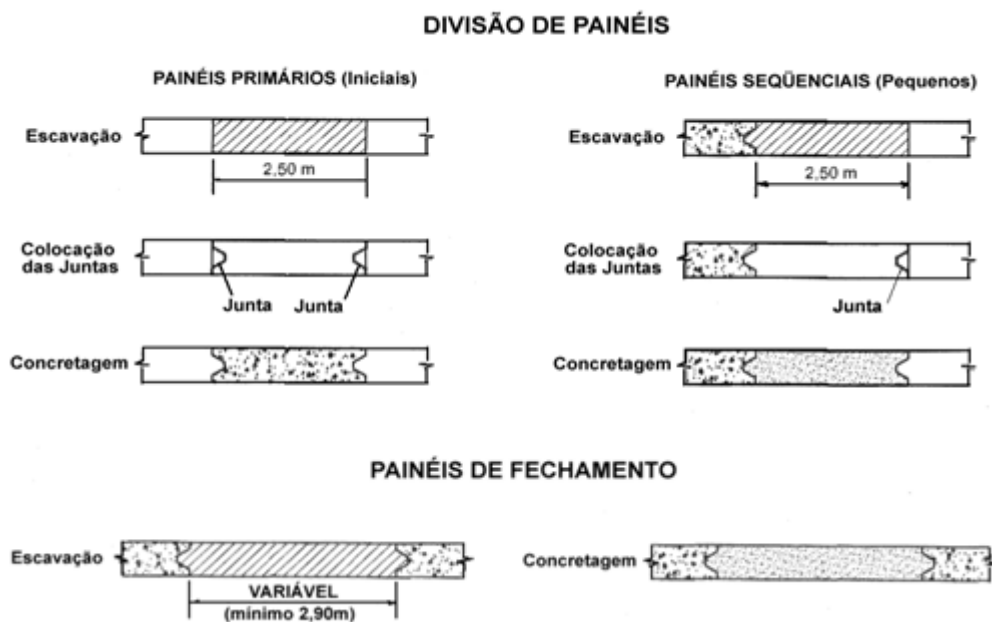


Figura 33 - Representação de segmentos de parede diafragma.

Paredes de estacas-prancha

As estacas-prancha geralmente são feitas pela perfilação de aço galvanizado à quente de diferentes espessuras que possuem um encaixe na sua extremidade formando uma parede contínua. Como desvantagens desse método têm-se a geração de ruídos e de vibrações durante sua cravação no solo, devido à utilização de equipamentos como bate-estacas; a infiltração de água durante a cravação se esta for executada em solos abaixo do nível d'água; problemas de infiltração de

água ou de solos menos consistentes nas suas juntas e a dificuldade de cravação em solos com SPT alto. A Figura 34 indica um tipo de seção transversal de estacas-prancha.

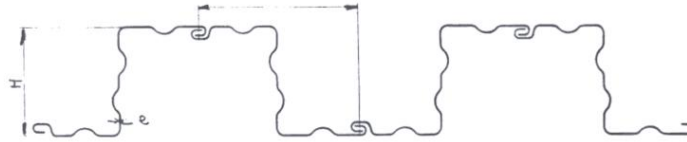


Figura 34 - Exemplo de seção transversal de estacas-prancha (CARDOSO, 2008).

Paredes de perfis com pranchões de concreto armado

Esse sistema consiste na cravação de perfis metálicos, espaçados, com pranchões de concreto encaixados nas abas dos perfis. Para a execução desse sistema de contenção é necessário que a escavação seja acima do nível do lençol freático ou que haja algum tipo de tratamento no solo ou controle do nível d'água. A Figura 35 mostra uma parede de contenção em perfis com pranchões de concreto.



Figura 35 - Parede de contenção em perfis metálicos com pranchões de concreto (PINI, 2012).

Estacas com arco de concreto projetado

Segundo Hachich *et al.* (1996), este tipo de contenção consiste na execução de estacas escavadas ou de estacas utilizando hélices contínuas, separadas por uma determinada distância com a projeção de concreto entre essas. O concreto é aplicado juntamente com uma tela, em forma de arco, tendo como objetivo transferir o empuxo da terra aos elementos adjacentes.

Esse tipo de contenção possui a vantagem de não causar vibrações, mas não deve ser realizado em solos com nível d'água alto sem que haja um devido tratamento do solo, pois o sistema não garante a estabilidade do terreno até a projeção do concreto. A limitação de se usar hélice contínua em lugar das estacas escavadas está no limite dos diâmetros disponíveis no mercado. A Figura 36 mostra uma parede de estacas com arco de concreto projetado.

Outra solução usada em solos de menores resistências são as colunas tipo CCP ou o *Jet Grouting* (JG), em substituição ao arco de concreto projetado. A diferença é que, neste método, a contenção entre as estacas escavadas é feita antes da execução destas, com o cuidado de não se deixar vazios entre as colunas e o solo para não haver um caminho preferencial da água.

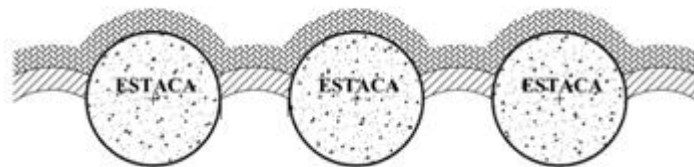


Figura 36 - Estacas com arco de concreto projetado (MEIRELES; MARTINS, 2006).

10.3 Escoramentos

As tecnologias de escoramento têm como objetivo auxiliar no equilíbrio estático de grandes escavações, permitindo o uso de sistemas de contenção com menores espessuras e menor consumo de aço, tornando-os mais econômicos (CARDOSO, 2008).

Tirantes

O funcionamento do tirante baseia-se na protensão de cabos de aço e no seu encunhamento contra o sistema de contenção, servindo como um apoio para que seja possível continuar a escavação até a cota desejada. A vantagem de se utilizar tirantes é que não há obstrução da área escavada, facilitando a execução dos serviços nessa área. Sua desvantagem está no seu elevado custo, se comparado a outros métodos, e na invasão de terrenos vizinhos. A Figura 39 mostra o processo executivo de tirantes.

Escoras metálicas

As escoras metálicas podem ser inclinadas ou horizontais. A desvantagem desse tipo de escoramento é que, em escavações com mais de 12 metros, torna necessária a criação de apoios intermediários e de fundações para seu apoio, além do fato de as escoras atrapalharem a movimentação de equipamentos e execução de serviços dentro da escavação. O uso de escoras pode ser visualizado na Figura 24.

10.4 Métodos construtivos utilizados no Caso da Estação Moema

Justificativa

Por se tratar de uma estação construída abaixo de uma importante via arterial da cidade de São Paulo, a Avenida Ibirapuera, o método para execução da escavação deve gerar o menor impacto possível na superfície, evitando sua desmobilização ou reduzindo ao máximo o tempo desta, além de tentar evitar a ocorrência de recalques que possam causar problemas para a Igreja Nossa Senhora da Aparecida. Deste modo, para escavação da estação, o método escolhido foi o VCA invertido.

A escolha da tecnologia construtiva das paredes de contenção da estação deve permitir a convivência com o alto nível freático sem a necessidade de seu rebaixamento, uma vez que isso possibilitaria a ocorrência de recalques. Estes devem ser controlados e minimizados, como já citado, devido principalmente à presença da Igreja histórica de Nossa Senhora Aparecida nas proximidades. Por isso, a alternativa que melhor responde a estas limitações, e, portanto, escolhida, foi a utilização da parede diafragma.

Já o escoramento das paredes de contenção deve ser escolhido em função da facilidade de execução da escavação e da estrutura da estação. Com altos empuxos atuando nas paredes de contenção e tendo-se extensos vãos de escavação, é necessário um grande número de escoras e de apoios intermediários. Esta solução, diferentemente do atirantamento, dificulta a movimentação de equipamentos, insumos e pessoas. Além disso, a construção de apoios intermediários para as escoras torna necessário executar fundações em camadas de solos muito resistentes, localizada abaixo do corpo da estação. Desta forma, o atirantamento foi o método escolhido para o escoramento das paredes diafragma.

Para execução do túnel nas proximidades da estação, o método escolhido foi o uso de máquina tuneladora, de modo a agilizar o processo de execução e a minimizar recalques e interferências na superfície e nas fundações de edificações residenciais características da zona de Moema.

O quadro da Figura 37 resume os métodos construtivos disponíveis e a justificativa da sua escolha ou descarte.

Subsistema	Método construtivo	Foi utilizado?	Justificativa
Escavação de túneis e estações	Vala à céu aberto (VCA)	Não	Inviável interditar a Av. Ibirapuera durante muito tempo; região de intenso fluxo viário
Escavação de túneis e estações	VCA invertido	Sim	Permite liberar a superfície enquanto a escavação é feita por baixo, não interditando Av. Ibirapuera durante muito tempo
Escavação de túneis e estações	NATM	Não	Solo não favorável ao método; a deformação gerada pode ocasionar recalques
Escavação de túneis	Shield	Sim	Menores interferências na Av. Ibirapuera, nas edificações vizinhas (região residencial); menor tempo de execução; necessidade de minimizar recalques (Igreja Nossa Sra. Aparecida); alto nível freático e impossibilidade de rebaixamento que gerariam recalques
Contenção	Parede diafragma	Sim	Necessidade de minimizar recalques, que não permite rebaixamento ou tratamento de solo
Contenção	Estacas justapostas de concreto moldado <i>in loco</i>	Não	Não adequado por causa da possibilidade de infiltração de água pelas juntas

Contenção	Estacas secantes de concreto moldado <i>in loco</i>	Não	Baixa disponibilidade de equipamentos no mercado com altura suficiente para profundidade de escavação
Contenção	Estacas-prancha	Não	Problemas com o nível do lençol freático; impossibilidade de rebaixamento do lençol, que geraria recalques; dificuldades na cravação
Contenção	Estacas escavadas com arco de concreto projetado	Não	Problemas com o nível do lençol freático; impossibilidade de rebaixamento do lençol, que geraria recalques
Contenção	Perfil com pranchões	Não	Não é possível execução abaixo do nível freático sem que haja tratamento ou rebaixamento deste
Escoramento	Tirantes	Sim	Permite mobilidade no interior da vala
Escoramento	Estroncas metálicas	Não	Dificuldade de movimentação e execução; necessidade de perfurar terrenos resistentes para executar fundações dos apoios intermediários

Figura 37 - Quadro de métodos construtivos disponíveis e justificativa de utilização.

Sequência Executiva da Estação Moema

De maneira macro, a sequência executiva da estação Moema pode ser representada pelo esquema da Figura 38.

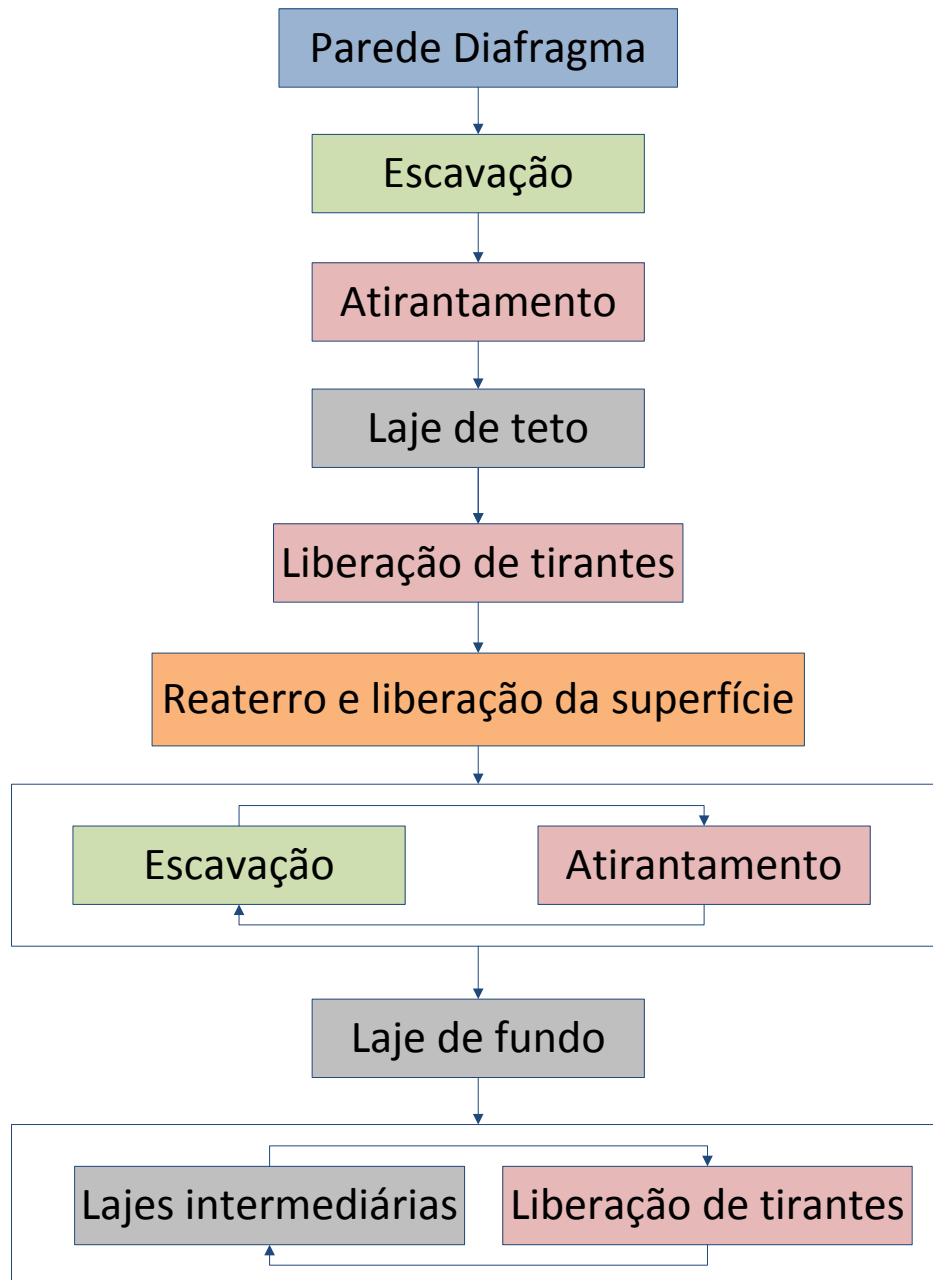


Figura 38 - Sequência executiva da estação Moema

O primeiro passo é a remoção de interferências como tubulações de água, esgoto e gás, postes e outras.

A construção da estação começa com a execução da parede diafragma. Para isso, inicia-se com a execução das paredes-guia que, segundo Manual de Produtos e Especificações da ABEF (ABEF, 2004), são definidas como “[...] paredes de concreto armado executadas ao longo de todo o perímetro da obra, as quais têm a função de manter estável a parte superior dos painéis, bem como servir de guia inicial para a ferramenta de escavação [...]”. Prossegue-se com a escavação de um

buraco que pode ser feito com o clam-shell, caso o solo permita o uso desse equipamento. Se o clam-shell não conseguir escavar o solo, ou se a parede for feita em rocha, utiliza-se a hidrofresa, que possui uma sequência executiva diferente da descrita. Simultaneamente à retirada do solo, é colocada a lama bentonítica ou uma substância polimérica para estabilização do solo. Concluída a escavação, antes de colocar a armadura da parede é feita a lavagem do tubo junta, ou chapa junta, que é, em seguida, colocado na escavação de forma a permitir um engate entre o trecho em execução e o seguinte. Assim, coloca-se a armadura da parede. Com a armadura já posicionada, pode-se dar início à concretagem. O processo usado é o submerso, que começa de baixo para cima, com o auxílio de uma tremonha (tubo metálico que possui um funil na sua extremidade) que evita a mistura da lama presente no buraco com o concreto que está sendo lançado. Como a lama é menos densa, à medida que o concreto é lançado, a lama vai subindo e sendo recolhida por meio de uma bomba. Assim que se inicia o processo de pega do concreto, começa-se a retirar o tubo junta, com o cuidado de não retirá-lo rapidamente para evitar o estrangulamento da junta.

Finalizada a execução da parede, a escavação do solo é realizada até o nível da face inferior da laje de cobertura, para que, em seguida seja feita a execução da mesma. Faz-se o reaterro, pavimentação e reurbanização da área, com liberação do tráfego na superfície, deixando-se uma abertura vertical para continuação da escavação. Em seguida, há a escavação do solo contido sob a laje de cobertura e as paredes de contenção, até determinadas cotas, onde são executados os tirantes.

A execução de um tirante inicia com a perfuração de um determinado comprimento de solo. Dentro desse furo é colocado um ou mais cabos ou barras de aço com cuidado para que se evitem danos aos mesmos e para evitar o surgimento de atrito desses com o solo. Em seguida, é feita a injeção da bainha, que consiste no preenchimento do furo com calda de cimento. Após aproximadamente 12 horas da injeção da bainha, dá-se início à injeção para execução do bulbo do tirante. Esse bulbo é feito com a injeção de calda de cimento à alta pressão e tem a finalidade de ajudar na ancoragem dos tirantes. Após 3 ou 4 dias, no caso de uso de cimento ARI, ou após 7 dias, no caso do uso de cimento convencional, tem início a fase de protensão dos tirantes. Na extremidade oposta dos cabos, são colocadas as peças que compõe a “cabeça” do tirante juntamente com os macacos apropriados que irão

protendê-los (ABEF, 2004; GEOSONDA, 2012). Os tirantes protendidos e, portanto, ativos, auxiliam na estabilidade da parede diafragma, aplicando uma força na mesma contra o maciço (CORSINI, 2012). A sequência executiva de tirantes pode ser observada na Figura 39.

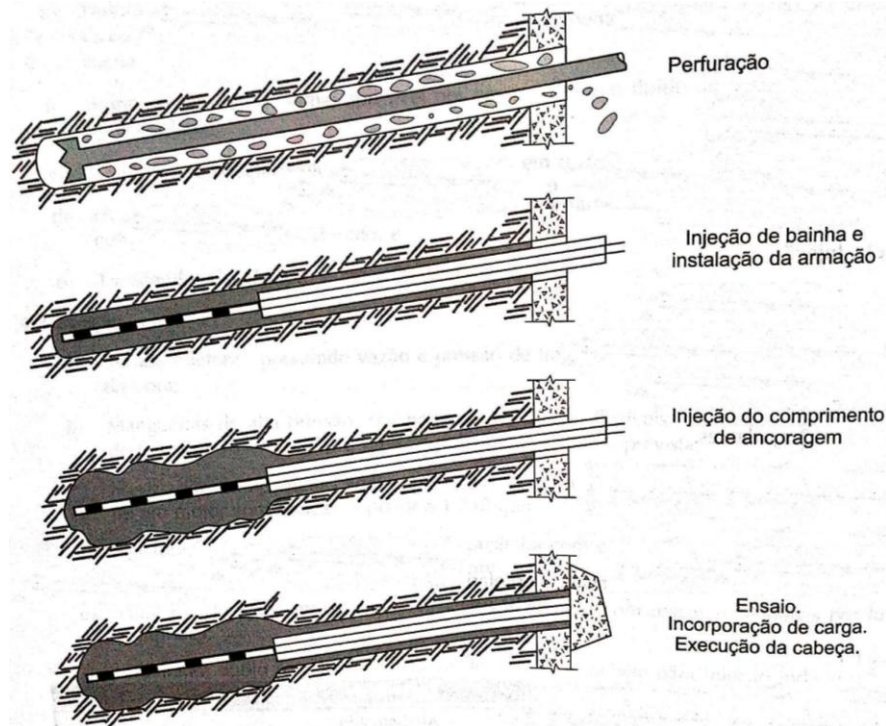


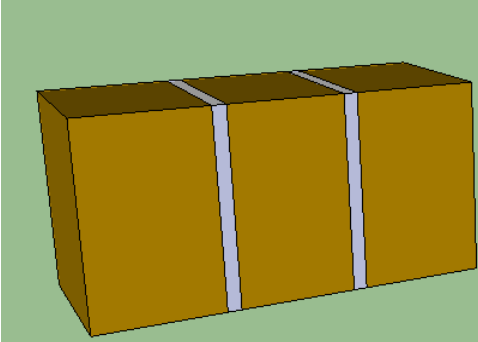
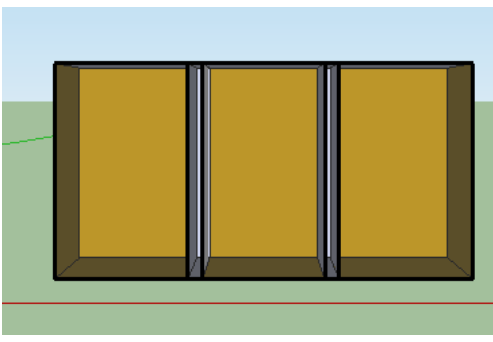
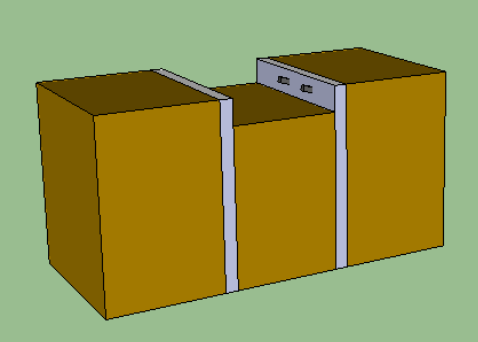
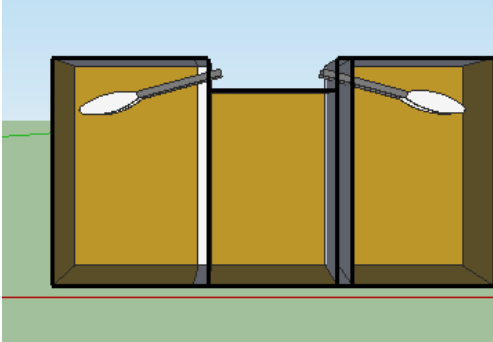
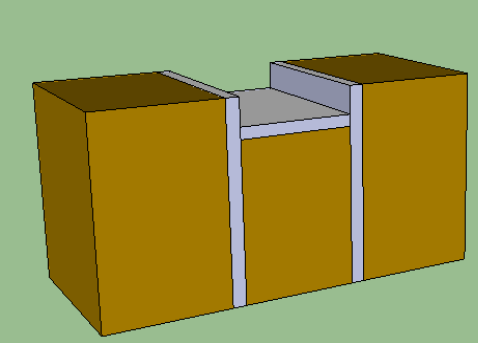
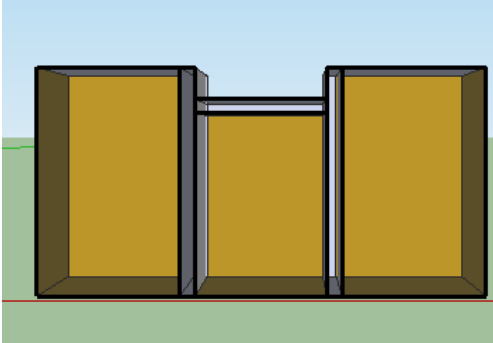
Figura 39 - Sequência esquemática da execução de tirantes (ABEF, 2004).

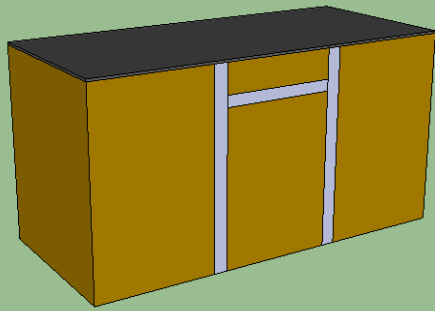
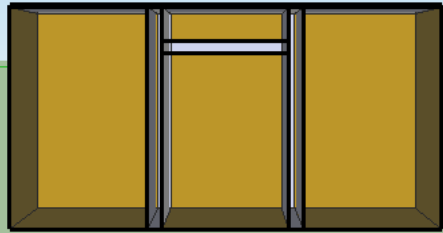
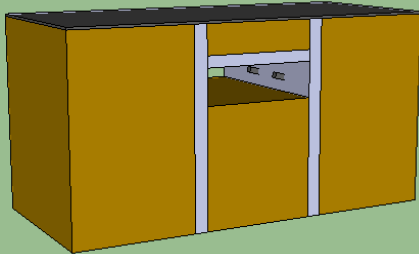
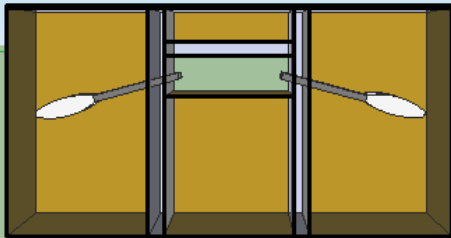
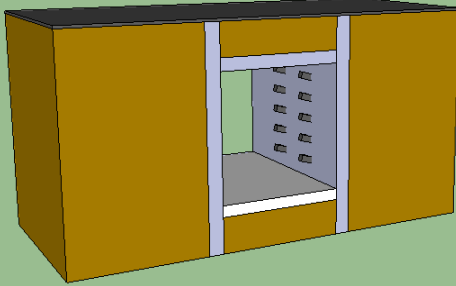
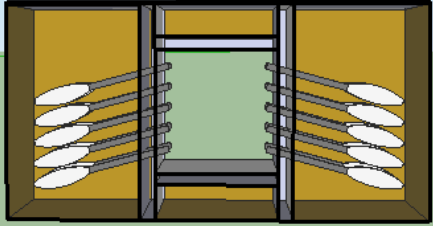
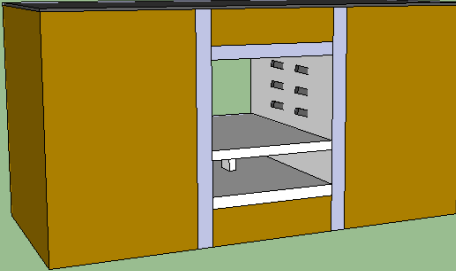
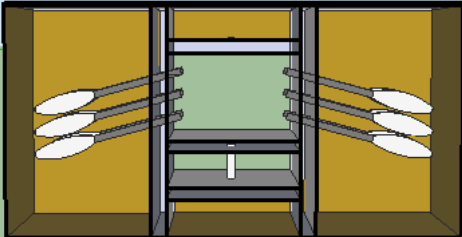
O processo de escavação e atirantamento é repetido até que se atinja a profundidade da laje de fundo. Uma vez feita a concretagem desta, são feitas as lajes intermediárias com a liberação dos tirantes em etapas sucessivas, já que as lajes também são usadas como travamento das paredes de contenção. Ao se chegar às cotas desejadas, são executadas as passarelas de emergência e as vias permanentes.

A sequência executiva desde a finalização da parede diafragma até o final da construção da estrutura da estação pode ser visualizada no esquema simplificado na Figura 40. As etapas de execução correspondentes são:

1. Paredes diafragmas executadas;
2. Escavação e 1º nível de tirantes para execução da laje de teto;
3. Laje de teto finalizada, 1º nível de tirantes liberados;
4. Reaterro, pavimentação e liberação da superfície;

5. Escavação e 2º nível de tirantes com auxílio de uma abertura, não representada no esquema;
6. Escavação e execução dos tirantes progressivamente, para os 3º, 4º e 5º níveis, e finalização da laje de fundo;
7. Execução de pilares, lajes intermediárias e liberação de tirantes, progressivamente;
8. Estação finalizada, com todas as lajes intermediárias e todos os tirantes liberados.

Etapa	Visão 3D	Corte transversal
1.		
2.		
3.		

4.		
5.		
6.		
7.		

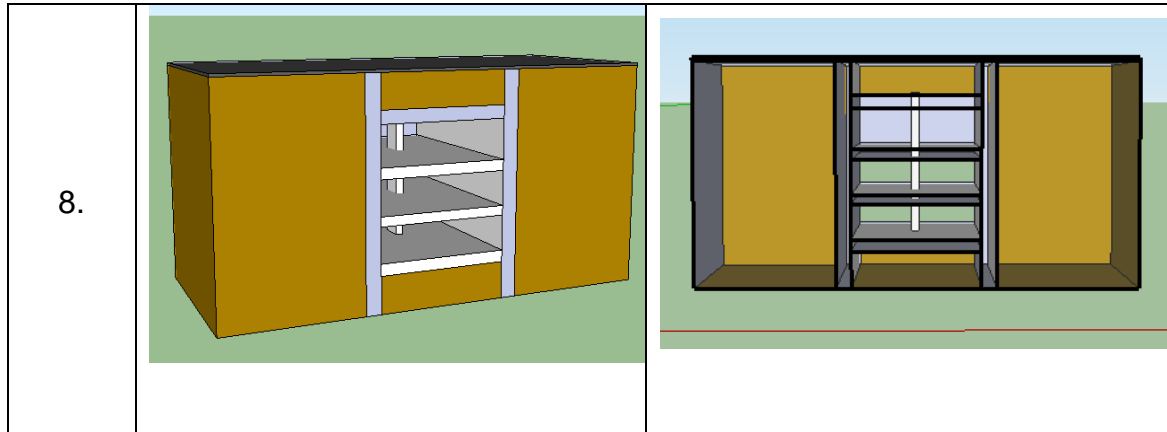


Figura 40 - Esquematização da sequência executiva da estação.

11 IMPLANTAÇÃO DA OBRA

A cidade de São Paulo é caracterizada pelo alto índice de ocupação urbana e por ser um polo de convergência social. Assim, a implantação de uma obra de grande porte, como uma estação ou uma linha do Metrô, exige um estudo dos procedimentos necessários para implantação do canteiro de obras, tais como serviços topográficos, remanejamento das interferências, desapropriações, demolições e desvios de tráfego.

11.1 Serviços Topográficos

A realização dos serviços de locação topográfica, que antecede às obras é responsável pela materialização do projeto nos locais de sua implantação.

À medida que estes serviços vão sendo concluídos, as diversas áreas de implantação podem ser liberadas para o início das obras. Os parâmetros de precisão para todas as liberações devem ser verificados pela equipe de fiscalização, com base nas especificações técnicas adotadas pelo Metrô.

11.2 Remanejamento das Interferências

Faz-se necessário a remoção de todas as interferências que possam obstruir a implantação da obra.

A estação Moema, por estar localizada em uma região altamente desenvolvida, torna necessária a remoção de uma série de interferências. Dentre elas, as subterrâneas (dutos de águas pluviais, água potável, esgoto, telefone, gás) e as aéreas (redes elétricas, telefonia, placas e sinalizações).

As interferências foram mapeadas no Projeto Básico de Interferências e, assim, os responsáveis por cada uma delas foram notificados com a finalidade de elaborarem e executarem um projeto de remanejamento que será custeado pelo Metrô.

11.3 Desapropriações

Segundo Plano de Reassentamento do Metrô de São Paulo (CMSP, 2009) realizado durante a implantação do trecho Largo Treze - Chácara Klabin, desde o traçado da linha busca-se sua implantação com um mínimo impacto sócio-ambiental. Neste sentido, é definido o Polígono de Afetação, uma área mínima de implantação da

linha. Além disso, o Plano busca compensar os atingidos e realocá-los adequadamente, possibilitando a manutenção de suas condições socioeconômicas.

Uma vez definido o projeto da linha, sua área de influência, o Plano de Reassentamento é elaborado de modo a reunir fundamentos, diretrizes e ações para o remanejamento de população e empresas instaladas na área a ser desapropriada. Nele, são definidas as seguintes etapas:

1. Dimensionamento e Caracterização da População Afetada
 - Conhecimento do problema: descrição geral do cenário, principais aspectos e identificação da área do projeto (Polígono de Afetação);
 - Estudos socioeconômicos sobre a população afetada;
 - Estudo das características demográficas das regiões de afetação;
 - Elaboração de censo completo.
2. Monitoramento do Processo de Desapropriação e Reassentamento dos Desapropriados: implementa-se plano de *Relacionamento com a População Afetada*, para acompanhamento dos desapropriados e respectivos reassentamentos, a partir de contatos periódicos com a população;
3. Avaliação do Processo de Reassentamento e Condições de Adaptação da População Afetada: a partir de pesquisa com a população, sobre sua adaptação, acesso aos serviços públicos, reinserção social, entre outros. Esta avaliação também busca o levantamento de subsídios para novos planos futuros.

Para a implantação e início das obras da Estação Moema, fez-se necessário a desapropriação de duas áreas que juntas equivalem a 4.945 m². Uma delas corresponde à área de implantação da estação, localizada junto a Avenida Ibirapuera no sentido bairro-centro cuja área é 4.100 m². A outra, de 845 m², será o futuro acesso à estação, também na avenida Ibirapuera, mas no sentido centro-bairro. Estas áreas compreendiam dois imóveis residenciais, oito comerciais e oito de serviços (SISTRAN ENGENHARIA, 2010; CMSP, 2009). A Figura 41 indica as áreas de desapropriação.



Figura 42 - Indicação das interferências de tráfego

As obras destinadas à adaptação do tráfego da região são preferencialmente realizadas nos finais de semana com o objetivo de minimizar os possíveis impactos que venham a ocorrer. Em seguida, deve ser iniciada a operacionalização que consiste no acompanhamento diário das alterações viárias.

O objetivo principal do acompanhamento é intervir diretamente nos problemas das vias envolvidas na área de influência das adaptações e desvios, especialmente no que se refere aos aspectos de fluidez e segurança de veículos e pedestres.

As obras de desvio de tráfego podem ser visualizadas na Figura 43.



Figura 43 - Obras de desvio de tráfego na av. Ibirapuera

11.5 Canteiro

O canteiro de obras da Estação Moema é dividido em três blocos. O primeiro corresponde ao local onde estará localizada a estação, ou seja, no quarteirão da

avenida Ibirapuera (sentido bairro-centro) entre as avenidas Jamaris e Divino Salvador. É neste canteiro que, atualmente, está a principal frente de trabalho. A entrada de veículos é realizada pela avenida Divino Salvador e ao longo da avenida Ibirapuera existem placas informando desta entrada.

O segundo bloco do canteiro está localizado na esquina da avenida Ibirapuera e Sabiá onde será o futuro acesso à estação.

O terceiro bloco do canteiro é onde está concentrada a parte administrativa e de engenharia da obra. Ele ocupa parte da Praça de Nossa Senhora da Aparecida (quarteirão da avenida Ibirapuera entre as avenidas Divino Salvador e Moema) e, portanto, está ao lado da igreja de mesmo nome. A Figura 44 mostra fotos e esquema do canteiro de obras.



Figura 44 - Indicações dos blocos 1, 2 e 3 do canteiro de obras.

12 GEOTECNIA E GEOLOGIA

Questões ligadas à engenharia geotécnica envolvidas na expansão da Linha 5 – Lilás do Metrô e na implantação da estação Moema constituem a parte central deste trabalho. Nesse capítulo, busca-se caracterizar a geologia e os parâmetros geotécnicos da região de estudo e discutir aspectos técnicos ligados aos serviços de geotecnia a serem realizados.

Características da cidade de São Paulo

A Bacia de São Paulo é uma das unidades integrantes do denominado Rift Continental do Sudeste do Brasil. Está localizada no chamado Planalto Paulistano, compreendendo uma área de cerca de 5.000 km², situada em sua maior parte entre 715 e 900 m de altitude. Apresenta relevo suavizado, sendo drenada pelos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, e seus tributários.

A área geográfica da bacia compreende terrenos pré-cambrianos, sedimentos terciários da Bacia de São Paulo (formações Resende, Tremembé, São Paulo, recobertas de forma discordante pela Itaquaquetuba), além de coberturas colúvio-aluviais quaternárias (ABMS; ABEF; ABGE, [19--]).

A Figura 45 indica as formações geológicas da RMSP. A Figura 46 mostra o perfil geológico de diversas seções da cidade de São Paulo.

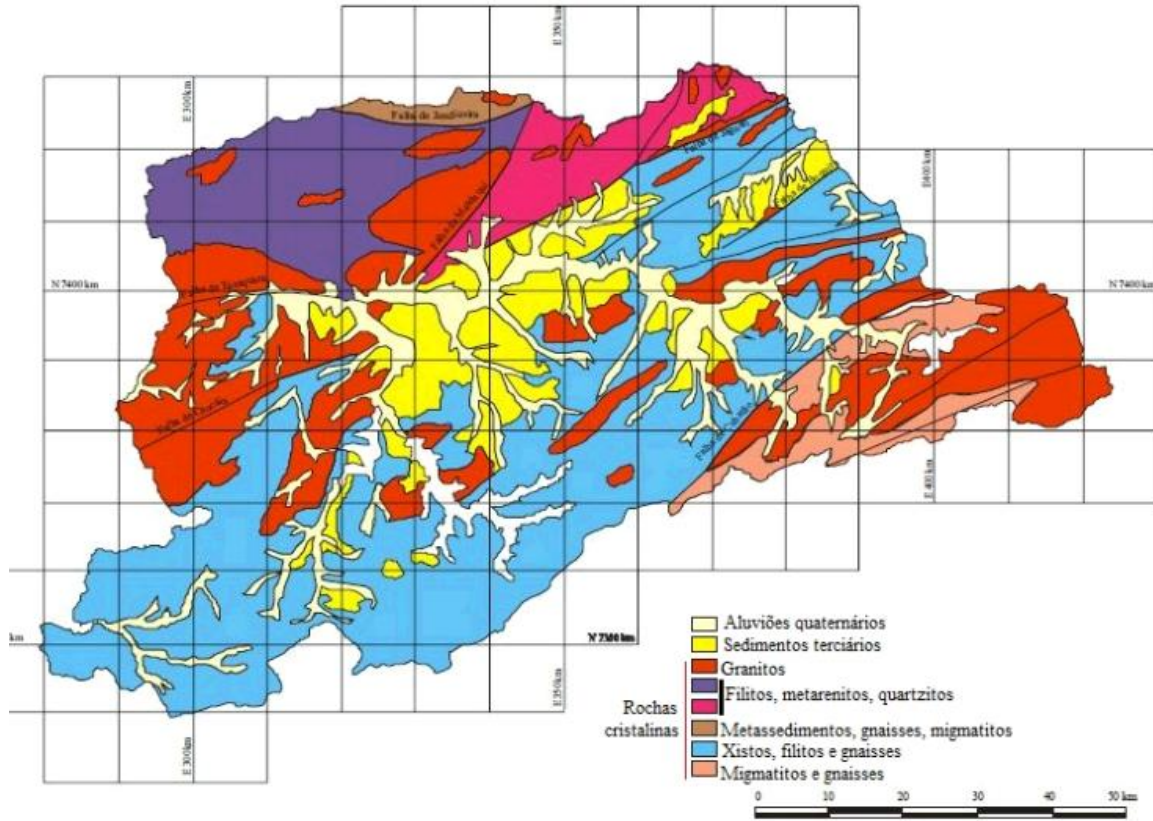


Figura 45 - Formações geológicas da RMSP (SANTOS, 2012).

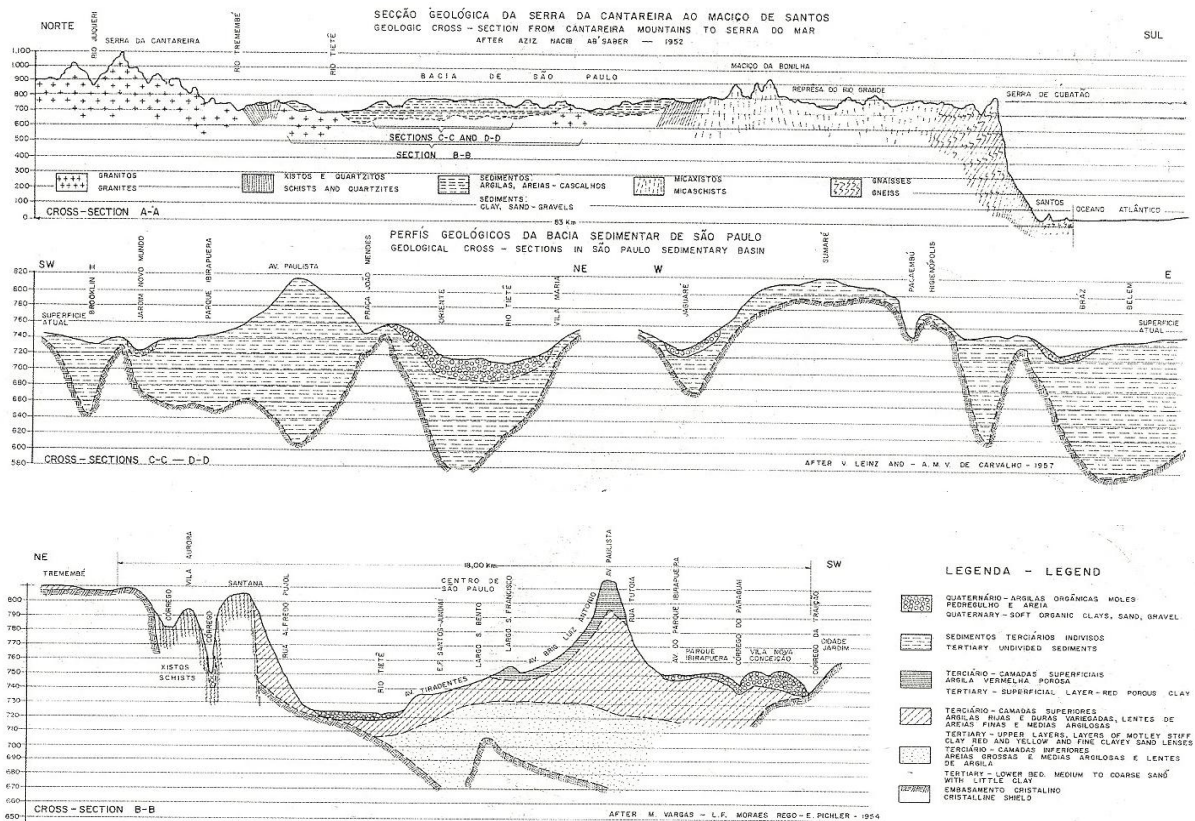


Figura 46 - Perfis geológicos de seções diversas da cidade de São Paulo (HOCHTIEF; MONTREAL; DECONSULT, 1968).

Características do Trecho Largo Treze-Chácara Klabin da expansão da Linha 5

No trecho Largo Treze - Chácara Klabin tem-se basicamente três substratos geológicos diferentes, além dos depósitos de aterros recentes (DA SILVA; TAKEUCHI; ROCHA, 2011; ABMS; ABEF; ABGE, [19--]):

- 1) Sedimentos aluvionares quaternários, compostos por argilas orgânicas moles e areias siltosas inconsolidadas. Os sedimentos quaternários são materiais muito ruins para a construção de túneis devido à baixa coesão e elevada permeabilidade no caso das areias, e à baixa consistência no caso das argilas. Estes sedimentos acompanham as atuais drenagens e fundos de vales nas avenidas dos Bandeirantes e República do Líbano e têm espessuras máximas em torno de nove metros.
- 2) Sedimentos terciários da Bacia Sedimentar de São Paulo (BSSP), constituídos por duas formações: Resende (em geral inferior à cota 750 metros) e São Paulo (em geral superior à cota 750 metros).

A Formação São Paulo, de origem fluvial meandrante, constitui-se de camadas de argilas arenosas e areias argilosas com boas características geotécnicas para a construção de túneis. Essas camadas possuem espessuras de até 20 metros entre Servidor e Chácara Klabin e na região entre Adolfo Pinheiro e Alto da Boa Vista com espessuras de cerca seis metros acima da cota de 750 metros, capeando a formação Resende.

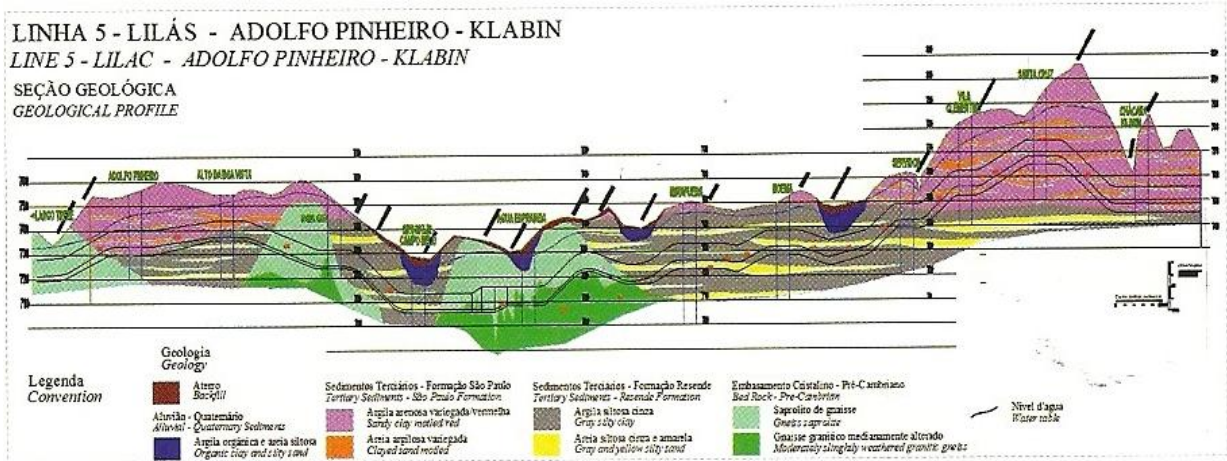
A formação Resende, fluvio-lacustre, constitui-se por camadas de argila siltosas duras cinza e areias siltosas. As argilas são muito plásticas e de excelentes características geotécnicas para construção de túneis, no entanto as areias são pouco coesivas e muitas saturadas. Estão presentes em todo o trecho.

- 3) Maciço Pré-cambriano - Rocha Gnaisse-Granítica de zonas de movimentação tectônica, com intercalações de veios de pegmatito, variando de são a alterado em diferentes graus de alteração (siltes argilo-arenosos).

Na seção de escavação entre a ventilação Roque Petrella, nas proximidades da avenida Morumbi, e o Poço Bandeirantes existem trechos em rocha. Os trechos de solos de alteração estão presentes na seção de escavação nas proximidades do Largo Treze, mergulhando abaixo da geratriz inferior dos túneis até a estação Adolfo

Pinheiro, reaparecendo na região da Estação Borba Gato e na geratriz superior do túnel entre Ventilação Roque Petrella e o Poço Bandeirantes.

A Figura 47 apresenta o perfil geológico do trecho de expansão da Linha 5 – Lilás.



Como se pode observar, a região da estação Moema, foco deste trabalho, é caracterizada pela presença de sedimentos terciários, predominantemente da formação Resende.

Figura 47 - Perfil geológico da expansão da Linha 5 (DA SILVA; TAKEUCHI; ROCHA, 2011).

Serviços de geotecnia

Os serviços de geotecnia são de fundamental importância no estudo do processo de construção de um empreendimento metroviário. Assim, analisar a implantação da estação Moema e a expansão do trecho da Linha 5 significa buscar soluções construtivas para:

1. Escavação da estação;
2. Execução das fundações da estação;
3. Escavação do túnel do metrô.

Escavação da estação Moema

A escavação da estação Moema será feita pelo método invertido e demandará a utilização de um sistema de contenção. Este sistema consiste na introdução de uma estrutura ou de elementos estruturais compostos, que apresentam rigidez distinta daquela do terreno que conterà, podendo estar ou não associada a um sistema de escoramento (HACHICH *et al.*, 1996). Como discutido na seção Métodos

Construtivo, a solução adotada foi parede-diafragma associada a tirantes. A Figura 48 resume as características gerais preliminares do processo.

Contenção	Profundidade da escavação (m)	Volume da escavação (m ³)	Volume de concreto (m ³)
Parede diafragma e tirantes	27,03-29,83	116.731,26	42.152,76

Figura 48 - Detalhes da escavação de Moema (DA SILVA; TAKEUCHI; ROCHA, 2011).

13 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTENÇÃO

Uma vez definidos os métodos construtivos a serem utilizados como contenção e escoramento, os elementos de contenção devem ser dimensionados e verificados segundo os critérios:

- Estabilidade da parede, com determinação do comprimento de ficha, e cálculo dos esforços solicitantes no sistema de escoramento;
- Estabilidade geral;
- Estabilidade de fundo da vala;
- Deslocamentos à superfície.

Outras verificações podem ser necessárias, dependendo do tipo da obra, como, por exemplo, o dimensionamento da parede como elemento de fundação sujeita a cargas verticais, o que também poderá condicionar o comprimento da ficha da parede de contenção (MARZIONNA, 1979).

13.1 Metodologia de Cálculo

No presente trabalho, o dimensionamento da parede diafragma será realizado de acordo com a seguinte metodologia:

- Determinação dos empuxos;
- Cálculo da ficha mínima;
- Dimensionamento da seção transversal em concreto armado;
- Cálculo da ficha como fundação;
- Considerações acerca da verificação da estabilidade global;
- Considerações acerca da verificação da estabilidade de fundo;
- Considerações acerca da análise de recalques.

Num projeto real de contenção é utilizado método evolutivo, no qual são considerados os carregamentos e esforços em cada fase da escavação, além da influência das deformações sofridas pela parede em uma fase nos esforços da fase seguinte. No entanto, neste trabalho, o dimensionamento da parede foi feito de forma simplificada apenas para a fase final de escavação e fase final de obra, isoladamente.

13.2 Dados do Projeto

A obra possui escavação de 26,6 metros. O perfil do subsolo simplificado adotado neste trabalho está representado na Figura 49 e melhor detalhado na Figura 50.

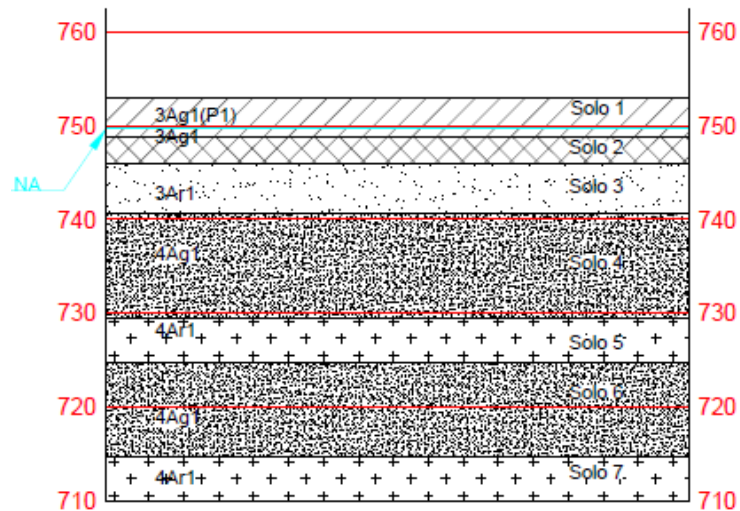


Figura 49 - Sondagem simplificada

Camada	Solo	Descrição	Consistência	γ (kN/m ³)	γ sat (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	E_s (kN/m ²)	K_h (kN/m ³)
1	3Ag1 p1	Argila siltosa pouco arenosa, porosa	Mole a média	17	18	15	20	10000	7000
2	3Ag1	Argila siltosa pouco arenosa	Rija a dura	18	19	30	25	30000	10000 a 20000
3	3Ar1	Areia fina a média, argilosa	Medianamente compacta	19	20	10	32	40000	15000
4 e 6	4Ag1	Argila siltosa pouco arenosa, medianamente plástica a plástica	Rija a dura	20	21	40	27	50000	30000
5 e 7	4Ar1	Areia fina e media, argilosa, pouco siltosa, pouco micacea e pouco plástica	Compacta	20	21	10	32	60000	25000

Figura 50 - Detalhamento dos parâmetros do solo (Adaptado de CMSP, 2012b).

A Figura 51 indica a envoltória das sondagens fornecidas pelo Metrô, e os dados adotados para SPT.

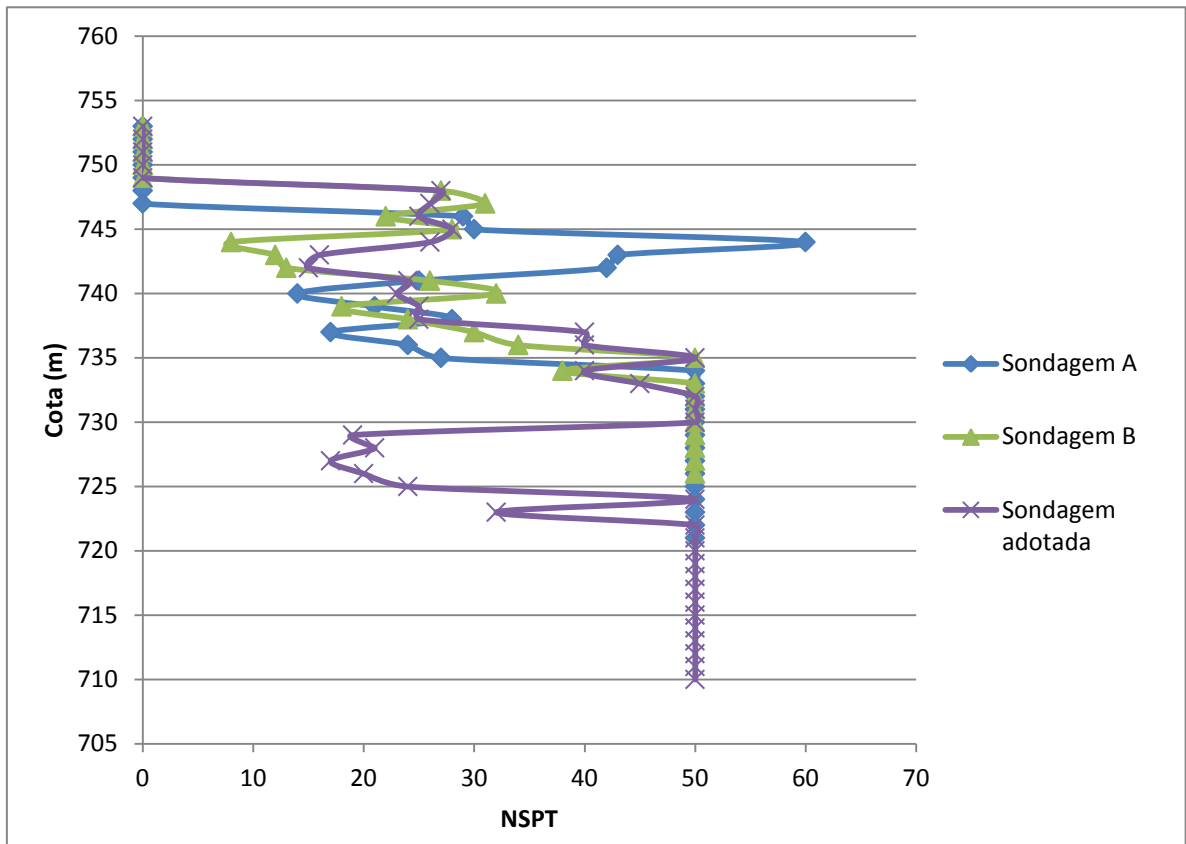


Figura 51 - SPT do solo (CMSP, 2012c).

As cotas referentes às lajes, obtidas do projeto, e as cotas sugeridas para os tirantes estão indicadas na Figura 52.

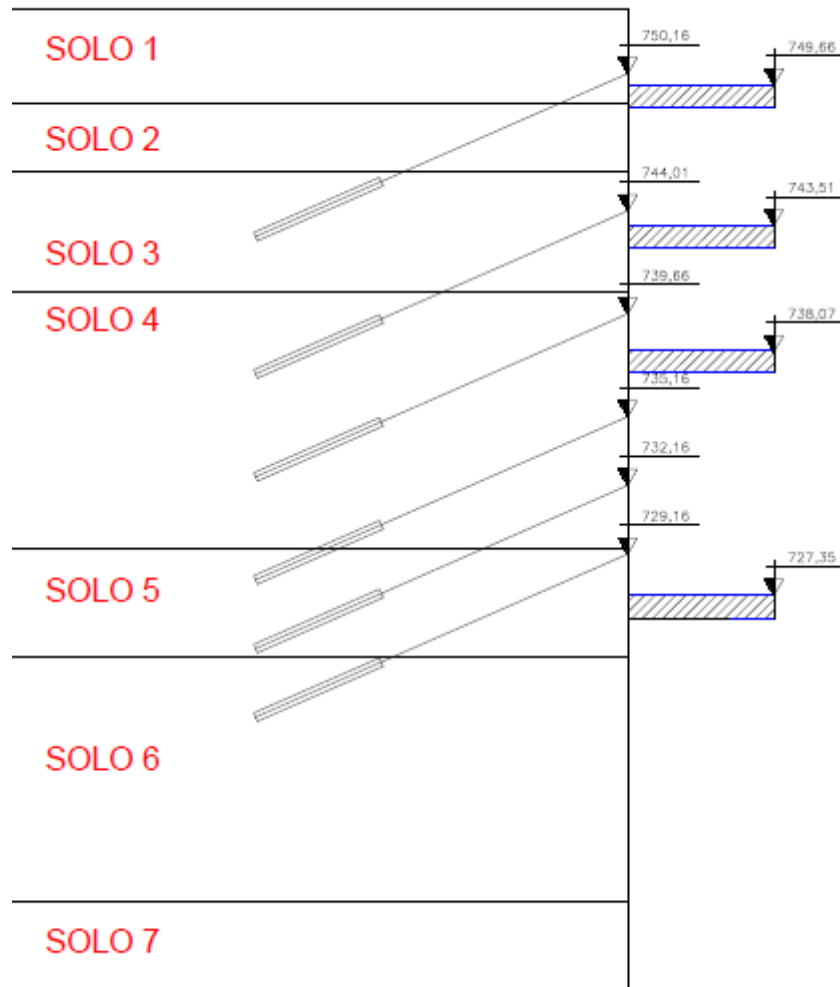


Figura 52 - Representação das cotas de lajes e tirantes.

13.3 Determinação dos carregamentos

O dimensionamento das contenções inicia-se com a determinação das ações que serão impostas a essas estruturas. De forma geral, são elas:

- Empuxos laterais que o terreno exerce sobre a estrutura;
- Empuxos laterais exercidos por ação da água;
- Empuxos laterais provocados por carregamentos externos;
- Carregamentos devido às cargas das lajes, que exige o dimensionamento da parede como fundação.

Empuxos de terra

Os empuxos laterais que o terreno exerce sobre a estrutura dependem do deslocamento sofrido pela estrutura, conforme mostrado na Figura 53.

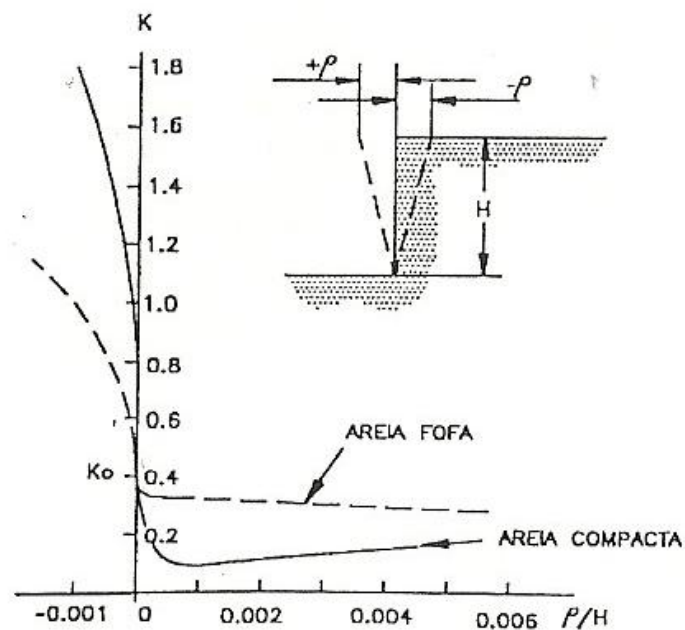


Figura 53 - Relação entre empuxo lateral e deslocamentos (HACHICH et al., 1996).

Neste trabalho, devem ser determinados o coeficiente de empuxo ativo K_a (situação na qual o solo empurra a estrutura), atuante em toda a parede, e o coeficiente de empuxo passivo K_p (situação no qual a estrutura é empurrada pelo solo), atuante somente sobre a ficha. Para determiná-los, é utilizada uma teoria de estado limite, devendo-se notar, entretanto, que existe uma grande diversidade de métodos e teorias de estado limite disponíveis.

Podem-se separar os diversos métodos existentes em:

a) métodos clássicos (Rankine, Coulomb, etc.): cujas teorias permitem o cálculo dos empuxos ativos e passivos com base em parâmetros geotécnicos simples;

b) métodos numéricos (elementos finitos, etc.);

c) métodos empíricos: se valem de medições feitas em modelos.

Como a parede sofre pequenas deformações, justifica-se a adoção do empuxo ativo e passivo como carregamentos, ao invés do empuxo em repouso K_0 .

Empuxo ativo

O empuxo ativo ao longo da parede e ficha foi calculado segundo Rankine (HACHICH et al., 1996).

$$\sigma_a = \sigma'v \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$\sigma'v = \gamma \cdot h - u$$

$$K_a = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi}$$

Onde:

K_a = coeficiente de empuxo ativo;

$\sigma'v$ = tensão efetiva vertical no solo;

u = tensão neutra;

σ_a = tensão de empuxo ativo;

φ = ângulo de atrito do solo.

As tensões que resultaram em valores negativos foram desconsideradas, já que o solo é um elemento não resistente à tração (HACHICH *et al.*, 1996). A Figura 54 indica os coeficientes K_a para as camadas de solo. O diagrama resultante de tensões horizontais por empuxos ativos é o da Figura 55.

Camada	Solo	K_a
1	3Ag1p1	0,49
2	3Ag1	0,41
3	3Ar1	0,31
4 e 6	4Ag1	0,38
5 e 7	4Ar1	0,31

Figura 54 - Cálculo dos coeficientes de empuxo ativo.

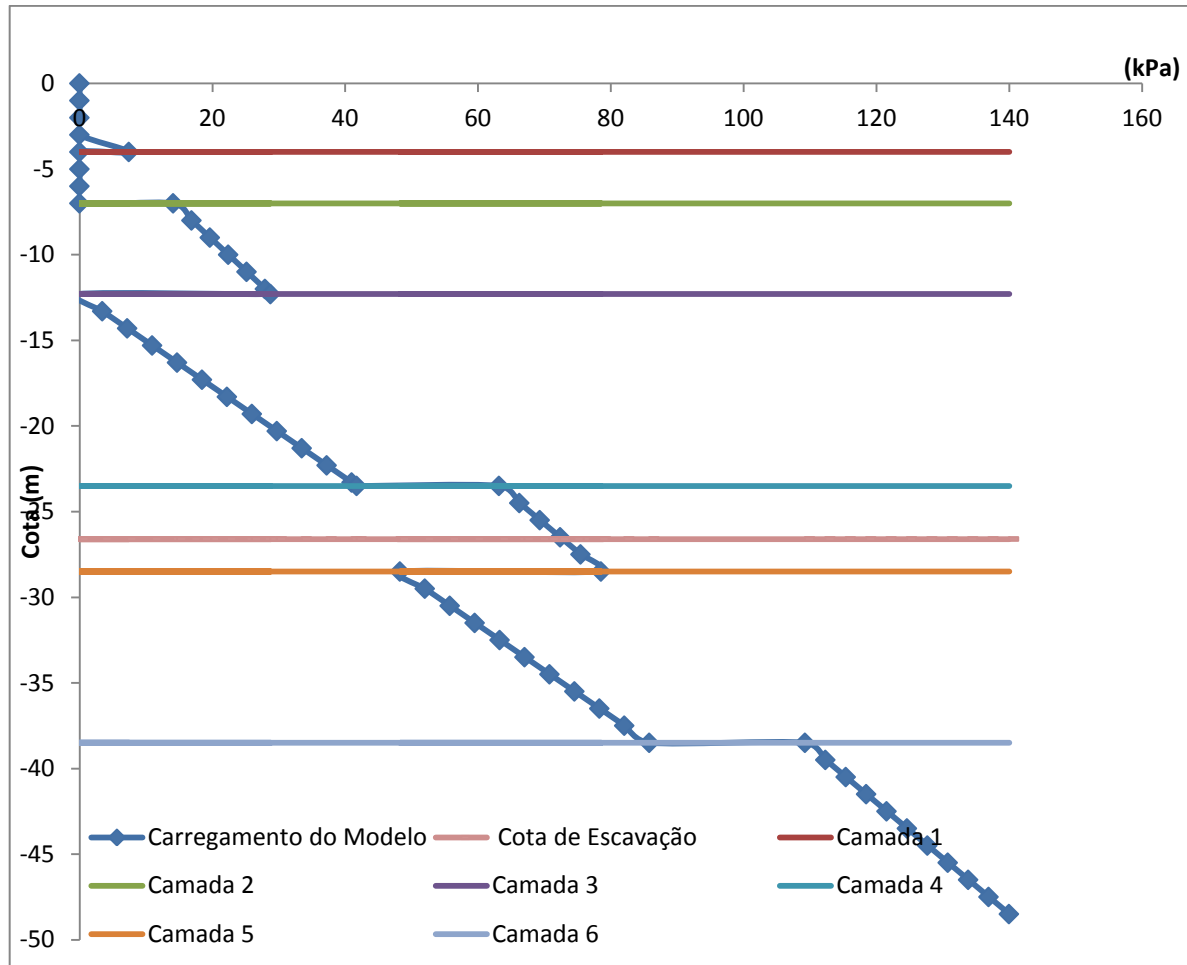


Figura 55 - Diagrama de tensões horizontais por empuxo ativo ao longo da parede.

Empuxo passivo

O empuxo passivo atuante na ficha também foi calculado segundo Rankine (HACHICH *et al.*, 1996). A Figura 56/Figura 54 indica os coeficientes K_a para as camadas de solo diagrama. O diagrama resultante de tensões horizontais por empuxos passivos está representado na Figura 57.

$$\sigma_p = \sigma'v \cdot K_p - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}$$

$$\sigma'v = \gamma \cdot h - u$$

$$K_p = 1/K_a$$

Onde:

K_p = coeficiente de empuxo passivo;

$\sigma'v$ = tensão efetiva vertical no solo;

u = tensão neutra;

σ_p = tensão de empuxo passivo.

Camada	Solo	Kp
1	3Ag1p1	2,04
2	3Ag1	2,46
3	3Ar1	3,25
4 e 6	4Ag1	2,66
5 e 7	4Ar1	3,95

Figura 56 - Cálculo dos coeficientes de empuxo passivo.

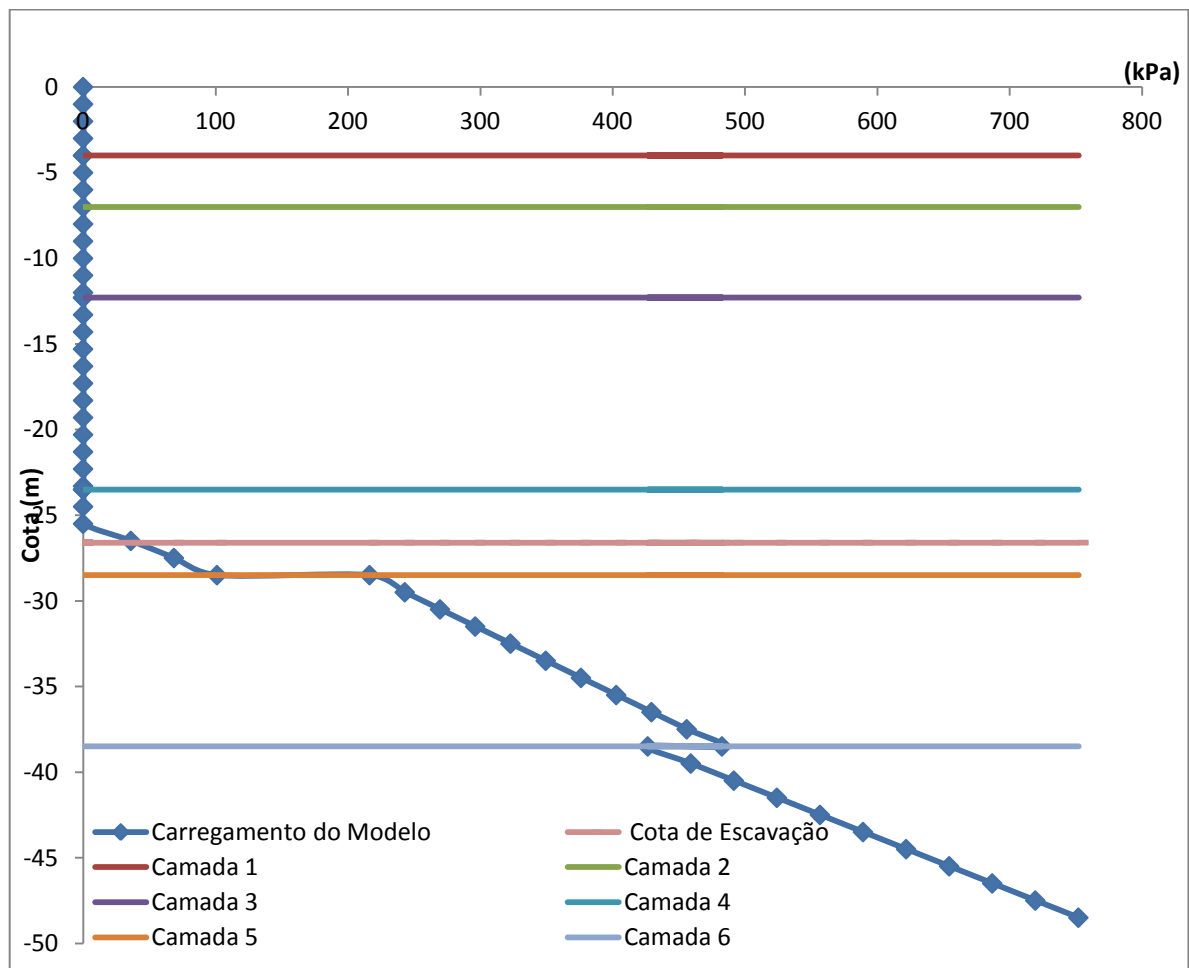


Figura 57 - Diagrama de empuxo passivo ao longo da parede.

Empuxo da água

A influência da água nos empuxos é considerada determinando as pressões neutras ao longo da escavação. No caso em estudo, o nível de água encontra-se à -3 metros

da superfície, resultando os diagramas de empuxo mostrados na Figura 58 e na Figura 59.

$$u = \gamma_w \cdot h_w$$

Onde:

γ_w = peso específico da água (igual a 10 kN/m³);

h_w = cota - cota do nível d'água.

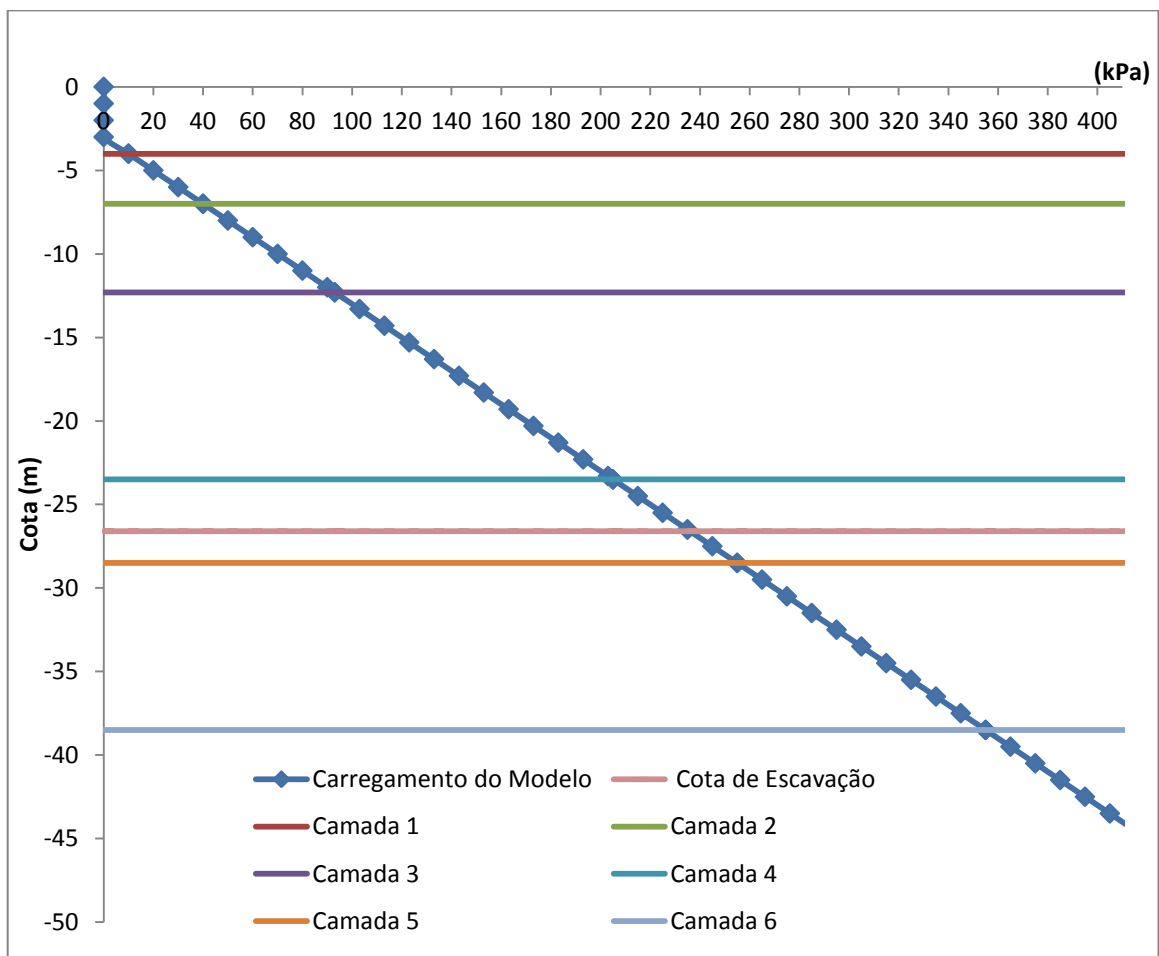


Figura 58 - Diagrama das tensões horizontais devidas ao empuxo da água do lado externo da escavação.

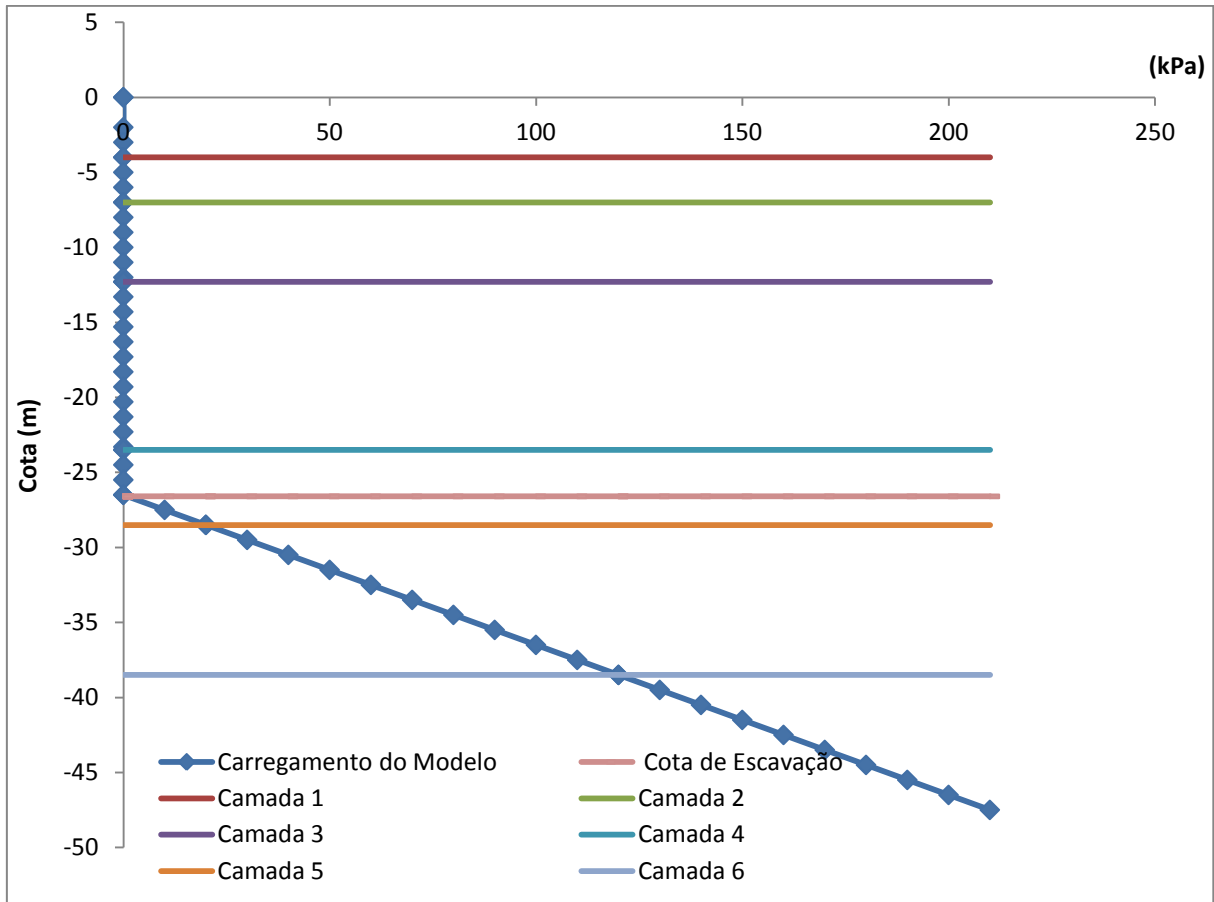


Figura 59 - Diagrama das tensões horizontais devidas ao empuxo da água do lado interno da escavação.

Empuxo devido às sobrecargas

Para o cálculo da parede de contenção da vala, adotou-se uma sobrecarga equivalente semi-infinita para considerar a atuação de cargas externas, como edifícios próximos, estoque de materiais e equipamentos. O cálculo das tensões horizontais ao longo da profundidade, oriundas da sobrecarga, foi considerado forma simplificada como:

$$\sigma_h = q \cdot K_a$$

Onde:

q = sobrecarga semi-infinita (25 kN/m²).

As sobrecargas não são consideradas para o empuxo passivo já que atuariam favoravelmente à estabilidade da parede de contenção, comprometendo a estabilidade da obra caso elas deixem de atuar (HACHICH *et al.*, 1996).

O diagrama das tensões pode ser visualizado na Figura 60.

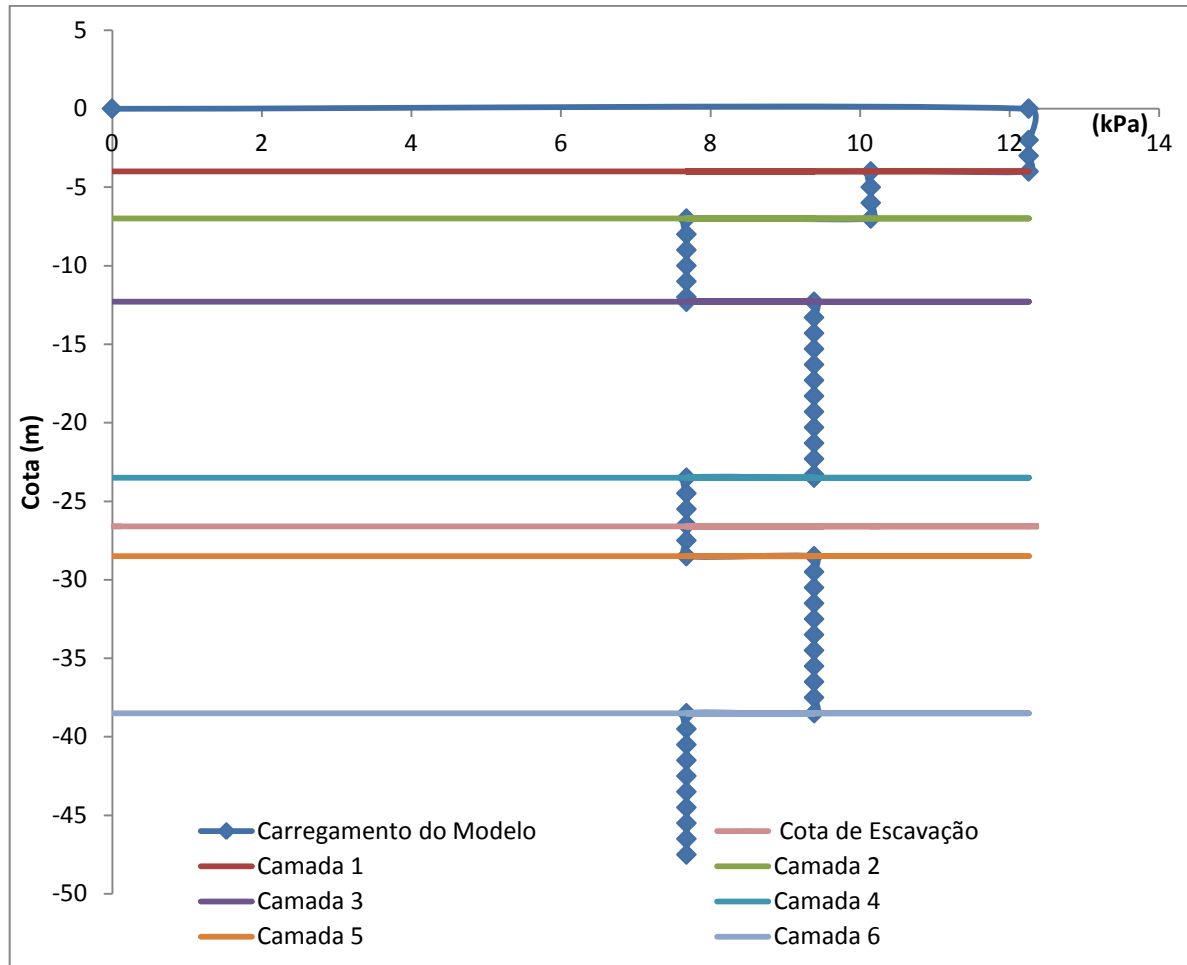


Figura 60 - Diagrama de tensões.

13.4 Cálculo da Ficha Mínima

13.4.1 Solução Inicial

Como metodologia de cálculo para determinação da ficha mínima, utiliza-se o método proposto por Hachich *et al.* (1996). Em suma, este procedimento considera uma viga contínua com apoios simples nos locais de escoramento e um apoio fixo a uma profundidade de $(0,6 \times \text{comprimento da ficha})$, que, no caso, representaria a reação no solo. O modelo adotado pode ser observado na Figura 61.

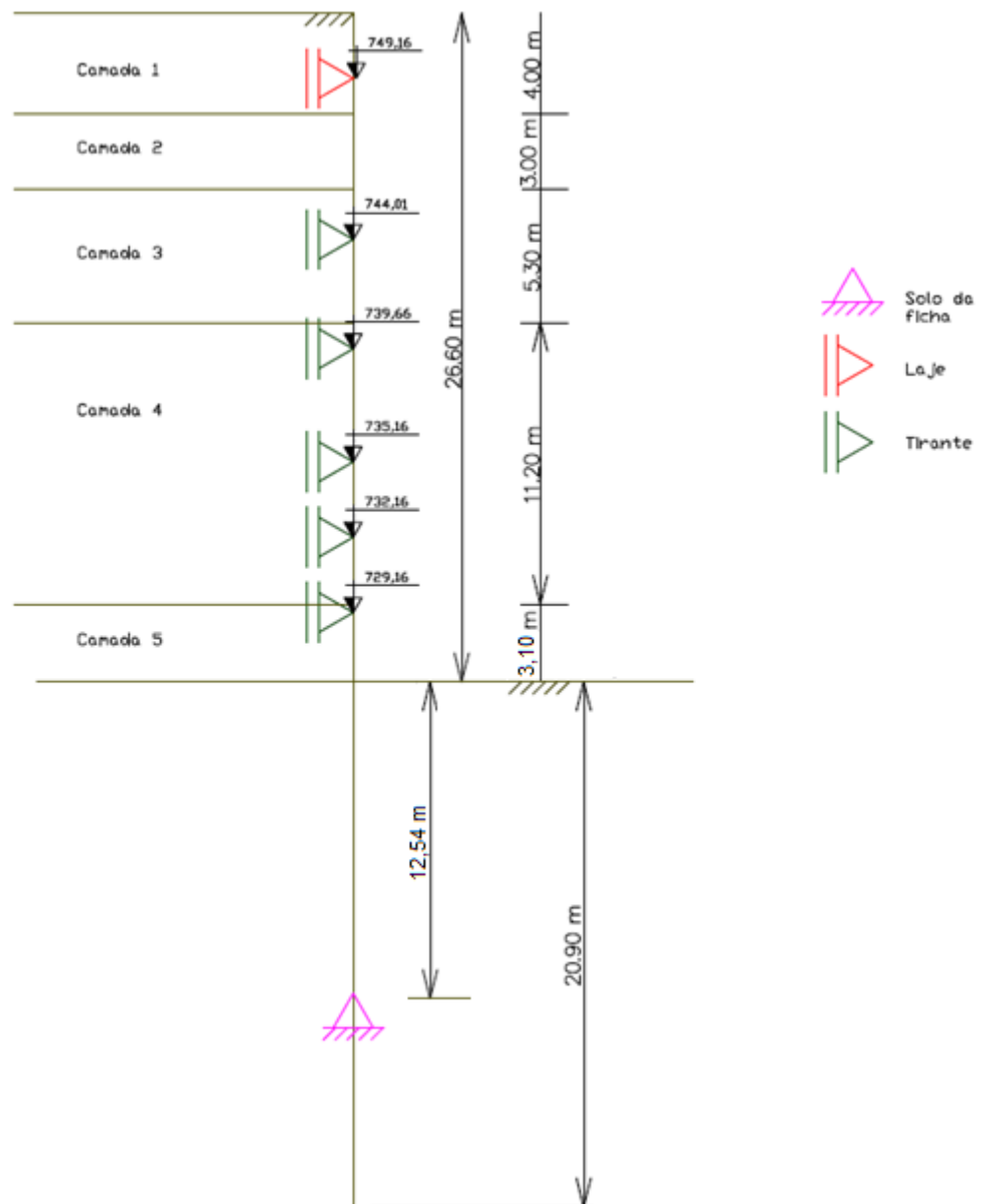


Figura 61 - Modelo utilizado para parede diafragma.

Nota-se aqui, mais uma consideração simplificadora: as lajes e tirantes são considerados como apoios simples, enquanto na realidade haveria uma rigidez a eles associada que influenciaria na distribuição dos esforços na parede. O mesmo pode-se dizer da rigidez do solo que é representado por um apoio fixo. Um modelo mais real seria a representação desses elementos através de molas.

Para obter o valor da ficha mínima, é preciso aplicar a equação de equilíbrio imposta pelo modelo, que é:

$$Rf = \frac{Ep}{CS} - \Delta Ea$$

$$CS = \frac{Ep}{Rf + \Delta Ea}$$

Onde:

Rf = reação do apoio fixo da ficha;

ΔEa = parcela do empuxo ativo abaixo da escavação;

Ep = empuxo passivo disponível.

CS = Coeficiente de Segurança

Para o carregamento do modelo considera-se, do lado externo à escavação, a soma do empuxo ativo, empuxo de sobrecarga e empuxo hidrostático até a cota de fundo. Na ficha, considera-se apenas o empuxo hidrostático, tanto do lado externo quanto do lado interno. O carregamento resultante, utilizado como dado de entrada do modelo no programa Ftool é aquele representado pela Figura 62. Nota-se que na ficha, a soma dos empuxos hidrostáticos do lado externo e interno a escavação resulta num diagrama de tensões horizontais retangular.

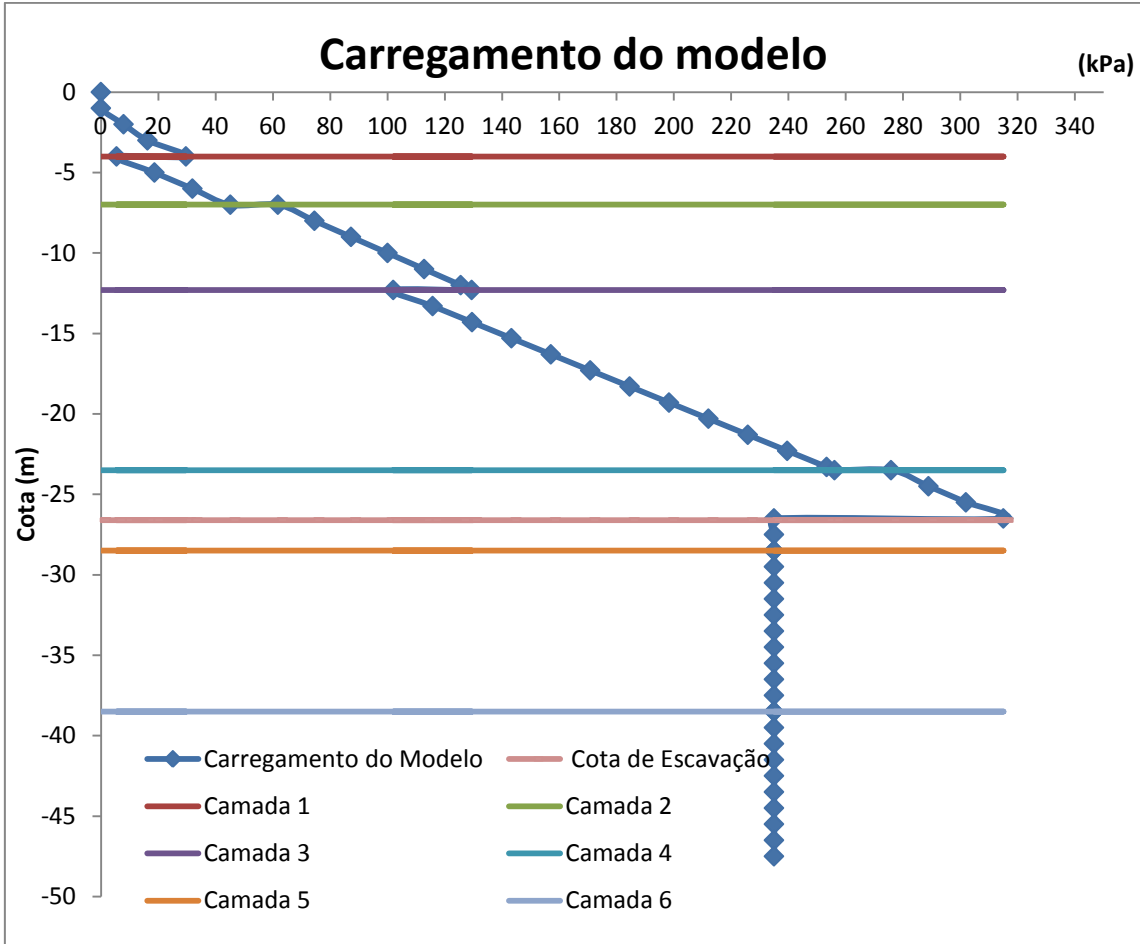


Figura 62 - Gráfico do carregamento do Modelo.

Submetendo-se o Modelo da Figura 61 ao carregamento da Figura 62, tem-se um modelo carregado conforme a Figura 63. As reações calculadas estão representadas na Figura 64.

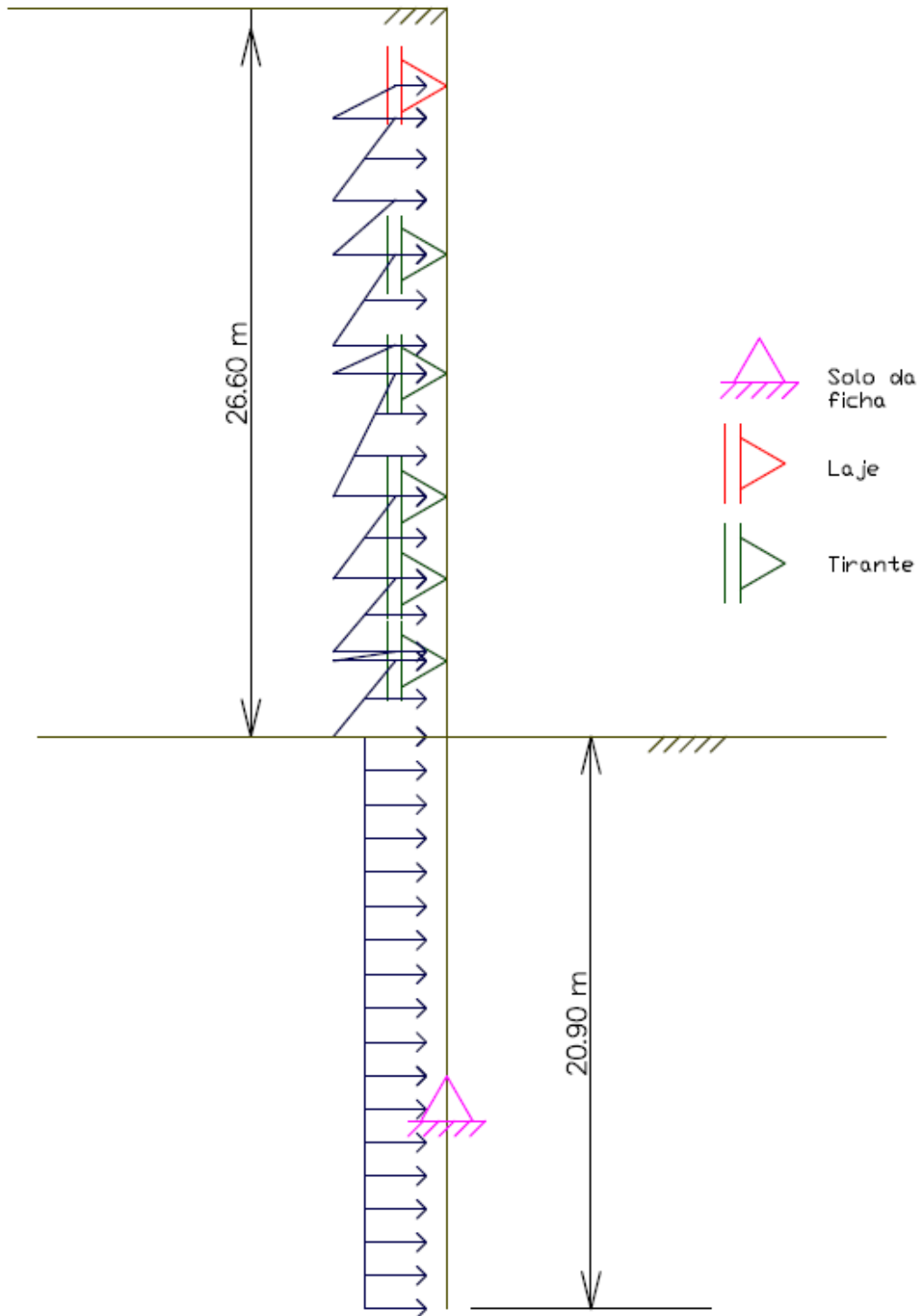


Figura 63 - Modelo carregado no Ftool.

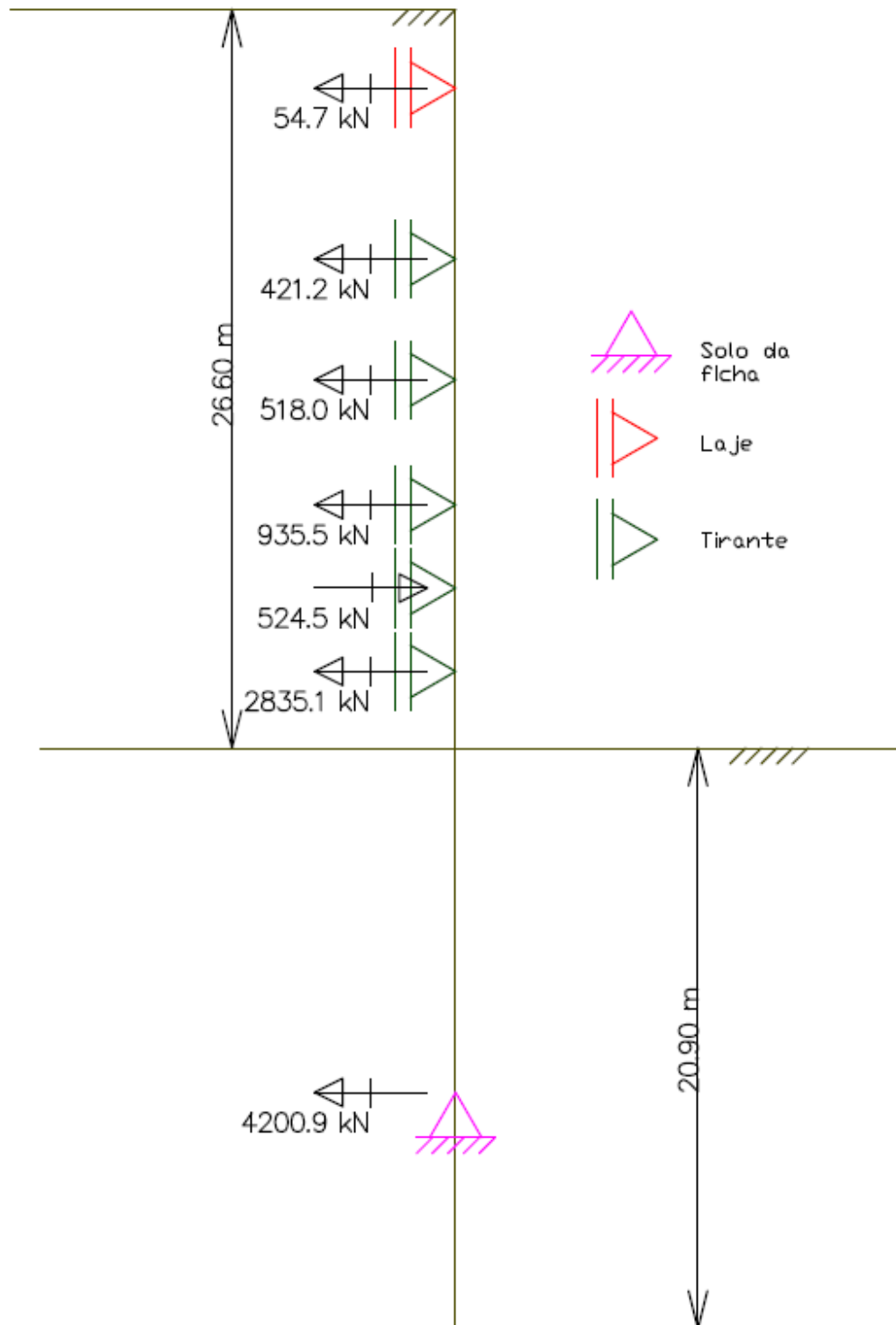


Figura 64 - Cálculo das reações no modelo carregado.

Com base nesse modelo, deve-se adotar um comprimento de ficha de forma a chegar a um $CS = 1,5$, adequado para uma obra provisória (enquanto não há travamento das lajes).

Assim, foi-se adotando valores crescentes para o comprimento de ficha, buscando-se atingir o CS indicado. O valor $CS = 1,5$ foi atingido para um comprimento de ficha de 21 m.

Nesse caso, obtem-se E_p e ΔE_a por integração dos diagramas de tensões horizontais ativas e passivas no comprimento da ficha.

$$E_p = 8950 \text{ kN};$$

$$\Delta E_a = 1920 \text{ kN};$$

Pelo modelo do Ftool, obteve-se a resultante R_f .

$$R_f = 4200 \text{ kN}$$

Deste modo, aplicando-se a fórmula do coeficiente de segurança, chega-se a um $CS = 1,5$ que é adequado para uma obra provisória, apenas enquanto não há travamento das lajes.

$$CS = \frac{E_p}{R_f + \Delta E_a}$$

$$CS = \frac{8950}{4200 + 1920} = 1,5$$

Análise Crítica

Uma ficha de 21 metros, necessária para obter-se um $CS=1,5$ na situação considerada, comparada com uma escavação de 26,6 metros de profundidade mostra-se excessiva. Como consequência da adoção de uma ficha desta magnitude, haveria um aumento significativo no custo da obra, já que os volumes de concreto e aço gastos para construir a ficha seriam muito elevados.

Como alternativa a esta solução propõe-se o rebaixamento do nível d'água no interior da escavação. Esta solução apresentará um aumento significativo da parcela

E_p , embora o empuxo hidrostático da parcela interna deixe de aliviar o empuxo hidrostático da parcela externa a ficha.

13.4.2 Solução Alternativa

Para a solução alternativa foi adotado a mesma metodologia de cálculo, para o mesmo modelo representado na Figura 61.

Por conta do rebaixamento, o empuxo hidrostático na ficha do lado passivo é nulo, assim o carregamento do modelo se modifica, sendo representado na Figura 65.

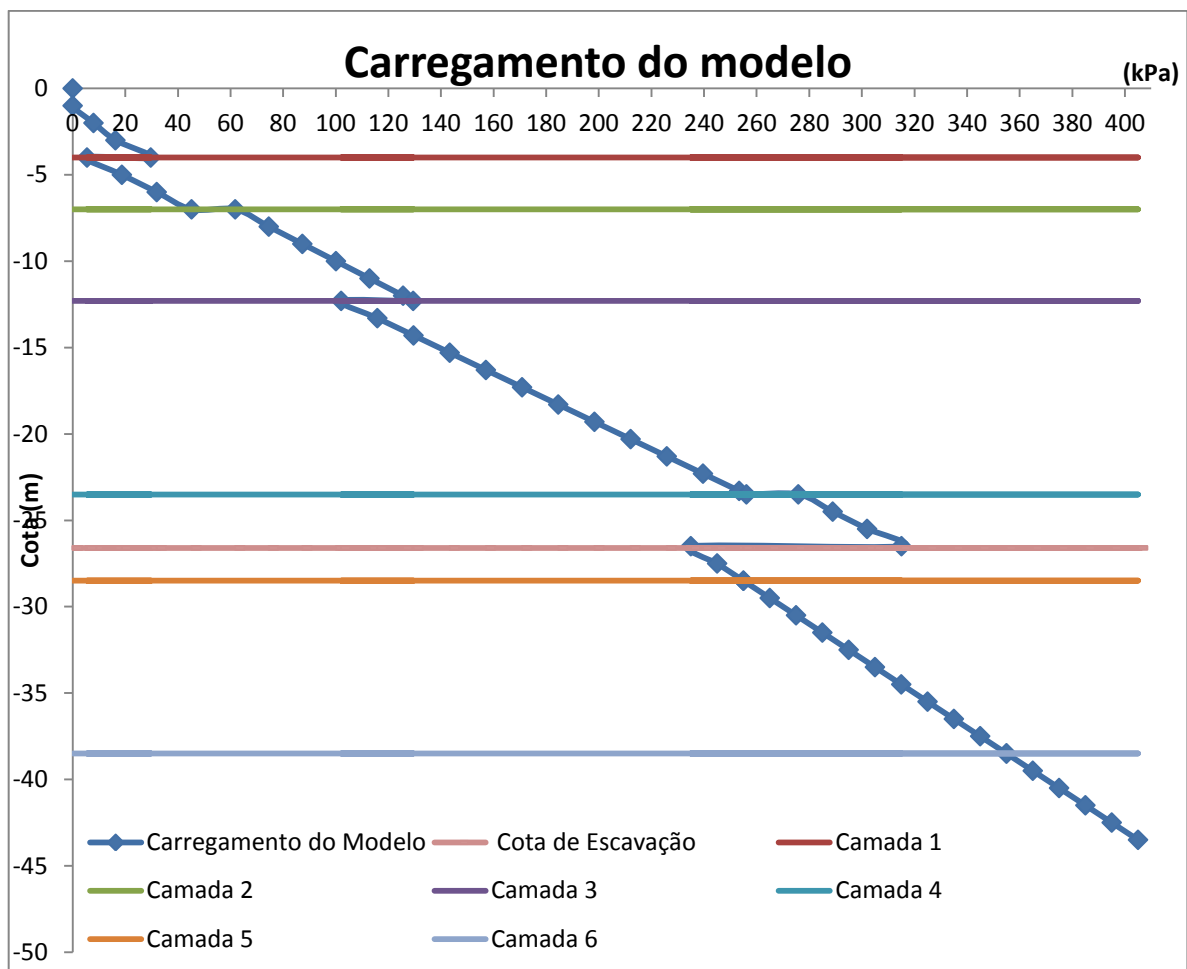


Figura 65 - Carregamento do modelo para solução alternativa.

Isto resulta em um modelo carregado como representado na Figura 66. Devido às limitações no *software* utilizado (Ftool), o diagrama de empuxos apresenta graficamente descontinuidades que não condizem com a realidade, pois gera gráficos desproporcionais.

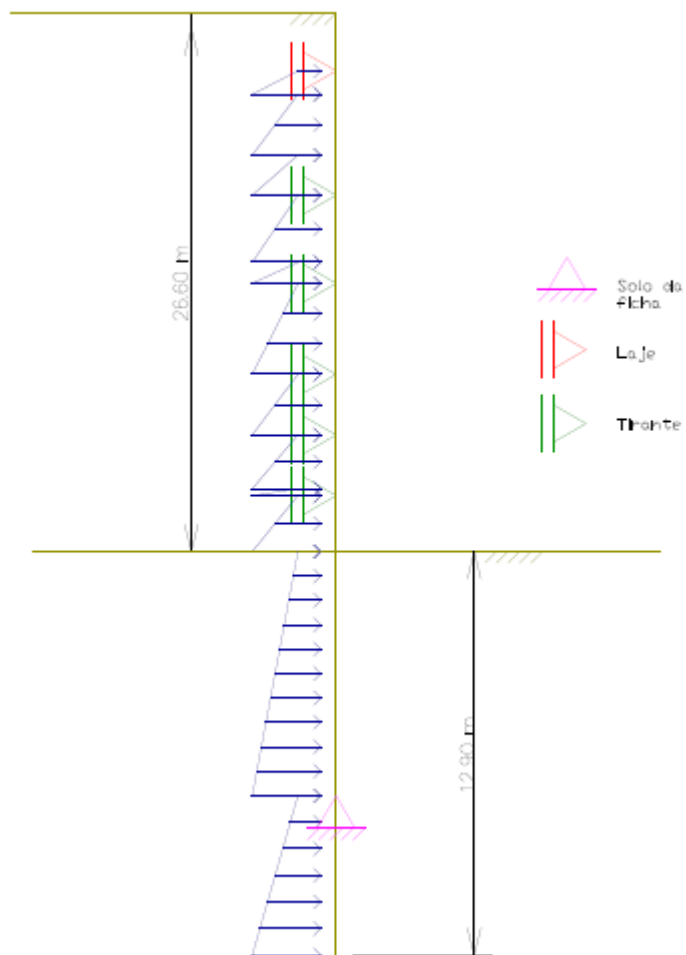


Figura 66 - Modelo carregado para solução alternativa.

Para esse novo carregamento, o comprimento de ficha que leva a um $CS = 1,5$ é de 13 metros. Com base nisto, obteve-se os seguintes resultados:

$$E_p = 6600 \text{ kN};$$

$$\Delta E_a = 930 \text{ kN};$$

E a resultante $R_f = 354 \text{ tf}$ obtida do cálculo de reações da Figura 67.

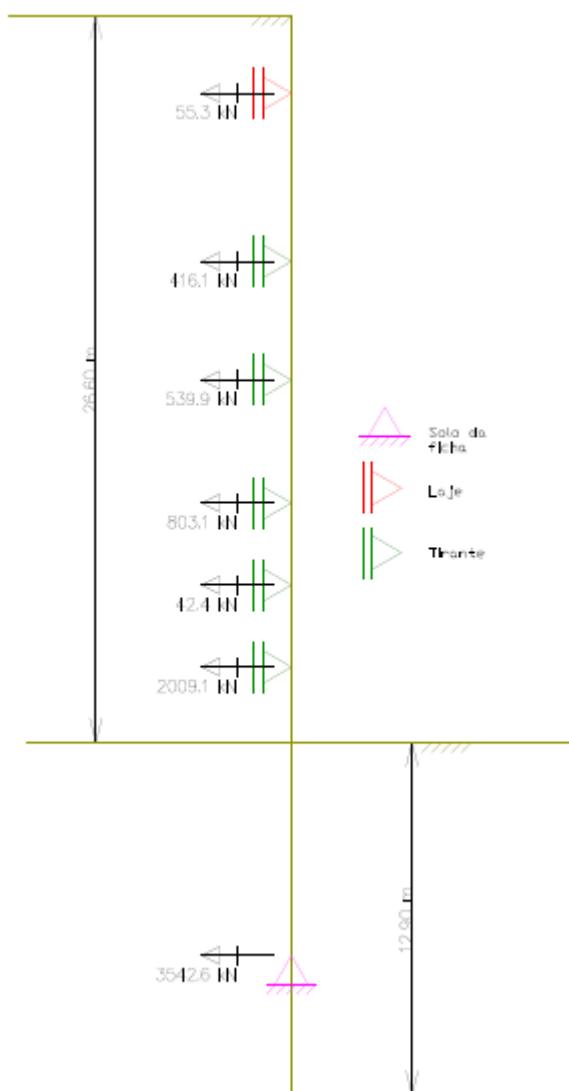


Figura 67 - Cálculo de reações no modelo carregado da solução alternativa.

Diagramas

O diagrama de momentos fletores, que está na unidade kN.m, obtido no modelo (FTool) está representado na Figura 68:

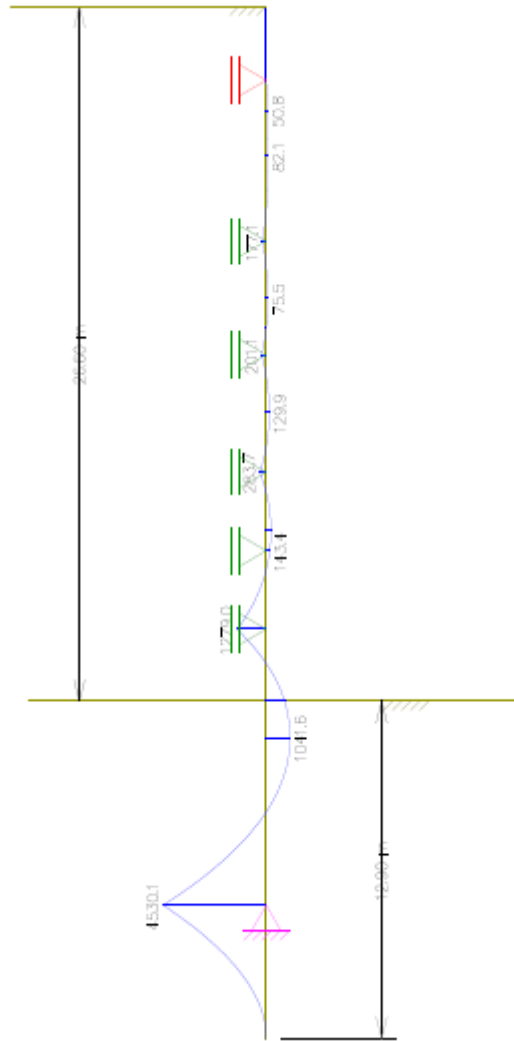


Figura 68 - Diagrama de momentos fletores da solução alternativa - fase final de escavação.

O diagrama de forças cortantes, que está na unidade KN, obtido no modelo (FTool) é o da Figura 69.

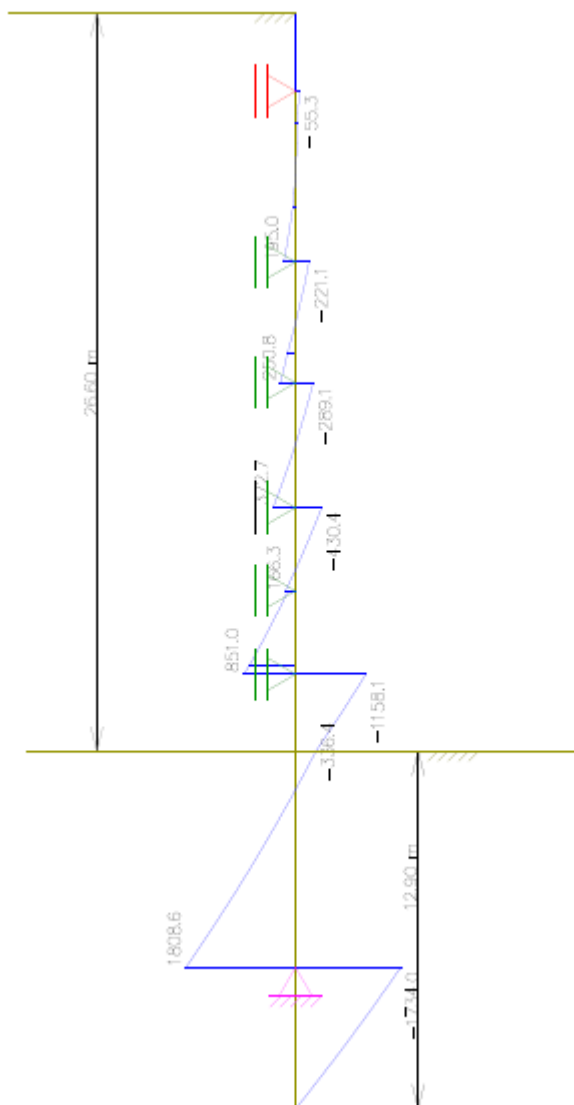


Figura 69 - Diagrama de forças cortantes da solução alternativa - fase final de escavação.

Em relação aos momentos fletores obtidos, é importante destacar a seguinte proposição:

Caso, no cálculo dos esforços, o momento negativo no último apoio (nível inferior de estroncas) resultar excessivo quanto ao valor admissível para a parede, poderá ser aumentado o valor de R_s até o limite do empuxo diferencial disponível, devendo, contudo, ser verificado o novo momento positivo (HACHICH *et al.*, 1996).

Esta medida permite obter uma redução do momento negativo, no entanto, um aumento do momento positivo, conforme a Figura 70.

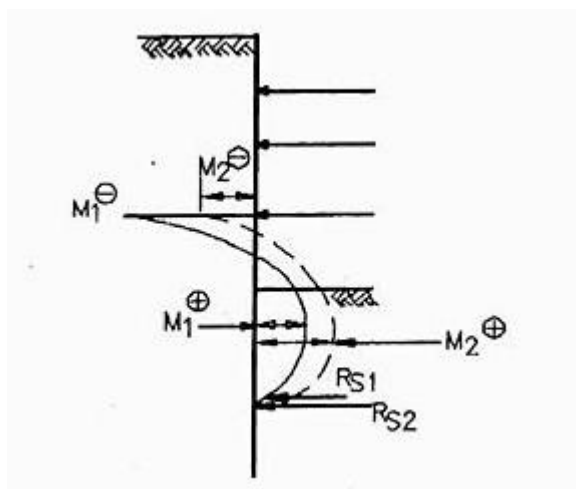


Figura 70 - Redistribuição de momentos no modelo.

Esta recomendação é útil para a etapa de dimensionamento da espessura da parede.

É importante destacar a recomendação de Hachich *et al.* (1996) em relação às forças cortantes de que para paredes com três ou mais níveis de estroncamento, devem ser adotadas as majorações indicadas na Figura 71.

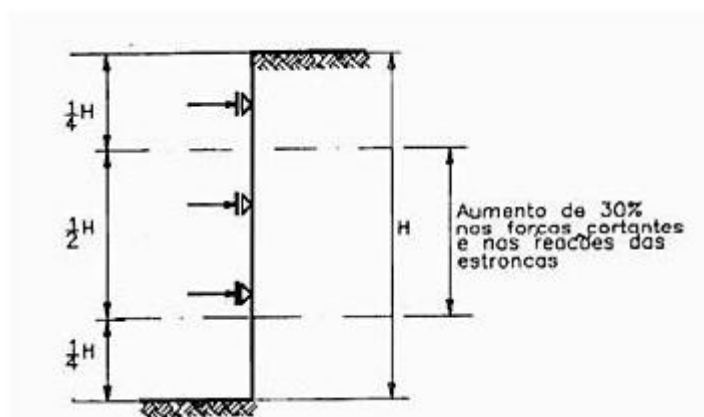


Figura 71 - Majoração das forças cortantes e Reações nos tirantes.

Para análise da etapa final de obra, quando a vala já estiver totalmente travada pelos níveis de lajes obtem-se os resultados indicados na Figura 72 e na Figura 73.

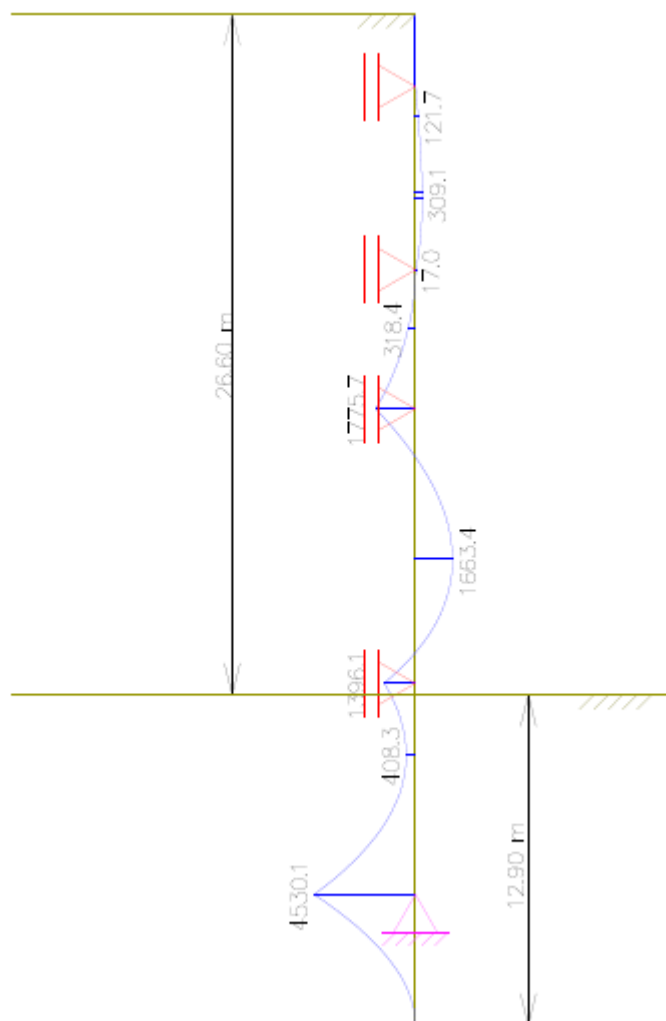


Figura 72 - Diagrama de momentos fletores da fase final da obra.

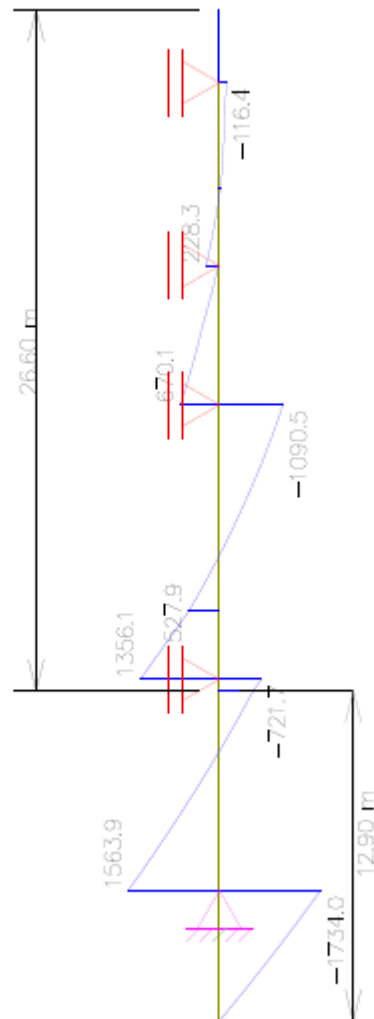


Figura 73 - Diagrama de forças cortantes para fase final da obra.

Análise Crítica

Após o novo cálculo da ficha mínima com a hipótese de rebaixamento do lençol freático dentro da escavação, conclui-se que uma ficha de 13 metros mostra-se mais razoável do que a ficha de 21 metros encontrada na primeira hipótese de cálculo. No entanto, mesmo havendo uma notória redução da ficha, seu comprimento ainda pode ser visto como excessivo. Claramente, nota-se que o grande comprimento de ficha encontrado é resultante do empuxo hidrostático, que é o condicionante nesta parede. Todavia, devido à presença da Igreja histórica de Moema e à preocupação com recalques, uma solução mais eficaz, contemplando o rebaixamento do lençol no exterior da escavação seria inviável.

Análise dos Resultados

De acordo com os diagramas obtidos na fase de escavação, obtivemos:

$$M_k = 1041 \times 1,25 = 1302 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$V_k = 1505,53 \text{ KN}$$

De acordo com os diagramas obtidos na fase final da obra, obtivemos:

$$M_k = 1663,4 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$V_k = 1356,1 \text{ KN}$$

Assim a parede deve ser dimensionada pelo caso crítico em que:

$$M_k = 1663,4 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$V_k = 1505,53 \text{ KN}$$

13.5 Dimensionamento da Seção Transversal da Parede Diafragma

Para o dimensionamento da parede diafragma em concreto armado foram utilizados dois critérios referentes ao ELU:

- Resistência da seção a flexo-compressão;
- Resistência da seção a força cortante.

O momento e a força cortante máximos de solicitação da parede foram calculados através do modelo em Ftool na etapa anterior, obtendo-se:

$$M_{k,máx} = 1663,4 \text{ kN.m};$$

$$V_{k,máx} = 1505,5 \text{ kN}.$$

A força normal máxima $N_{k,máx}$ atuante na parede foi considerada como sendo devida apenas à laje nervurada de cobertura, ao aterro acima da laje e a um trem tipo. Trata-se de uma condição simplificadora, uma vez que a parede também estará sujeita, no fim da construção, as cargas das lajes intermediárias. Assim, tem-se a laje representada na Figura 74 e os dados do problema na Figura 75 e na Figura 76.



Figura 74 - Representação da laje nervurada

Dados da laje de teto:	
Lx=	138 m
Ly=	23 m
$\gamma_{\text{concreto}}=$	25 KN/m ³
Dados da seção da nervura:	
hn=	0,6 m
h'n=	1,4 m
bwn=	0,5 m
bw'n=	2,5 m
Espaçamento entre nervuras=	2,0 m
Área da seção=	2,2 m ²
Volume da nervura=	50,6 m ³

Figura 75 - Dados da laje de cobertura.

Dados Reaterro:		
$\gamma_{\text{aterro}}=$	18	KN/m ³
Profundidade aterro=	2	m

Figura 76 - Dados do reaterro.

As nervuras são consideradas existentes em apenas uma direção e paralelas a ly .

Trem Tipo = 287,5 kN/m;

Reaterro = 414 kN/m;

Laje = 256,67 kN/m;

CARGA TOTAL = 958,17 kN/m.

O dimensionamento é feito com base em uma faixa da parede com 1m de largura.

Assim, pode-se considerar:

$N_{k,\text{máx}} = 958,17 \text{ kN}$.

Considera-se que a parede seja executada com concreto com $f_{ck} = 20 \text{ Mpa}$ e armada com aço CA-50. Para computo dos valores de cálculo, tem-se $\gamma = 1,4$ para os esforços, $\gamma_{\text{concreto}} = 1,9$ e $\gamma_{\text{aço}} = 1,15$. A Figura 77 apresenta resumo com os principais dados de entrada do problema.

$f_{ck} =$	20000,0	kN/m ²
$f_{yk} =$	500000,0	kN/m ²
$M_d =$	2328,8	kN.m
$V_d =$	2107,7	kN
$N_d =$	1341,4	kN
$f_{yd} =$	434782,6	kN/m ²
$f_{cd} =$	10526,3	kN/m ²

Figura 77 - Resumo dos dados de entrada.

Resistência da seção a flexo-compressão

Para este critério, o dimensionamento foi feito através do uso de diagramas adimensionais de flexo-compressão. A seção foi considerada como tendo armaduras simétricas nas duas faces paralelas a b_w . O cálculo foi feito para parede com $h=1\text{m}$ e com $h=0,8 \text{ m}$, referentes aos valores habituais de espessura para parede diafragma. A distância entre o CG da armadura e a face da parede foi tomada como sendo 10% da altura h . Como dito anteriormente, $b_w = 1\text{m}$. A seção é mostrada na Figura 78.

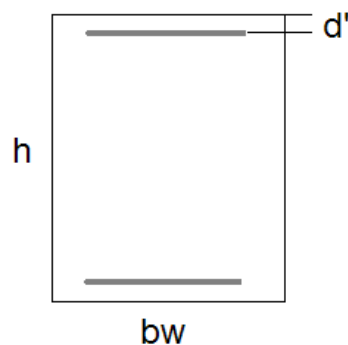


Figura 78 - Seção transversal da parede com armadura dupla.

Assim, utilizou-se o gráfico de interação mostrado na Figura 79.

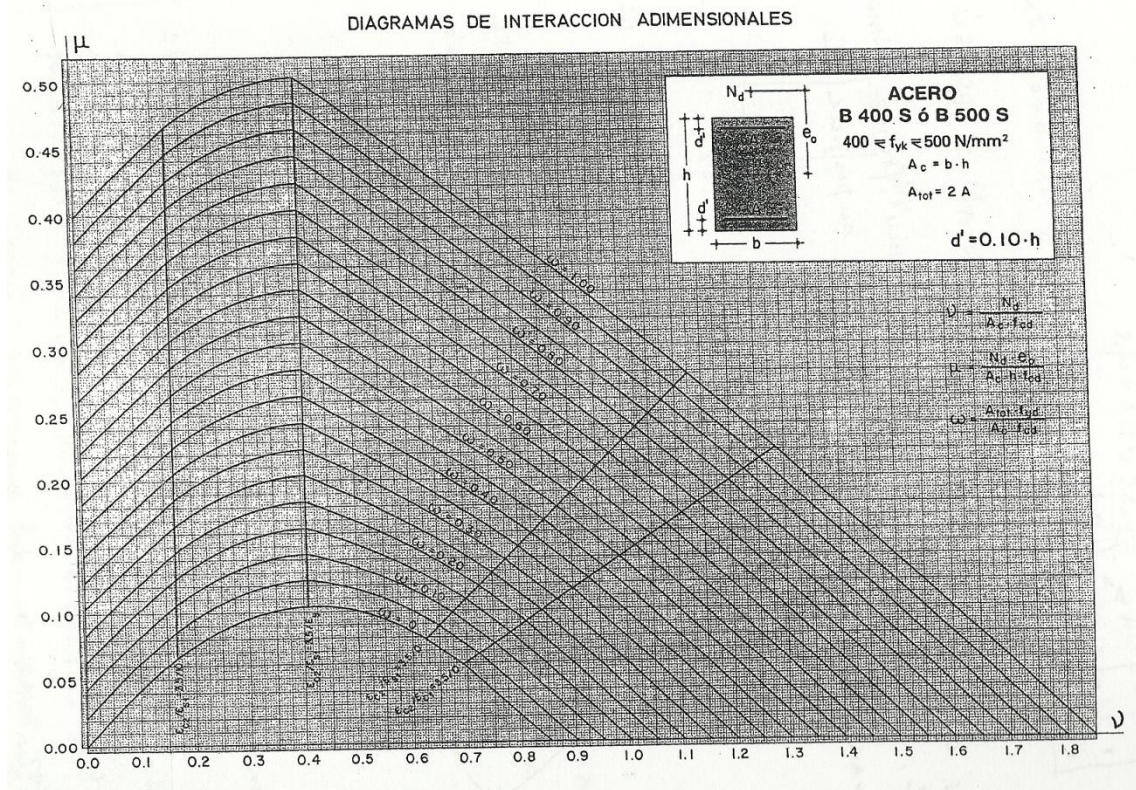


Figura 79 - Gráfico de interação (MONTROYA apud APOSTILA PEF2304, 20--).

Os coeficientes μ e ν , referentes, respectivamente, ao momento e à normal adimensionalizados, são calculados por:

$$\nu = \frac{N_d}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}}$$

$$\mu = \frac{M_d}{b_w \cdot h^2 \cdot f_{cd}}$$

A taxa de armadura ω é dada por:

$$\omega = \frac{A_{tot} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Para $h = 1\text{m}$, tem-se os resultados da Figura 80.

vd =	0,127	
μd =	0,221	
ω =	0,4	(grafico)
Atot =	0,0097	m2
	96,84	cm2
As =	48,42	cm2
As' =	48,42	cm2
10 barras de φ25 em cada face		

Figura 80 - Resultados para h=1m.

Para h = 0,8m, tem-se os resultados da Figura 81.

vd =	0,159	
μd =	0,346	
ω =	0,7	(grafico)
Atot =	0,0136	m2
	135,58	cm2
As =	67,79	cm2
As' =	67,79	cm2
14 barras de φ25 em cada face		

Figura 81 - Resultados para h=0,8m.

A parede com h = 0,8 resulta numa área de armadura muito elevada, o que pode gerar dificuldades em termos construtivos. Assim, segundo este critério, é preferível executar a parede com espessura de 1,0 m.

Resistência da seção a força cortante

A parede diafragma pode romper também sob a ação de forças cortantes de duas maneiras: fissuração diagonal das almas por insuficiência de armadura transversal e por esmagamento diagonal do concreto da alma. Para a sua verificação, a resistência obtida pelo concreto armado deve ser maior do que a solicitada pelos carregamentos atuantes. Logo, deve-se primeiramente calcular a força cortante resistente para posteriormente se fazer essa comparação (APOSTILA PEF2304, 20-). Para se garantir o primeiro modo de ruptura tem-se:

$$f_{ctd} = 0,15 * f_{ck}^{2/3}$$

$$V_c = 0,6 * f_{ctd} * b_w * d$$

$$\frac{A_s}{s} \geq \frac{V_d - V_c}{0,9 * d * f_{yd}}$$

Onde:

V_c = parcela da força cortante absorvida pelo concreto;

f_{ctd} = resistência do concreto à tração.

Já para se evitar o esmagamento diagonal do concreto da alma, a força cortante solicitada deve ser menor do que a força cortante resistente que é calculada da seguinte maneira:

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{cd}}{250}$$

$$V_{rd} = 0,27 * \alpha_{v2} * f_{cd} * b_w * d$$

Onde:

α_{v2} = valor da resistência do concreto à compressão na presença de armaduras tracionadas inclinadas em relação à seção da compressão.

O resultado obtido foi:

Para $h=0,8$ m:

$$\frac{A_s}{s} \geq 45,92 \text{ cm}^2 ; V_{rd} = 1882,61 \text{ kN.}$$

Para $h=1,0$ m:

$$\frac{A_s}{s} \geq 36,40 \text{ cm}^2 ; V_{rd} = 2353,6 \text{ kN.}$$

Como a área de aço encontrada para $h=0,8$ é de $67,79 \text{ cm}^2$, ela passa nesse critério. Já em relação ao V_{rd} , como a força cortante obtida pelo carregamento é $2107,7 \text{ kN}$, ela não passa e por isso deve-se aumentar a largura da parede. Com $h=1,0$ m, tem-se $48,42 \text{ cm}^2$ de aço, o que satisfaz com folga o primeiro modo de ruptura. Em relação ao V_{rd} , essa condição também é satisfeita, sendo a força cortante resistente maior do que a força cortante de cálculo. Conclui-se que a armadura escolhida para a parede de $1,0$ m de largura satisfaz a verificação em relação à força cortante.

Assim, adota-se a espessura de 1,0 m para a parede diafragma.

13.6 Cálculo de Ficha para Parede Diafragma como Fundação

Para efeito de cálculo, a verificação da parede como um elemento de fundação é realizada na região de sua ficha, para um metro de parede. Pode-se considerar que sua ficha se comporta como uma estaca barrete.

De acordo com a norma NBR 6122/2010: Projeto e execução de fundações (ABNT, 2010), para o projeto de fundações profundas é necessário calcular suas cargas admissíveis, as quais devem atender tanto aos critérios de estado-limite último (ELU) quanto aos de estado-limite de serviço (ELS). No caso de fundações em estacas, a carga admissível é determinada a partir da carga de ruptura com o emprego de um coeficiente de segurança adequado, com a seguinte relação:

$$Q_{adm} \leq Q_{rup}/FS$$

Onde:

Q_{adm} = carga admissível;

Q_{rup} = carga de ruptura;

FS = fator de segurança (depende do tipo de método empregado, e para métodos semi-empíricos, a norma estabelece o valor de 2,0).

A carga de ruptura pode ser obtida através de métodos estáticos, dinâmicos ou ainda provas de carga. Métodos estáticos de cálculo estão relacionados às teorias da mecânica dos solos, ou ainda, aos métodos semi-empíricos, que também fazem uso de correlações com ensaios *in situ*.

Utiliza-se, neste trabalho, o método semi-empírico de dimensionamento de fundações de Aoki e Velloso (AOKI E VELLOSO, 1975 apud WOLLE, 1993). Este método permite encontrar o comprimento de ficha necessário para que a capacidade de carga do solo seja igual à capacidade de carga da estaca. Isto evita que o solo rompa caso a estaca seja muito curta e possua uma capacidade de carga maior do que a do solo. Da mesma maneira, evita o superdimensionamento de estacas com fichas maiores do que o necessário que permitem transferir ao solo uma carga maior do que elas próprias suportam (WOLLE, 1993).

Segundo Hachich et al. (1996): “uma estaca submetida a um carregamento vertical irá resistir a essa solicitação parcialmente pela resistência ao cisalhamento gerada ao longo do seu fuste e parcialmente pelas tensões normais geradas ao nível de sua ponta.” Desse modo, sua capacidade de carga é expressa por

$$Q_u = Q_s + Q_p$$

Onde:

Q_u = capacidade de carga ou carga de ruptura da estaca;

Q_s = carga máxima suportada por atrito lateral;

Q_p = carga máxima suportada pela ponta da estaca.

Deste modo, o método de Aoki e Velloso calcula a capacidade de carga do solo ou carga de ruptura a cada metro de ficha, se baseando nos resultados obtidos dos ensaios de penetração de cone (CPT), ou de SPT. As fórmulas utilizadas são:

$$P_r = P_a + P_p$$

$$P_a = \sum \frac{U * \delta l_i * q_s}{F_2}$$

$$P_p = A_p * q_c / F_1$$

$$q_s = \alpha * q_c$$

$$q_c = K * NSPT$$

Onde:

P_r = carga de ruptura;

P_a = carga suportada por atrito lateral;

P_p = carga suportada por ponta;

U = perímetro da seção transversal da estaca;

δl_i = trecho em que q_s é constante (neste caso, é igual a 1 metro);

q_s = resistência de atrito lateral local do ensaio SPT;

F_1 e F_2 = fatores de conversão do ensaio para a estaca;

A_p = área da seção transversal na ponta da estaca;

q_c = resistência de ponta do ensaio SPT;

α e K = parâmetros do solo;

NSPT = índice de resistência à penetração (golpes/30cm).

Os valores de K e α , F_1 e F_2 são determinados conforme a Figura 82 e com a Figura 83, respectivamente.

Tipo de Solo	k kgf/cm ²	α (%)
Areia	10,0	1,4
Areia siltosa	8,0	2,0
Areia silto-argilosa	7,0	2,4
Areia argilosa	6,0	3,0
Areia argilo-siltosa	5,0	2,8
Silte	4,0	3,0
Silte arenoso	5,5	2,2
Silte areno-argiloso	4,5	2,8
Silte argiloso	2,3	3,4
Silte argilo-arenoso	2,5	3,0
Argila	2,0	6,0
Argila arenosa	3,5	2,4
Argila areno-siltosa	3,0	2,8
Argila siltosa	2,2	4,0
Argila silto-arenosa	3,3	3,0

Figura 82 - Valores de K e alfa para diferentes camadas de solo (HACHICH *et al.*, 1996).

Tipo de Estaca	F_1	F_2
Pré-moldadas	1,75	3,50
Metálicas	1,75	3,50
Franki	2,50	5,00
Escavadas *	3,50	7,00

* F_1 e F_2 de acordo com Aoki, Velloso e Salomoni (1978)

Figura 83 - Valores de F_1 e F_2 para diferentes tipos de estaca (HACHICH *et al.*, 1996).

A norma NBR 6122/2010 (ABNT, 2010) destaca que para cada tipo de fundação, devem-se considerar as parcelas de atrito lateral e de ponta levando-se em conta sua técnica executiva e outras peculiaridades. Especificamente para estacas escavadas, como as estacas barrete, a norma estabelece o seguinte: “No caso específico de estacas escavadas, a carga admissível deve ser de no máximo 1,25

vezes a resistência do atrito lateral calculada na ruptura, ou seja, no máximo 20 % da carga admissível pode ser suportada pela ponta da estaca [...]”. Esta outra condição para o cálculo da carga admissível se justifica pelo fato de a capacidade de carga de ponta depender do processo de limpeza do fundo durante a execução da estaca, o que pode não ser seguro. Além disso, a mobilização das tensões de ponta necessita de elevados recalques se comparados aos recalques necessários para mobilização das tensões de atrito lateral.

Prosseguindo-se com os cálculos, a carga admissível encontrada deve ser comparada ao carregamento na fundação, e o comprimento de ficha procurado deverá ser aquele que satisfaz as seguintes imposições da norma, resumidamente:

$$Q_{adm} \geq Q_{carregamento}$$

Onde Q_{adm} será o menor entre:

$$Q_{adm} = Pr/FS$$

$$Q_{adm} = 1,25 * Pa$$

O carregamento atuante na estaca pode ser observado na Figura 84.

Carregamentos		
Trem-tipo	287,5	kN/m
Reaterro	414,00	kN/m
Peso próprio da laje	256,67	kN/m
Carga total	958,17	kN/m
Carga total majorada (1,4)	1341,43	kN/m

Figura 84 - Carregamentos.

Deste modo, chegou-se a uma altura de ficha de 8 metros. A planilha de cálculo pode ser observada na Figura 85.

Cabe citar que os valores de SPT foram limitados a no máximo 50. A cota de fundo da escavação, e, portanto, de início da ficha, é em 726,50m.

z	SPT	Tipo de solo	K (kgf/cm ²)	alfa	qc (kgf/cm ²)	qs (Atrito lateral) (kg/cm ²)	qp (Ponta) (kgf/cm ²)	Pa (kN)	Pa acumulado	Pp (kN)	Pr (kN)	Ficha (m)	Condição 80%	Condição FS=2
													1,25 * Pa (kN)	Pr / 2 (kN)
726,5	20,00	Areia argilosa pouco siltosa	5,0	0,028										
725,5	24,00	Areia argilosa pouco siltosa	5,0	0,028	120,0	0,48	34,29	96,00	96,00	3428,57	3524,57	1	120,00	1762,29
724,5	50,00	Areia argilosa pouco siltosa	5,0	0,028	250,0	1,00	71,43	200,00	296,00	7142,86	7438,86	2	370,00	3719,43
723,5	32,00	Argila siltosa pouco arenosa	3,3	0,030	105,6	0,45	30,17	90,51	386,51	3017,14	3403,66	3	483,14	1701,83
722,5	50,00	Argila siltosa pouco arenosa	3,3	0,030	165,0	0,71	47,14	141,43	527,94	4714,29	5242,23	4	659,93	2621,11
721,5	50,00	Argila siltosa pouco arenosa	3,3	0,030	165,0	0,71	47,14	141,43	669,37	4714,29	5383,66	5	836,71	2691,83
720,5	50,00	Argila siltosa pouco arenosa	3,3	0,030	165,0	0,71	47,14	141,43	810,80	4714,29	5525,09	6	1013,50	2762,54
719,5	50,00	Argila siltosa pouco arenosa	3,3	0,030	165,0	0,71	47,14	141,43	952,23	4714,29	5666,51	7	1190,29	2833,26
718,5	50,00	Argila siltosa pouco arenosa	3,3	0,030	165,0	0,71	47,14	141,43	1093,66	4714,29	5807,94	8	1367,07	2903,97
717,5	50,00	Argila siltosa pouco arenosa	3,3	0,030	165,0	0,71	47,14	141,43	1235,09	4714,29	5949,37	9	1543,86	2974,69
716,5	50,00	Argila siltosa pouco arenosa	3,3	0,030	165,0	0,71	47,14	141,43	1376,51	4714,29	6090,80	10	1720,64	3045,40
715,5	50,00	Argila siltosa pouco arenosa	3,3	0,030	165,0	0,71	47,14	141,43	1517,94	4714,29	6232,23	11	1897,43	3116,11
714,5	50,00	Argila siltosa pouco arenosa	3,3	0,030	165,0	0,71	47,14	141,43	1659,37	4714,29	6373,66	12	2074,21	3186,83
713,5	50,00	Areia argilosa pouco siltosa	5,0	0,028	250,0	1,00	71,43	200,00	1859,37	7142,86	9002,23	13	2324,21	4501,11
712,5	50,00	Areia argilosa pouco siltosa	5,0	0,028	250,0	1,00	71,43	200,00	2059,37	7142,86	9202,23	14	2574,21	4601,11
711,5	50,00	Areia argilosa pouco siltosa	5,0	0,028	250,0	1,00	71,43	200,00	2259,37	7142,86	9402,23	15	2824,21	4701,11
710,5	50,00	Areia argilosa pouco siltosa	5,0	0,028	250,0	1,00	71,43	200,00	2459,37	7142,86	9602,23	16	3074,21	4801,11
709,5	50,00	Areia argilosa pouco siltosa	5,0	0,028	250,0	1,00	71,43	200,00	2659,37	7142,86	9802,23	17	3324,21	4901,11

Figura 85 - Representação da planilha de cálculo por Aoki e Velloso.

13.7 Estabilidade Global

De acordo com Hachich *et al.* (1996):

A verificação de um sistema de contenção quanto à sua estabilidade geral consiste na verificação de um mecanismo de ruptura global do maciço onde a parede de contenção é um elemento interno à massa de solo, que potencialmente pode se deslocar como corpo rígido.

Desse modo, a verificação é feita, normalmente, garantindo um coeficiente de segurança adequado à rotação de uma massa de solo que se desloque ao longo de uma superfície de diretriz circular.

O coeficiente de segurança é obtido da relação entre os momentos de esforços resistentes e os momentos de esforços solicitantes.

$$CS = \frac{\sum Mr}{\sum Ms}$$

Onde:

$\sum Mr$ = somatória dos momentos dos esforços resistentes;

$\sum Ms$ = somatória dos momentos dos esforços solicitantes.

Para o cálculo do coeficiente de segurança, podem ser empregados métodos de cálculo de equilíbrio limite utilizados para avaliação de estabilidade de taludes, dando-se atenção especial à aplicabilidade das hipóteses adotadas pelos métodos ao caso analisado. Os valores usualmente aceitos para o coeficiente de segurança são de no mínimo 1,3 para obras provisórias, e no mínimo 1,5 para obras permanentes.

13.8 Estabilidade de Fundo

Segundo Marzionna (1979), o mecanismo de ruptura associado ao esgotamento de capacidade de suporte da base de um talude ou escavação é conhecido como ruptura de fundo de vala, e é similar ao fenômeno de ruptura de fundações rasas. Ele ocorre quando o carregamento é superior à capacidade de carga do solo. A Figura 86 ilustra o fenômeno.

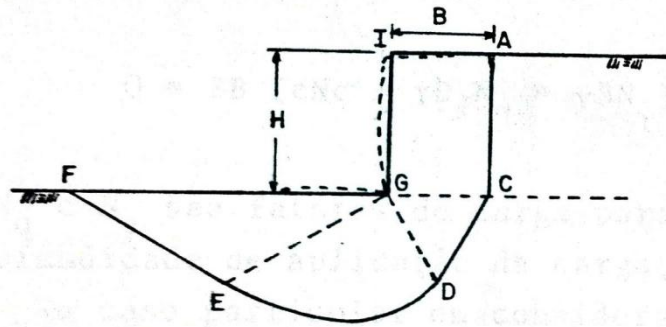


Figura 86 - Ruptura da base de um talude vertical (MARZIONNA, 1979).

Quando o fundo da escavação for em argila mole, a análise da estabilidade de fundo pode ser condicionante para o dimensionamento do sistema de contenção. Para outros tipos de solo, ela pode não ser condicionante (HACHICH *et al.*, 1996). Mesmo assim, é importante que se faça sua verificação.

Existem diversos métodos de cálculo, a maioria baseada na Teoria de Capacidade Geral de Carga de Terzaghi (TERZAGHI, 1943 apud MARZIONNA, 1979).

Teoria da capacidade geral de carga de Terzaghi

De acordo com esta teoria, a capacidade de carga de uma faixa de largura B junto ao pé do talude é estimada como a metade da capacidade de carga de uma faixa de largura 2B, sendo esta última definida pela fórmula:

$$Q = 2 * B * (cN_c + \gamma D_f N_q + \gamma B N_\gamma)$$

Onde:

N_c , N_q e N_γ = fatores de carga para fundações rasas;

D_f = profundidade de aplicação de carga.

O carregamento, ou sobrecarga, exercido pela largura de solo do corte, atuante por unidade de área, deverá ser menor do que a capacidade de carga do terreno calculada, aplicado o coeficiente de segurança adequado.

$$\text{Carregamento} = \gamma * H;$$

$$\gamma * H \leq Q/FS$$

Onde:

γ = peso específico do solo;

H = altura do corte;

FS = fator de segurança.

Vale destacar que esta teoria considera como superpostos os efeitos de coesão, peso específico do solo e sobrecargas laterais que podem existir, determinando fatores de cargas, os quais são função do ângulo de atrito interno do solo. Além disso, ela faz uso de valores conservativos, devendo-se sempre atentar para o método de ensaio que dá origem ao ângulo de atrito utilizado.

Verificação de estabilidade de fundo de vala segundo Terzaghi

A teoria de Terzaghi para estabilidade de fundo de vala contempla a idealização de uma vala escorada com parede de contenção sem ficha, a qual foi estudada para dois tipos de solos ideais: areia pura (caracterizada pelo ângulo de atrito interno ϕ) e argila pura (caracterizada por sua coesão c) (MARZIONNA, 1979).

Considera-se a teoria utilizada para areia pura, que mais se assemelha ao presente estudo onde o fundo da vala é em areia, conforme esquematizado na Figura 87. Neste caso, a teoria estabelece que a tensão atuante na base da faixa carregada de largura B é a diferença entre o peso da faixa de solo (representada por ACDE) e a força de atrito atuante na face de contato solo-solo, que é aproximadamente igual ao empuxo ativo de terra multiplicado pelo coeficiente de atrito do solo.

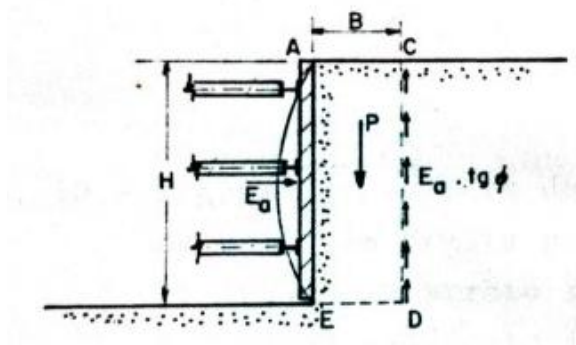


Figura 87 - Esquema de uma vala com parede de contenção sem ficha em areia pura (MARZIONNA, 1979).

O coeficiente de segurança, então, é a relação entre a capacidade de carga do solo e a carga aplicada pelo solo adjacente à escavação, podendo ser expressa abaixo.

$$FS = 2 * N\gamma * \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) * \operatorname{tg}\phi$$

Cabe citar que existem outros métodos de verificação de estabilidade de fundo de valas, os quais podem ser verificados em Marzionna (1979). Porém, a maioria considera apenas o fundo de vala em argila, e outros nem mesmo consideram o efeito de escoramentos. Além disso, nenhum dos métodos levantados por Marzionna (1979) levam em consideração a presença de ficha na parede, apesar de alguns sugerirem que seu emprego pode elevar a estabilidade de fundo.

13.9 Considerações acerca de análise de recalques

Para o dimensionamento de uma contenção é importante efetuar a análise dos deslocamentos da superfície, ou seja, deve-se quantificar a movimentação do sistema de contenção para que sejam evitados recalques excessivos ou prejudiciais às estruturas e utilidades vizinhas. Assim, além da análise da estrutura quanto ao Estado Limite Último, não se dispensa o cálculo ou pelo menos uma avaliação dos recalques à superfície e seus efeitos.

“[...] admitindo-se que o projeto da vala seja feito seguindo as normas usuais de segurança, podemos associar os recalques à superfície, no terreno adjacente à vala, quase que exclusivamente à movimentação da parede [...]” (MARZIONNA, 1979).

Existem critérios empíricos, baseados em um grande número de informações obtidas de observações de campo. Estes métodos em geral dependem do tipo de solo e qualidade.

Há também métodos semi-empíricos que avaliam os deslocamentos horizontais da parede em cada fase da escavação de maneira independente. Devido à consideração de fases independentes, geralmente estes métodos apresentam menores deslocamentos do que os reais.

Ainda segundo Marzionna (1979), uma maneira simplificada de avaliar recalques à superfície, dependendo do tipo de estrutura e utilidades próximas à vala, baseia-se

em igualar o volume de recalque com o volume existente entre a posição final e inicial da viga admitida para o cálculo. A Figura 88 exemplifica o método.

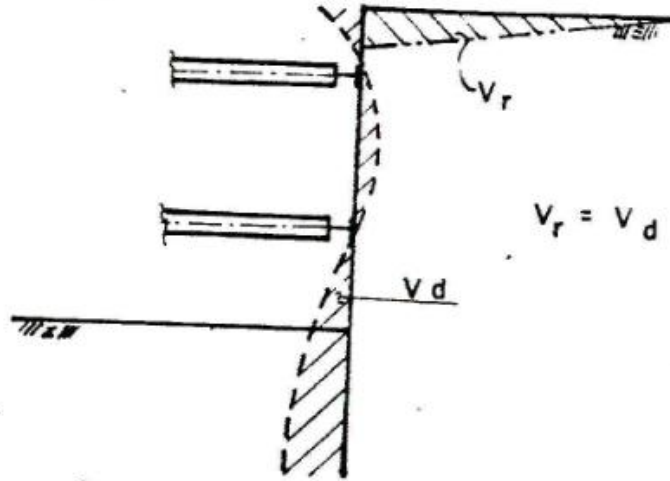


Figura 88 - Critério simplista para avaliação de recalques (MARZIONNA, 1979).

Quanto aos métodos analíticos unidimensionais, o método é análogo ao utilizado no semi-empírico, no entanto mais preciso devido à consideração dos deslocamentos de forma evolutiva. Existem também os métodos analíticos bidimensionais que apresentam, em geral, uma avaliação bastante requintada dos recalques a superfície, em geral recomendados para casos aonde é necessário uma análise mais profunda dos recalques superficiais.

Embora os métodos apresentados anteriormente tenham uma grande importância para avaliar recalques, a melhor maneira, entretanto, para obter valores reais é através da instrumentação. Todavia, a grande desvantagem é que os valores só podem ser obtidos depois de o recalque ter ocorrido. Entretanto, através dos primeiros resultados obtidos poder-se-ia fazer uma primeira avaliação da velocidade de recalque, do recalque máximo a ser esperado, do tempo de estabilização, etc.

No presente trabalho, não foi feita uma análise dos recalques, embora se saiba que devido à presença da igreja Nossa Senhora Aparecida, e à preocupação com os recalques esta etapa é extremamente necessária.

14 IMPACTOS E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Uma obra de grande porte como a da extensão da Linha 5 – Lilás do metrô evidentemente possui grande potencial para causar impactos ao meio ambiente. Cabe a jurisdição ambiental regular e fiscalizar o empreendimento de forma a manter-se um controle sobre esses impactos, viabilizando sua implantação. A esse controle é dado o nome de processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) (SÁNCHEZ, 2006): “Processo de AIA é um conjunto de procedimentos concatenados de maneira lógica, com a finalidade de analisar a viabilidade ambiental de projetos, planos e programas, e fundamentar uma decisão a respeito”.

Esse processo é colocado em prática através de um sistema de AIA: “Sistema de AIA é o mecanismo legal e institucional que torna operacional o processo de AIA em uma determinada jurisdição” (SÁNCHEZ, 2006).

A Figura 89 esquematiza um processo de AIA genérico. Cada jurisdição, baseada em suas normas jurídicas e em sua estrutura institucional e procedimentos administrativos, adapta esse processo genérico as suas necessidades, constituindo seu próprio sistema de AIA.

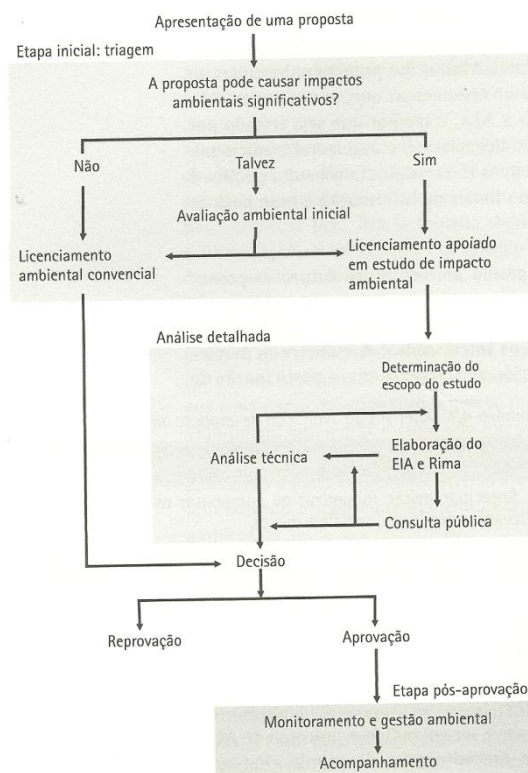


Figura 89 - Simplificação do Processo genérico de AIA (SÁNCHEZ, 2006).

No Brasil, um dos principais componentes do sistema de AIA é o processo de licenciamento ambiental. Este processo constitui-se da expedição de licenças, por parte do Poder Público, para diferentes etapas da realização do empreendimento, a saber:

- Licença Prévia (LP): na fase preliminar do planejamento da atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observando os planos estaduais e federais de uso do solo.
- Licença de Instalação (LI): autorizando o início da implantação, de acordo com as especificações constantes em projetos aprovados.
- Licença de Operação (LO): autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus equipamentos de controle de poluição, de acordo com o previsto das LP e LI.

O processo de licenciamento das obras de extensão da Linha 5 – Lilás do metrô de São Paulo é conduzido em âmbito estadual pela CETESB. As licenças são expedidas em resposta a uma série de documentos técnicos e estudos ambientais realizados e apresentados pelo empreendedor. No caso do Metrô, destaca-se, na etapa de expedição da LP, a apresentação do Funcional, contendo o conceito do projeto, e do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impactos ao Meio Ambiente (EIA/RIMA). Para a expedição da LI, são apresentados, dentre outros, os Projetos Básicos, mostrando o projeto com maior nível de detalhamento, e o Plano Básico Ambiental (PBA). A seguir, apresenta-se de forma geral o conteúdo do EIA/RIMA e PBA da expansão da Linha 5 – Lilás.

14.1 Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é o documento mais importante de todo o processo de AIA. É com base nele que se tomam as principais decisões quanto à viabilidade ambiental de um projeto, quanto à necessidade de medidas mitigadoras ou compensatórias e quanto ao tipo e o alcance dessas medidas (SÁNCHEZ, 2006). O Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) tem como propósito apresentar, de forma resumida e clara, os resultados obtidos no Estudo de Impacto Ambiental (EIA).

Dentre os elementos que constituem esses relatórios, pode-se citar (SISTRAN ENGENHARIA, 2009):

- Caracterização do empreendimento;
- Diagnóstico Ambiental: definindo as áreas de influencia do empreendimento, e sua caracterização em termos de meios físico, urbano e biótico;
- Identificação e Avaliação de Impactos Ambientais: aponta quais são os impactos e a importância relativa de cada um deles;
- Planos e Programas Ambientais;
- Prognóstico Ambiental

Dentre os impactos ambientais apontados no EIA/RIMA, destacam-se:

a) Impactos no Meio Físico:

- Geração de resíduos sólidos;
- Contaminação do solo:
- Riscos de acidentes geotécnicos e alteração da estabilidade do solo;
- Erosão e assoreamento dos cursos d'água;
- Alteração na dinâmica hidrogeológica e contaminação de aquíferos;
- Aumento da vazão no sistema de drenagem superficial;
- Alteração da qualidade do ar;
- Alteração nas condições de ruído;
- Alteração nas condições de vibrações induzidas ao solo.

b) Impactos no Meio Urbano e Socioeconômico:

- Geração de expectativas na comunidade;
- Remoção da população residente e atividades econômicas;
- Risco de acidentes na obra e para a população;
- Alteração do uso do solo predominante e da paisagem urbana;
- Interferência em potenciais sítio arqueológicos;
- Interferência em edifícios do patrimônio histórico;
- Geração de emprego;

- Aumento do potencial de atratividade de empresários e negócios;
- Alteração de valores imobiliários;
- Geração de demanda por infra-estrutura e serviços públicos;
- Interrupção dos serviços de infra-estrutura urbana;
- Alteração no sistema viário;
- Alteração na acessibilidade;
- Sinergia com projetos co-localizados.

c) Impactos no Meio Biótico:

- Supressão de vegetação;
- Intervenção nas áreas protegidas;
- Alteração das condições para a fauna.

14.2 Plano Básico Ambiental

O Plano Básico Ambiental (PBA) é o documento que apresenta a gestão ambiental do empreendimento. Por gestão ambiental, entende-se:

Conjunto de medidas de ordem técnica e gerencial que visam assegurar que o empreendimento seja implantado, operado e desativado em conformidade com a legislação ambiental e outras diretrizes relevantes, a fim de minimizar os riscos ambientais e os impactos adversos, além de maximizar os efeitos benéficos (SÁNCHEZ, 2006).

A gestão ambiental da expansão da Linha 5 – Lilás está organizada através de Planos e Programas Ambientais, apresentados no PBA. Este conjunto de Planos e Programas apresenta os seguintes objetivos:

- Garantir a plena operacionalização de todos os compromissos assumidos na fase de Licenciamento Ambiental Prévio;
- Assegurar o enquadramento das atividades desenvolvidas nas normas ambientais aplicáveis;

- Implantar procedimentos e instruções de trabalhos específicos para todos os processos e atividades com implicações ambientais a serem executadas;
- Potencializar a capacidade de monitoramento da evolução das condições ambientais da área de influência e dos fatores que atuam sobre elas;
- Potencializar a capacidade de previsão de impactos;
- Instrumentar o Metrô para o gerenciamento dos passivos ambientais pré-existentes;
- Garantir a inclusão de critérios ambientais em todas as fases do processo de detalhamento do Projeto Executivo;
- Assegurar o monitoramento ambiental e a documentação rigorosa de todas as ações desenvolvidas;
- Instrumentar o Metrô para atendimento a situações emergenciais envolvendo risco e/ou impacto ambiental;
- Verificar periodicamente o desempenho ambiental do empreendimento;
- Garantir um adequado relacionamento com as comunidades lindeiras e com a sociedade civil em geral.

Todos os Planos e Programas Ambientais estão estruturados no PBA da seguinte forma:

- Introdução / Justificativa, nos quais são explicados os motivos para a formulação do Programa e a sua necessidade funcional no âmbito do PBA como um todo;
- Objetivos gerais e específicos;
- Âmbito de Aplicação, no qual se definem os grupos e aspectos do empreendimento que serão afetados por cada programa;
- Ações ou Atividades, nas quais são listadas as diversas atividades técnicas e/ou administrativas a serem realizadas no âmbito de cada programa;
- Distribuição de Responsabilidades, identificando todos os participantes com funções específicas e distribuindo as responsabilidades funcionais entre os mesmos;
- Cronograma, no qual são estipuladas as datas marco de início e fim de cada programa, apresentando, quando possível, informações mais detalhadas sobre a programação de atividades específicas.

Os programas foram desenvolvidos a partir dos impactos identificados no EIA/RIMA da Linha 5-Lilás do Metrô nas três fases do empreendimento: planejamento, implantação e operação. O estudo ambiental propôs uma série de medidas para prevenção e/ou mitigação dos impactos ambientais potenciais identificados, sendo os mais significativos passíveis de ocorrer durante a implantação do empreendimento. Essas medidas foram estruturadas em nove planos e programas ambientais, detalhados a seguir.

1 Programa de Gestão Ambiental do Empreendimento (PGA)

O PGA é o programa geral que engloba todos os demais.

2 Programa de Controle Ambiental da Construção (PCA)

O Programa de Controle Ambiental (PCA) tem a finalidade de organizar e definir procedimentos para a implantação dos programas de controle ambiental e monitoramento, das ações preventivas, corretivas, mitigadoras e compensatórias de impactos ambientais previstos no EIA/Rima e solicitados na emissão da LP para a LI. É composto ainda dos seguintes subprogramas:

- Subprograma de Eliminação de Passivos Ambientais e Monitoramento de Qualidade das Águas e Solos;
- Subprograma de Monitoramento Ambiental de Recalques;
- Subprograma de Monitoramento Ambiental de Qualidade do Ar;
- Subprograma de Monitoramento Ambiental de emissão de ruídos e vibrações induzidas ao solo;
- Subprograma de Educação Ambiental.

3 Plano de Ação nas Emergências (PAE)

O Plano de Ação nas Emergências tem por finalidade estabelecer o roteiro e procedimentos a serem adotados em caso de ocorrências e situações não corriqueiras ao andamento das obras e que ofereça, qualquer perigo ou prejuízo à vida ou à saúde das pessoas envolvidas direta ou indiretamente com a construção da Linha 5-Lilás.

4 Programa de Comunicação Social (PCS)

O Programa de Comunicação Social tem por objetivo instituir canais de comunicação contínuos com a população lindeira do empreendimento e com a população futura usuária do sistema.

- Subprograma de acompanhamento na relocação de população e atividades econômicas;
- Subprograma de comunicação e acompanhamento social para situações emergenciais.

5 Plano de Reassentamento (PRS)

Esse Plano constitui-se pelo propósito de liberar a área necessária para a construção e operação da Linha 5-Lilás do Metrô através de mecanismos que propiciem a reposição das perdas e a reinserção de população e negócios que serão deslocados compulsoriamente.

6 Programa de Investigação e Resgate do Patrimônio Arqueológico (PPA)

Esse programa tem por objetivo realizar estudos nas áreas diretamente afetadas para a implantação da Linha 5-Lilás para diagnosticar o potencial de ocorrência de vestígios de interesse ao patrimônio cultural brasileiro, histórico e arqueológico. Esse diagnóstico permitirá identificar riscos associados ao patrimônio e executar, quando necessário, a prospecção e o resgate arqueológico.

7 Programa de Controle Ambiental na Operação (PCO)

O Programa de Controle Ambiental na Operação da Linha 5-Lilás do Metrô tem por objetivo manter a operação dessa linha adequada ao sistema de gestão ambiental estabelecido pelo Sistema de Gestão Ambiental – SGA da CMSP

8 Programa de Articulação Urbana e Institucional (PAI)

Esse programa tem por objetivo criar mecanismos de articulação institucional, por um lado promovendo a interação entre a CMSP e diferentes órgãos e instituições atuantes na área de influência da Linha 5-Lilás; viabilizando a integração do transporte coletivo metropolitano para otimizar o sistema e dirimir as emissões de CO2 nas áreas de influência da Linha 5-Lilás, além de monitorar alterações no ambiente social e urbano promovidas pela implantação e pela operação da Linha 5-Lilás.

- Subprograma de Interação Institucional;
- Subprograma de Integração do Transporte Coletivo e Sistema Viário;
- Subprograma de Monitoramento das Condições de Viagem das populações da Área de Influência da Linha 5-Lilás;
- Subprograma de Monitoramento das Alterações no Uso do Solo na Área de Influência Direta da Linha 5-Lilás.

9 Programa de Compensação Ambiental (PCPA)

Este programa tem o propósito de atender ao estabelecido pela legislação ambiental incidente neste caso e analisar e considerar as proposições constantes no EIA/RIMA e no Parecer Técnico CPRN/DAIA/420/08, indicando medidas compensatórias para serem aplicadas.

15 CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho de formatura foi possível desenvolver o conhecimento dos diversos processos envolvidos na implantação da Estação Moema e da expansão da Linha 5-Lilás do Metropolitano de São Paulo.

Através da caracterização da região de estudo evidenciou-se quais são os desafios e as justificativas de se implantar uma estação em Moema dentro do contexto de mobilidade urbana da cidade de São Paulo. Já o Estudo de Demanda permitiu quantificar a necessidade da Linha 5 e da estação na região de Moema.

Além disso, foi possível analisar os impactos da implantação da obra através do estudo das soluções de desvio de tráfego e desapropriações que se fizeram necessárias, além dos impactos ambientais.

Com o levantamento dos métodos construtivos mais comumente empregados para esse tipo de obra pode-se fazer uma análise crítica acerca daqueles que estão sendo utilizados, levantando suas vantagens e desvantagens e justificando o seu emprego.

A análise geotécnica do empreendimento, através da caracterização dos solos e estruturas geológicas presentes na região de implantação, evidenciou sua importância tanto para determinação dos métodos construtivos, quanto para antecipação de potenciais riscos e desafios de engenharia.

O dimensionamento do sistema de contenção foi fundamental para o conhecimento dos desafios envolvidos na implantação deste tipo de empreendimento. A fim de se evitar recalques, percebeu-se que a solução mais adequada do ponto de vista técnico seria realizar apenas o bombeamento de água no interior da vala, apesar de resultar uma solução relativamente cara. Isto mostra a dificuldade de conciliar viabilidade técnica e financeira. Finalmente, conclui-se que este tipo de empreendimento contempla diferentes áreas da engenharia civil, desde o planejamento até a execução da obra. Para um profissional da área, é essencial ter uma visão ampla de todo o processo, administrar as interfaces e responder aos desafios com embasamento técnico, garantindo o sucesso da obra.

16 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMS; ABEF; ABGE. **Solos de São Paulo**. [19--].

ALMEIDA, A. G. M.; GIACOBBE, S.; NUNES, N. L. Métodos construtivos ao longo de 40 anos. *Revista Engenharia - Especial Metrô de São Paulo*, São Paulo, p. 139-144, novembro 2011.

ALOUCHE, P. L. Metrô: Definindo os termos. *Revista Engenharia - Especial Metrô de São Paulo*, São Paulo, p. 103-110, novembro 2011.

APOSTILA PEF2304. São Paulo: EPUSP - Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotecnia, 20--. Material referente à disciplina Estruturas de Concreto II, ministrada na Escola Politécnica da USP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA (ABEF). **Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos ABEF - Engenharia de Fundações e Geotecnia**. 3a Edição. São Paulo: PINI, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010. 91 p.

BASTOS, M. SAI DA FRENTE! **Odebrecht Informa Online**. Disponível em: <<http://www.odebrechtonline.com.br/materias/00901-01000/942/>>. Acesso em: 1 dezembro 2012.

CARDOSO, F. F. **Sistemas de Contenção**. São Paulo: EPUSP - Departamento de Construção Civil, fevereiro 2008. Material referente à disciplina PCC2435 - Tecnologia da Construção de Edifícios I, ministrada na Escola Politécnica na USP.

CHAGAS, L. R. B. **Engenharia da Construção**: Obras de Grande Porte. 1a Edição. São Paulo: PINI, 2008.

CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO (CMSP). **Caderno 4: Metrô de Tecnologia: Pesquisa de Origem e Destino - Pesquisa O/D**. São Paulo, v. 4, 1990.

CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO (CMSP). **Plano de Reassentamento da Linha 5 - Lilás**. São Paulo. Novembro 2009. 43 p.

CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO (CMSP). **Relatório de Sustentabilidade**. São Paulo, 2010.

CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Mapa do Transporte Metropolitano - Rede Futura (2030)**. Material apresentado em reunião com a divisão do Metrô de Estudo de Demanda, 2012a. Não publicado.

CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **O Planejamento do Transporte no Metrô de São Paulo**. São Paulo, 1995.

CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Parâmetros de solos adotados pela CMSP**. Material fornecido pela CMSP, 2012b. Não publicado.

CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Projeto Básico de Sondagens e Perfis Geológicos**. Material fornecido pela CMSP, 2012c. Não publicado.

CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Relatório de Administração**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo - Secretaria dos Transportes Metropolitanos, 2011. 57 p.

CORSINI, R. Taludes atirantados. **Infraestrutura Urbana - PINIWeb**. Disponível em: <<http://www.infraestruturaurbana.com.br/solucoes-tecnicas/6/artigo227250-1.asp>>. Acesso em: 12 Novembro 2012.

DA SILVA, M. A. A. P.; TAKEUCHI, M.; ROCHA, H. C. A Expansão da Linha 5 - Lilás e Seus Desafios. Revista Engenharia - Especial Metrô de São Paulo, São Paulo, p. 123-127, novembro 2011.

EPIFANI, A. **Modelo Clássico de 4 Etapas para Estimativa de Demandas Futuras em Transportes Urbanos**. São Paulo, Companhia do Metropolitano de São Paulo. Material apresentado em reunião com a divisão do Metrô de Estudo de Demanda, 2012. Não publicado.

EXPANSÃO DA LINHA 5-LILÁS DO METRÔ DE SP COMEÇA NESTE SÁBADO. São Paulo. Portal de notícias G1. Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2011/07/expansao-da-linha-5-lilas-do-metro-de-sp-comeca-neste-sabado.html>>. Acesso em: 19 Agosto 2012.

GEOSONDA - SERVIÇOS - CORTINA ATIRANTADA. Disponível em: <<http://www.geosonda.com.br/cortina.php>>. Acesso em: 12 Novembro 2012.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <maps.google.com.br>. Acesso em: 19 Agosto 2012.

HACHICH *et al.* **Fundações - Teoria e Prática**. São Paulo: ABMS/ABEF, 1996.

HANSON, S; GIULIANO, G. **The Geography of Urban Transportation**. 3rd Edition. New York: Guilford Press, 2004.

HOCHTIEF; MONTREAL; DECONSULT. **Sistema Integrado de Transporte Rápido Coletivo da Cidade de São Paulo**. São Paulo: v. 1 e 2, 1968.

MARZIONNA, J. D. **Sobre o Cálculo Estático de Valas**. 1979. 81 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1979.

MEDEIROS, H. Engenharia Subterrânea. **Revista Técnica**, 2011. Disponível em: <<http://revistatechne.com.br/engenharia-civil/107/imprime31696.asp>>. Acesso em: 28 Maio 2012.

MEIRELES, A. B.; MARTINS, J. G. **Fundações e Contenção Lateral de Solos - Execução de Cortinas de Estacas**. 2006. Disponível em:

<http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Fundacoes/Cortinas%20de%20Estacas_web.pdf>. Acesso em: 27 Novembro 2012.

METRÔ - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. São Paulo. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/>>. Acesso em: 15 Maio 2012.

MEU TRANSPORTE. São Paulo. Disponível em: <<http://meustransporte.blogspot.com.br>>. Acesso em: 19 Agosto 2012.

MODELING Transportation Demand and Supply. 2011. Material referente à disciplina Planejamento dos Sistemas de Transporte, ministrada na Escola Politécnica da USP.

O BAIRRO de Moema: Transformação e Verticalização - Causa e Efeito. São Paulo, 2003. 146 p. Dedalus.

PICCOLI, I. L. Estações subterrâneas: projeto e evolução. Revista Engenharia - Especial Metrô de São Paulo, São Paulo, p. 131-133, novembro 2011.

PINI. Contenção pré-moldada. **Anuário PINI da Construção.** Disponível em: <<http://anuario.piniweb.com.br/construcao-servicos/2012/artigo253357-1.asp>>. Acesso em: 1 dezembro 2012.

PORTAL DA PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br/portalpmsp/homec.jsp>>. Acesso em: 15 Maio 2012.

ROCHA, H. C.; SILVA, M. A. A. P.; NETO, F. R. Evolução tecnológica das máquinas tuneladoras e anéis de revestimento. Revista Engenharia - Especial Metrô de São Paulo, São Paulo, p. 134-138, novembro 2011.

SÁNCHEZ. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos.** São Paulo: Engenho, 2006.

SANTOS, Á. R. Enchentes: Causas e Soluções. In: FECOMERCIO SP, 2012, São Paulo. **Arquivos.** Disponível em: <<http://www.fecomercio.com.br/arquivos>>. Acesso em: 17 Maio 2012.

SISTRAN ENGENHARIA. **EIA-RIMA - Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental - Linha 5 Lilás - Trecho Adolfo Pinheiro-Chácara Klabin com Pátio Guido Caloi.** São Paulo: Companhia do Metrô de São Paulo, 2009. 195 p.

SISTRAN ENGENHARIA. **Plano Básico Ambiental da Linha 5 - Lilás.** São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2010. 262 p.

STRAMBI, O. **Planejamento dos Sistemas de Transporte.** São Paulo: EPUSP - Departamento de Engenharia de Transportes, 2011. Material referente à disciplina Planejamento dos Sistemas de Transporte, ministrada na Escola Politécnica da USP.

TUPINAMBÁ, N. S. **Diretrizes Técnicas para o Projeto de uma Linha de Metrô, no Metrô-SP: Análise de um Caso Real.** 2007. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. São Paulo, 2007.

WOLLE, C. M. **5ª Aula de Exercícios: Estacas.** São Paulo: EPUSP - Departamento de Estruturas e Fundações, 1993. 238 p. Apostila de Fundações - Exercícios Resolvidos.

17 BIBLIOGRAFIA

CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Caderno 3: Metrô de Tecnologia: Sistema Estrutural de Média Capacidade - Implantação.** São Paulo: v. 4, 1990.

LEÃO, M. L. **O Metropolitano em São Paulo.** Monografia apresentada ao Instituto de Engenharia de São Paulo concorrendo ao prêmio Dr. Euzébio Queiroz Matoso. São Paulo: 1945.

TRANSPORTES METROPOLITANOS. Disponível em:
<<http://www.saopaulo.sp.gov.br/acoesdegoverno/transportes-metropolitanos/>>. Data de acesso: 17/05/2012.