**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

MURILO MACEDO GABARRA

**Industrialização e padronização para
expansão da rede de Metrô de São Paulo**

**São Paulo
2016**

MURILO MACEDO GABARRA

**INDUSTRIALIZAÇÃO E PADRONIZAÇÃO PARA
EXPANSÃO DA REDE DE METRÔ DE SÃO PAULO**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, FAU-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Projeto de Arquitetura

Linha de Pesquisa: Produção da Arquitetura

Orientadora: Professora Doutora Anália Maria Marinho de Carvalho Amorim

São Paulo
Março de 2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL DO AUTOR: murilogabarra@gmail.com

Gabarra, Murilo Macedo

G112i Industrialização e padronização para expansão da rede de metrô de São Paulo / Murilo Macedo Gabarra. -- São Paulo, 2016.

138 p. : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Projeto de Arquitetura) – FAUUSP. Orientadora: Anália Maria Marinho de Carvalho Amorim

1. Projeto de arquitetura 2. Estações metroviárias 3. Arquitetura subterrânea 4. Áreas metropolitanas – São Paulo (SP) 5. Metrô – São Paulo (SP) 6. Arquitetura de infraestrutura 7. Companhia do Metropolitano de São Paulo I.Título

CDU 625.45

MURILO MACEDO GABARRA

**INDUSTRIALIZAÇÃO E PADRONIZAÇÃO PARA
EXPANSÃO DA REDE DE METRÔ DE SÃO PAULO**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, FAU-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Projeto de Arquitetura

Linha de Pesquisa: Produção da Arquitetura

Data da aprovação: ____/____/____

Professora Doutora Anália Maria Marinho de Carvalho Amorim

Membros da banca examinadora:

Dedico este trabalho
aos meus pais, Auxiliadora e Roberto;
à minha mulher, Patrícia;
aos meus filhos Olivia e Nilo.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, por me propiciar mais esta etapa de minha formação e à Companhia do Metropolitano de São Paulo, que me ofereceu a experiência profissional responsável pelo conhecimento prático e questionamentos que deram origem a este trabalho.

Aos professores da FAU-USP, especialmente à Anália Amorim, minha orientadora, pela confiança depositada e ótimas conversas que tivemos; Klara Kaiser Mori, pelas preciosas contribuições na banca de qualificação; Alexandre Delijaicov e André Takiya, que fundamentaram o tripé conceitual “como construir, como operar e como manter” que devem nortear o projeto de arquitetura pública.

Aos colegas com quem atuei profissionalmente e que contribuíram diretamente nesta pesquisa, especialmente Fernando Gusmão, que guiou meus primeiros passos no projeto de Metrô além de passar as informações que transcrevo sobre a estrutura de trabalho dos “sete sábios” da CMSP; Roberto Mac Fadden e José Vitor Soalheiro Couto, integrantes dos “sábios” e arquivos vivos que também muito contribuíram com informações e história do projeto do Metrô.

Aos colegas da minha área de trabalho no Metrô, a Coordenação de Projeto Executivo da Gerência de Empreendimento Linha 5-Lilás (GE5-CPC), Patrícia Costa, vizinha de mesa e amiga que acompanhou a elaboração deste trabalho e todos os demais integrantes, equipe que não poupa esforços para viabilizar a construção desta importante extensão da rede de Metrô da cidade de São Paulo ao mesmo tempo em que mantem a amizade e cuidado mútuo.

Aos demais colegas da GE5 e de todo o Metrô, que, cada um em sua área, oferece ensinamentos da rica experiência vivenciada no dia a dia desta empresa.

A todos os amigos que ofereceram ajuda na busca por informações: Soraya Rodrigues, Marco Aurélio Lagonegro, João Taqueda e Rodrigo Guedes, este último também um valioso interlocutor com quem tive poucas, mas importantes conversas e trocas de conhecimento sobre a concepção de projetos da CMSP.

Aos meus amigos, de Botucatu, da FAU-USP, da Aicó-Areté, e de outros lugares com quem fiz amizade ao longo da vida e que de alguma forma me colocaram no caminho que me trouxe até aqui.

À Edna Gubitoso, que me ajudou a colocar o trabalho dentro das normas acadêmicas.

À Laiza Rodrigues Santos, que cuidou de meus filhos na minha ausência como se fossem sua família.

À toda minha família: minha mãe, Auxiliadora, minha principal incentivadora nos estudos, à meu pai, Roberto, aos meus irmãos, Evandro e Letícia, aos meus filhos Olivia e Nilo, que tantas vezes tiveram que escutar minhas desculpas pela ausência para fazer este trabalho, aos meus avós, tanto os que já nos deixaram como minha avó Yeda, que ainda pode me oferecer colo nas horas difíceis; aos meus sobrinhos queridos, Léo, João, Thiago, Pedro, Luca, Ana e o bebê que ainda está por vir; meus tios-padrinhos Pedro e Clélia, todos meus primos e também aqueles que viraram minha família já adultos: Carol, Márcio, Samora, Manuela, Toninho, Siomara, Samora Jr., Aline, Paola e Alê, e ao Arthur que topou na diagramar o trabalho nos últimos momentos.

Especialmente à minha amada Patrícia, a quem me faltam palavras para expressar o tamanho da gratidão.

**“Atitudes de amor,
devemos samplear”**

Criolo

RESUMO

GABARRA, M. M. Industrialização e padronização para expansão da rede de Metrô de São Paulo. 2016. 138 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

O presente trabalho tem como objeto o projeto para padronização e industrialização da construção do Metrô de São Paulo. Com o fim de identificar as especificidades deste tipo de projeto, suas qualidades e características que podem ser utilizadas em projetos futuros, o trabalho parte de uma pesquisa histórica sobre o projeto das linhas existentes na cidade e os seus respectivos métodos construtivos. Em seguida, analisa a expansão da Linha 5-Lilás, que se encontra com projeto executivo e obra em curso, buscando apresentar a situação atual de projeto da Companhia do Metropolitano de São Paulo e o que poderia ser alterado na concepção para melhorar o desempenho construtivo. Com base na revisão histórica e no estudo da linha 5 Lilás, são propostos premissas e parâmetros de projeto para expansão da rede. Por fim, é proposta ainda a integração dos planos de transporte de cargas e passageiros na Região Metropolitana de São Paulo, visando a criação de uma linha de produção para construção de vias, túneis e estações, industrializando a expansão da rede de Metrô em São Paulo e viabilizando um legado de logística alternativo aos meios rodoviários para a região.

Palavras chave: Projeto de Arquitetura; Estações Metroviárias; Arquitetura Subterrânea; Região Metropolitana de São Paulo; Metrô – São Paulo (SP); Companhia do Metropolitano de São Paulo; Arquitetura de Infraestrutura;

ABSTRACT

GABARRA, M. M. Industrialization and standardization for growing the São Paulo Subway System. 2016. 138 p. Thesis (Master's) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo 2016.

This study examines the project for standardizing and industrializing the São Paulo Subway System. In order to identify the specific project features, qualities and characteristics that could be used in future projects, the investigation begins with a historical research about the projects of the existing subway lines in the city and their respective construction methods.

Next, the expansion of Line 5 or the Purple Line is investigated in the light of the construction plans and works underway. This is done in order to achieve a view of the current status of the São Paulo Subway Company (Companhia do Metropolitano de São Paulo) and to stress what could be changed in terms of design to enhance construction performance.

As a result, based on the historical review and on the Line 5 case study, assumptions and design parameters for network expansion are proposed.

Finally, it is argued that freight and passenger transport plans for the Greater São Paulo be integrated, aimed to create a production line through building roads, tunnels and stations, thus industrializing the future subway system; providing an alternative to ground transportation in the region; and leaving a significant legacy in terms of logistics to the entire population.

Keywords: Architectural Design; Subway Stations; Underground architecture; Metropolitan region of Sao Paulo; Metro - São Paulo (SP); Companhia Metropolitana de São Paulo; Infrastructure Architecture;

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Perspectiva da estação Liberdade com laje de cobertura curva.
Página 35
- Figura 2** Secção típica do túnel em cut and cover na Linha 1- Azul.
Página 36
- Figura 3** Vala a céu aberto para construção da estação Eucaliptos (Linha 5- Lilás).
Página 37
- Figura 4** Croqui com condição ideal para execução de VCA: túnel e superfície com mesma inclinação (a inclinação máxima para via de metrô com rodas de aço é de 4%).
Página 38
- Figura 5** Secção típica do túnel em *Shield* na Linha 1- Azul.
Página 39
- Figura 6** *Shield* com suporte a ar comprimido.
Página 40
- Figura 7** Croqui apresentando túnel feito em condição de relevo com inclinações maiores que as admitidas para as vias (a inclinação máxima para via de metrô com rodas de aço é de 4%): contraindicado para execução em VCA e adequado para uso de *Shield*.
Página 42
- Figura 8** Secção típica de via elevada na Linha 1- Azul.
Página 44
- Figura 9** Enfilagens para construção de estações na Avenida Paulista com menor impacto na superfície.
Página 50
- Figura 10** Estação Trianon-MASP, executada por meio de enfilagens; planta e cortes.
Página 51
- Figura 11** Proposta de galerias subterrâneas de comércio junto à estação Consolação.
Página 51
- Figura 12** Esquema de controle de pressão do EPB .
Página 57
- Figura 13** Áreas de influência da Linha 5-Lilás
Página 63
- Figura 14** Trecho Largo Treze- Chácara Klabin e Pátio Guido Caloi.
Página 64
- Figura 15** Estação Adolfo Pinheiro – Planta do mezanino.
Página 65
- Figura 16** Croqui de corte transversal com esquema típico das estações em VCA entre Alto da Boa Vista e AAACD-Servidor, exceto Campo Belo.
Página 71
- Figura 17** Croqui de corte transversal com esquema típico de estação com plataforma em túnel NATM.
Página 85

Figura 18 Variações de densidade populacional nas áreas de influência direta da linha.
Página 88

Figura 19 Croqui com alguns esquemas das estruturas subterrâneas principais de estações com plataforma em túnel NATM: à esquerda estação
Página 102

Figura 20 Croquis do edifício Illinois.
Página 103

Figura 21 Croqui de esquema de circulação em estação profunda, com plataforma com túnel escavado em NATM e por TBM, com elevador Double-deck.
Página 104

Figura 22 Perspectiva eletrônica das plataformas sobrepostas no túnel escavado por TBM na Linha 9 do metrô de Barcelona.
Página 106

Figura 23 Croqui de planta com indicação, em vermelho dos meios de saída da plataforma para caso de emergência em estações de plataforma sobreposta.
Página 108

Figura 24 Croqui de corte de esquema de túnel de via com corredor compartimentado para saída de emergência.
Página 109

Figura 25 Croqui de planta esquemática de estações em vala com geometria retangular e de cinco poços secantes. Modulação dos eixos das estroncas com múltiplos similares para as duas geometrias.
Página 112

Figura 26 Croqui de corte esquemático para definição das estruturas de contenção rasas e profundas nas estações em VCA e nas estações profundas. A linha tracejada vermelha limita as áreas rasas e profundas.
Página 115

Figura 27 Distribuição do canteiro de obras da Potsdamer Platz com estrada interna e centro de logística.
Página 121

Figura 28 Demanda atual de transporte – polarização na Macrometrópole.
Página 123

Figura 29 Mapa dos Municípios da RMSP beneficiados pelo Hidroanel.
Página 123

Figura 30 Diagrama do Hidroanel na RMSP e a divisão de três sub-sistemas.
Página 124

Figura 31 Diagrama de logística e logística reversa proposto (São Paulo, SP).
Página 125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Profundidade das estações que compõe a expansão da Linha 5-Lilás.
Página 80

Tabela 2 Distribuição de estruturas internas nas estações em VCA da expansão da Linha 5-Lilás.
Página 83

Tabela 3 Dimensões dos túneis de plataforma nas estações com plataforma em túnel NATM na Linha 5-Lilás.
Página 87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Gráfico com inaugurações de estações de Metrô por ano em São Paulo.
Página 28

Gráfico 2 Gráfico com total de inaugurações de estações de Metrô por ano estações subterrâneas inauguradas por ano em São Paulo.
Página 29

Gráfico 3 Métodos Construtivos por empreendimento.
Página 97

LISTA DE ABREVIATURAS

CET Companhia de Engenharia de Tráfego

CMSP Companhia do Metropolitano de São Paulo

CPTM Companhia Paulista de Trens Metropolitanos

GCI Gerência de Concepção Civil

GE5 Gerência de Empreendimento Linha 5 - Lilás

HMD Consórcio Hochtief Montreal Deconsult

IT Instrução Técnica (Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo)

NFPA National Fire Protection Association

RMSP Região Metropolitana de São Paulo

SLTSP Secretaria de Logística e Transportes do Estado de São Paulo

SUMÁRIO

23	Introdução
27	1 O Projeto de Metrô de São Paulo
30	1.1 Primórdios dos projetos de Metrô em São Paulo
32	1.2 A organização da companhia e o projeto da Linha 1
35	1.2.1 Norte-Sul, a Linha 1-Azul: o nascimento do Metrô de São Paulo; três trechos, três sistemas construtivos
36	1.2.2 Jabaquara-Liberdade: o trecho de via feita no sistema cut-and-cover
39	1.2.3 Liberdade - Tiradentes: o primeiro túnel construído por meio de Shield no Brasil
43	1.2.4 Tiradentes - Carandiru: o Metrô em via elevada
45	1.2.5 Expansão Norte: o último trecho da Linha 1
45	1.3 Leste Oeste, a Linha Vermelha
48	1.4 Ramal Paulista - A Linha 2-Verde
50	1.4.1 Brigadeiro e Trianon-Masp: escavações invertidas e enfilagens
53	1.4.2 As plataformas em NATM
55	1.5 Linha 4 - Amarela - A PPP do Metrô de São Paulo
59	1.6 Síntese do Histórico de projetos do Metrô de São Paulo
61	2 O projeto executivo e a obra da Linha 5 - Lilás
62	2.1 Contexto urbano e histórico da Linha
63	2.2 O traçado e as estações que compõe a expansão da Linha
65	2.2.1 Primeira fase da expansão: a estação Adolfo Pinheiro
68	2.2.2 O trecho em Shield: Poço Conde de Itu - VSE Dionísio da Costa
71	2.2.2.1 As estações em VCA: Trecho Alto da Boa Vista a AACD-Servidor
72	2.2.2.1.1 Padronização das estações em VCA da Linha 5 Lilás - vantagens e limites
74	2.2.2.1.2 Acessos da Linhas 5 - Lilás e a possibilidade de Industrialização e padronização
75	2.2.2.1.3 Os edifícios de salas técnicas da Linha 5 - Lilás e a padronização
78	2.2.2.1.4 A profundidade como limitador da padronização de todo o corpo das estações em VCA

81	2.2.2.1.5 A padronização da arquitetura de estações VCA e as singularidades geotécnicas de cada sítio
84	2.2.2.1.6 As praças sobre as estações em VCA e o projeto de estações padronizadas
85	2.2.2.2 As estações da extensão da Linha 5 - Lilás que não possuem a plataforma em vala
87	2.3 A Linha 5 - Lilás, os métodos construtivos envolvidos e suas respectivas repercussões na cidade
90	2.4 Conclusões sobre a industrialização no projeto e construção da Linha 5 - Lilás
93	3 Proposta de projeto de expansão da rede de Metrô para São Paulo
95	3.1 Premissas para projeto
95	3.1.1 Padronização do Modal
96	3.1.2 Padronização do suporte às vias
97	3.1.3 Continuidade do planejamento
98	3.2 Parâmetros de projeto para a expansão da rede de metrô de São Paulo
99	3.2.1 Identificação de vocação de padrão a ser assumido por trecho de linha
101	3.2.1.1 Trechos em áreas de relevo montanhoso, e/ou com maior densidade construtiva e alto valor imobiliário
111	3.2.1.2 Trechos em áreas de relevo mais plano e com menor densidade construtiva
113	3.2.1.3 Estações de conexão e/ou de grande demanda
113	3.2.2 Hierarquização e separação dos elementos que compõe as estações
114	3.2.2.1 Estrutura de contenção
116	3.2.2.2 Estruturas Internas
117	3.2.2.3 Acabamentos da estação
120	3.3 Industrialização na execução e logística da construção da rede de Metrô em São Paulo
120	3.3.1 A experiência internacional
122	3.3.2 O cruzamento de planos para São Paulo
127	4 Conclusão
129	Referências
133	Glossário

INTRODUÇÃO

Nada transformou tanto as cidades em tão pouco tempo como os equipamentos de mobilidade urbana. A cidade, que tradicionalmente se consolidava a partir de seu suporte físico, ao redor de sua hidrografia ou litoral, após a industrialização teve sua paisagem completamente alterada e teve como matriz de mudança e estruturadores principais os leitos de ruas, as linhas e estações ferroviárias e metroviárias e o trânsito de veículos de variados modais. Os sistemas de mobilidade permitiram deslocamentos cada vez maiores, fazendo com que grandes áreas urbanas tivessem unidade e se relacionassem como um todo, viabilizando as grandes metrópoles surgidas no século XX.

Na cidade de São Paulo, assistimos dois momentos importantes no papel da estruturação da cidade por meio das infraestruturas de transporte. Um primeiro momento, datado da segunda metade do século XIX foi baseado na rede de trilhos Vide glossário impulsionada pelo ciclo cafeeiro. Um segundo momento foi marcado pela adoção do modelo rodoviário, que tem no Plano de Avenidas de Prestes Maia, de 1929, o seu marco inaugural.

O início da estruturação da cidade de São Paulo como metrópole é marcado pela presença da ferrovia, seja no seu papel urbano, na figura dos bondes que cumpriam o papel de transporte urbano de passageiros, seja ela com seu papel integrador regional, por meio das estradas de ferro que traziam a produção cafeeira do interior paulista, passando pela capital, rumo ao porto de Santos ao mesmo

tempo que passavam no outro sentido trazendo imigrantes para a lavoura do café e para a formação da cidade.

A desarticulação da estrutura e da cultura ferroviária durante um período de explosão demográfica da cidade no século XX, todavia, criou uma deficiência de transporte de massa em toda a região que chega aos dias de hoje de forma cada vez mais aguda. Ao longo deste período pré-Metrô uma série de planos foram feitos para equacionar as questões de estruturação da cidade e mobilidade de sua população, desde o implantado Plano de Avenidas idealizado por Prestes Maia, passando por um utópico paradigma rodoviário de longas vias elevadas sobre viadutos que cruzariam a cidade de forma sempre plana, acima das elevações do relevo, correndo diretamente para seus pontos cardinais e se cruzando no centro, proposto por Le Corbusier; e diversos planos para implantação de sistemas de Metrô, que culminaram na adoção deste sistema no final dos anos 1960 (MUNIZ, 2005).

A criação da Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP) e o início da construção da rede com a Linha 1-Azul entre 1968 e 1974, após diversas tentativas frustradas de alavancar o sistema metroviário na cidade, parecia inaugurar uma era que tiraria São Paulo do atraso histórico na mobilidade. Em apenas seis anos foi criada a CMSP; foi projetada, construída e inaugurada a primeira linha e foram lançadas as bases para a criação de toda uma rede, cujo histórico do projeto é detalhado no capítulo 1 - “O Projeto do Metrô de São Paulo”, juntamente com o projeto das demais linhas ao longo da história da companhia.

A demora na expansão da rede, contudo, frustrou a população e o atraso se agravou com o aumento da demanda. Enquanto isso, o meio urbano se tornava caótico com os transportes, sobretudo em meios individuais, concentrados no suporte rodoviário ocupando a maior parte do espaço público disponível.

Diante deste cenário, este trabalho nasceu a partir da vivência profissional do autor que em 2012 começou a trabalhar na Gerência do Empreendimento Linha 5-Lilás (GE5) da Companhia do Metropolitano de São Paulo, que executa a expansão desta linha, desde a estação Largo Treze, existente, até as estações Santa Cruz e Chácara Klabin, conectando com as linhas 1-Azul e 2-Verde, respectivamente, incorporando 11 novas estações à linha existente.

Devido a sucessivas reestruturações gerenciais da CMSP, o trabalho de gestão do projeto executivo dos lotes de obra desta expansão também foi incorporado ao escopo desta gerência. A incorporação do projeto pela gerência de obra visava dar à elaboração do executivo a dinâmica exigida pelo canteiro, para que este passasse a ser alimentado de projeto à medida de suas necessidades. Esta medida, permitiu me envolver diretamente em todo o projeto executivo e obra de 11 estações subterrâneas construídas concomitantemente na cidade, conhecendo as demandas que atravancavam o desenvolvimento da obra. Desta forma, passei a cuidar diretamente de todas as questões funcionais de arquitetura de todas as estações em projeto da linha.

A atividade no campo em que se inseriu criou uma proximidade até então inédita da atividade de projeto de arquitetura da CMSP com sua área de obra, que no caso da Linha 5-Lilás trouxe ainda o ineditismo de tantas estações subterrâneas: pretende-se inaugurar 10 estações no intervalo de um ano.

O Capítulo 2 – “O projeto executivo e a obra da Linha 5 – Lilás” da dissertação é quase uma extensão do Capítulo 1, uma vez que, fazendo um estudo de caso da Linha 5-Lilás, traz o estado atual dos projetos e obras do metrô em São Paulo, através da perspectiva de um profissional que trabalha na CMSP.

Esta dissertação traz, portanto, o projeto de Metrô com uma abordagem de obra, que a experiência e reflexão que o desenvolvimento do projeto executivo e a frequência no canteiro trouxeram. Esta vivência em campo me apresentou um paradoxo de sistemas construtivos, adotados em projeto, que conviviam na construção da linha: ao mesmo tempo que assistia o trabalho das máquinas tuneladoras que, como uma indústria, construía os túneis com grande velocidade de produção, via o lento e artesanal trabalho da construção das estações e poços, e de toda a logística envolvida, baseada na matriz rodoviária, o que me convencia que uma estratégia industrial para todo o processo era necessária para atender às necessidades de expansão da rede.

Fruto da reflexão surgida tanto profissionalmente como academicamente, apresentada nos dois primeiros capítulos, são feitas propostas no Capítulo 3 “Proposta de projeto de expansão da rede de metrô para São Paulo”, que fundamentam estratégias e parâmetros de projeto para atingir a padronização e consequente industrialização da construção de trechos inteiros de linhas, incluindo vias e estações para a expansão da rede metroviária paulista, propondo também a ampliação do entendimento de produção industrial para uma proposta de logística e logística reversa da obra, em consonância com os planos de governo para o setor de logística, oferecendo mais independência do suporte rodoviário, ampliando os benefícios da industrialização.

Ao longo da dissertação é colocada uma grande carga de informações sobre sistemas estruturais, principalmente métodos construtivos de estruturas subterrâneas. Embora esta seja uma área de conhecimento bastante específica, comandada com por competentes profissionais geotécnicos e de engenharia, é necessário o seu domínio conceitual por parte dos arquitetos que atuam nesta área, permitindo o diálogo interdisciplinar, uma vez que estas disciplinas definem espacialmente e construtivamente os sistemas subterrâneos. Esta base de conhecimento permite que a concepção projetual não comprometa o projeto construtivamente quando este chegar a fase de obras.

Por fim é oferecido um glossário com termos usados no universo de construções subterrâneas, ferroviárias e metroviárias, que visa tornar o conhecimento acessível.

1. O PROJETO DO METRÔ DE SÃO PAULO

Este capítulo tem como objetivo principal relacionar cronologicamente os projetos das linhas de Metrô da cidade de São Paulo, equipes de projeto envolvidas e questões técnicas que embasaram as decisões projetuais tomadas.

O papel deste capítulo, que se baseou em fontes bibliográficas da área de Metrô e entrevistas com profissionais da área, no âmbito da dissertação é o de esclarecer técnicas envolvidas no projeto e obra de Metrô, que fundamentará discussões sobre novas estratégias de técnicas de construção para o enfrentamento do déficit de infraestrutura de transporte na cidade de São Paulo.

A investigação sobre como foram construídas cada uma das linhas é fundamental para entender os respectivos benefícios e aplicabilidades em planos futuros.

Como será apresentado, as condições dos sítios a serem implantadas e as definições técnicas, sobretudo aquelas relacionadas ao método construtivo, influenciam decisivamente em cada nova linha como produto arquitetônico gerado, espacialidade e funcionalidade.

O acúmulo destas experiências pode auxiliar em novas propostas e amparar experimentações futuras e o trabalho, montando um painel histórico dos projetos, pode contribuir para estratégias de enfrentamento das demandas infra estruturais urbanas.

Gráfico 1 - Gráfico com inaugurações de estações de Metrô por ano em São Paulo.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da Companhia do Metropolitano de São Paulo (2016).

No Gráfico 1 podemos acompanhar a evolução das inaugurações de estações de Metrô ao longo dos anos na cidade de São Paulo. A escolha por apresentar os dados de estações a despeito da quilometragem inaugurada por ano, como é mais comum em abordagens feitas principalmente pela imprensa, visa evitar que grandes trechos de via inaugurados sem as estações intermediárias, como aconteceu na Linha 4-Amarela, induzam a uma leitura de avanço da rede que não é condizente com a realidade. O longo trecho inaugurado na linha 4-Amarela também nos aproxima de outra questão colocada nesta dissertação, que é a industrialização na construção dos túneis, que permite a inauguração de grandes trechos de via não compatíveis com as práticas de projeto e obra que vêm sendo adotadas nas estações, que retardam o avanço de suas inaugurações. A leitura do gráfico permite perceber o pico de inaugurações nos dois primeiros anos da rede e a posterior baixa na média de inaugurações, além das lacunas de longos anos sem investimento na área.

Embora a lentidão na expansão tenha se dado sobretudo por escolhas políticas, com outras prioridades, e cenário econômico adverso, sobretudo na década de 1990, quando houve menor número de inaugurações, cabe questionar os aspectos relacionados aos diferentes modelos técnicos adotados pela CMSP ao longo de sua atuação. Desta forma, a proposta deste capítulo consiste em discorrer sobre estes diferentes conceitos e aprofundar questões como a proporção de estações subterrâneas ao longo dos anos.

Conforme discutido adiante neste trabalho, o gráfico 2 mostra que, quando comparamos o total de estações inauguradas por ano com o número total de estações subterrâneas inauguradas por ano na rede de metrô de São Paulo, depois dos dois primeiros anos de funcionamento da rede, 1974 e 1975, quando foram inauguradas 7 e 8 estações respectivamente por ano, o teto de estações subterrâneas inauguradas por ano foi de 4, atingido nos anos de 2010 (com estações da Linha 2-Verde e Linha 4-Amarela) e 2011 (estações da Linha 4 Amarela). Os picos da produção em 1988 (com estações da Linha 3-Vermelha e Linha 2-Verde), 1998 (com estações da Linha 1-Azul e Linha 2-Verde) e 2002 (estações da Linha 5-Lilás, que por terem sido executadas pela CPTM, não fazem parte do escopo deste capítulo) por sua vez foram puxados por estações de superfície e/ou elevadas.

Gráfico 2 - Gráfico com total de inaugurações de estações de Metrô por ano estações subterrâneas inauguradas por ano em São Paulo.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da Companhia do Metropolitano de São Paulo (2016).

Trechos de linhas com vias e estações não subterrâneas serão abordados ao longo deste capítulo. Estas modalidades que estão presentes na Linha 3-Vermelha e Linha 1-Azul cujos projetos tem em comum a busca pela padronização, que também ocorre nas estações da Linha 5-Lilás no trecho de estações elevadas projetadas pela CPTM.

A dificuldade em finalizar as obras de estações subterrâneas se mostra especialmente preocupante, pois além de vias em túneis trazerem consigo vantagens sobre as demais modalidades, as condições necessárias para construção de vias elevadas e de superfície estão cada dia mais restritas na cidade de São Paulo, como discorreremos ao longo deste capítulo e também do capítulo 3.

Um panorama anterior à criação da CMSP se faz necessário para demonstrar as condições que se apresentavam e que possibilitaram a empreitada. Este panorama também é interessante por apresentar o reduzido corpo técnico habilitado a discutir questões relativas a infraestrutura urbana antes da implantação do Metrô e como a CMSP auxiliou na formação de técnicos em grande número. Estes técnicos, necessários para o projeto e condução de uma empresa com a sofisticação natural de um sistema sobre trilhos de alta capacidade, mais tarde foram a base para criação de diversas empresas particulares e públicas, como a

Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) da Prefeitura de São Paulo, a CPTM dentre outras.

Serão apresentados os principais métodos construtivos utilizados ao longo do tempo para a construção do Metrô paulistano, buscando elucidar suas características e apontar vantagens e desvantagens que cada método representa. Diante das evidências demonstradas por suas características, que apontam para maior adequação da aplicação de vias subterrâneas para o cenário urbano paulistano, será dada ênfase para os métodos construtivos voltados para este tipo de construção, que é o objeto desta dissertação.

Embora façamos uma abordagem ampla que envolve um pouco de várias disciplinas, o foco será o projeto de arquitetura e para facilitar a compreensão das correntes arquitetônicas dominantes no projeto das estações, propomos uma divisão de arquitetos que fizeram e fazem o Metrô em três gerações que serão apresentadas seguindo a cronologia de apresentação do projeto das linhas.

O autor reconhece a importância de outras incursões da equipe técnica da CMSP em corredores e terminais de ônibus, obras viárias etc, principalmente em uma ocasião que, motivado pela retirada de investimentos por parte do governo no modal metropolitano, a produção de projetos para expansão do Metrô era insignificante, notadamente os anos 1990. O trabalho, contudo, buscou se restringir ao recorte de projeto de linhas de Metrô, objeto de sua dissertação.

O primeiro trecho da Linha 5- Lilás, embora tenha sido construída antes da Linha 4 – Amarela, não entrou na compilação proposta por dois motivos: o primeiro, este projeto não foi desenvolvido pela equipe interna da CMSP e sim pela CPTM, que na ocasião possuía maior capacidade de endividamento e, por determinação do Governo do Estado de São Paulo responsável pelas duas empresas, assumiu o encargo; o segundo e mais relevante motivo, o trecho da primeira fase da linha era em quase sua totalidade elevado, cujas características são exploradas e elucidadas na descrição da Linha 1 – Azul, que também possui este tipo de via. A Linha 5 – Lilás, cuja segunda fase que está em construção e, portanto, não se adequa à abordagem histórica proposta para este capítulo e será estudada como objeto principal do estudo de caso apresentado no capítulo 3 desta dissertação.

A vivência diária do autor como arquiteto da CMSP é uma das fontes de informações deste capítulo, que também tem como objetivo registrar o ponto de vista do profissional de dentro desta estrutura de projetos e obras cujo legado, como será apresentado a seguir, merece ser retratado.

1.1 PRIMÓRDIOS DOS PROJETOS DE METRÔ EM SÃO PAULO

A história do Metrô de São Paulo começa muito antes da fundação da companhia que seria conhecida pelo nome deste modal. Segundo Muniz (2005), desde o final do século XIX existem planos de implantações de sistemas de transporte

coletivo com características de Metrô :alta capacidade, vias segregadas, controle e comunicação central etc (MUNIZ, 2005).

Em sua dissertação de mestrado, “A cidade e os trilhos: o Metrô de São Paulo e o desenho urbano”, Muniz lista diversos projetos, que chegaram a níveis diversos de detalhamento e buscavam dar uma resposta à necessidade de transporte da crescente metrópole, mas nenhum deles chegou a ser implantado. O primeiro dele data de 1888, e a autora denomina “Linha férrea elevada sobre colunas”, como o nome diz, foi a concessão obtida pelo engenheiro Alberto Kuhlmann para construir e explorar uma linha elevada entre a rua São Bento, canto da Rua São João e proximidades do Largo do Paissandu. Ainda tímido, e de pequena abrangência, o projeto não chegou a ser construído, mas foi o primeiro a reunir elementos de uma linha de Metrô na cidade de São Paulo.

Ao longo do tempo, todavia, a crescente população e pujança econômica que marcou a cidade por diversos momentos no século XX, demandou a elaboração de novos planos que contemplassem o transporte na capital paulista. Em 1927, ainda sob efeito do ciclo econômico do café, a empresa multinacional Light, que já possuía concessão para o transporte por bondes na cidade, passa a defender o “projeto Light” que propunha integrar sua infraestrutura existente com uma nova malha subterrânea.

No final da década de 1920, especificamente no ano de 1929, houve um importante desdobramento que traria consequências de longo prazo para a estrutura urbana da cidade de São Paulo: neste momento histórico foi apresentado o “Plano de Avenidas”. Elaborado pelo engenheiro politécnico Francisco Prestes Maia durante o governo do prefeito Pires do Rio (prefeito de São Paulo entre 1926 e 1930), o plano propunha um sistema radiocêntrico de avenidas, que pautava o transporte nos modais rodoviários. Diante de sua escala, que pretendia abranger toda a cidade, a implantação era prevista ao longo das décadas seguintes, o que de fato ocorreu (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, 1983).

O arrefecimento da economia ocorrido no período entre guerras, principalmente na década de 1930, fez com que os investimentos urbanos e de transportes reduzissem o ritmo, sendo retomado com vigor após a segunda guerra mundial. Em 1945, o Engenheiro Mario Lopes Leão, politécnico assim como Prestes Maia, apresentou a monografia “O Sistema Metropolitano de São Paulo”, que recolocou o transporte urbano sobre trilhos na pauta de debates com uma proposta de sistema de Metrô que irradiava por 5 vértices a partir de um anel central (MUNIZ, 2005). No panorama político Prestes Maia se destacava, governando a cidade como prefeito entre 1938 e 1945 e seu “Plano de Avenidas”, que se colocava como depositário de todos os investimentos públicos na estrutura urbana, se configurava como antagônico a qualquer investimento em trilhos. A ideologia rodoviarista embutida no “Plano de Avenidas” minou, além dos investimentos em novas infraestruturas, a infraestrutura ferroviária existente. Os bondes foram aos poucos substituídos pelos ônibus, que tiveram sua estreia como transporte pú-

blico facilitada pelos problemas de abastecimentos de energia que paralisaram os bondes algumas vezes e permitiram que a prefeitura distribuisse concessões para o modal rodoviário de forma emergencial. As críticas ao sistema de bonde, tais como trilhos escorregadios para pneus de automóveis, eram recorrentes e, na década de 1960, encerraram as atividades na capital após décadas de importantes contribuições na infraestrutura e paisagem paulistana (MUNIZ, 2005).

Outros planos de implantação de sistemas metroviários, como o elaborado pelo Metrô de Paris em 1947 ou o elaborado pela Companhia Geral de Engenharia sob encomenda da Prefeitura em 1948, foram feitos durante a supremacia de investimentos do “Plano de Avenidas” no panorama paulistano, mas sem sucesso de execução (MUNIZ, 2005).

Mais tarde, em 1956, quando o “Plano de Avenidas” já era uma realidade consolidada e o modelo rodoviário já começava a apresentar vulnerabilidade, sobretudo no centro da cidade, Prestes Maia, por solicitação do prefeito Juvenal Lino de Mattos (1955-1956), apresenta seu “Anteprojeto de um Sistema de Transporte Rápido”, que continha elementos de alguns dos planos mencionados anteriormente (LAGONEGRO, 2003). O Anteprojeto de Prestes Maia já possuía o traçado com similaridades com o da “Rede Básica”, que iniciaria a implementação mais de dez anos depois, no final da década de 1960, como veremos a seguir.

Segundo Muniz (2005), os estudos “Pré-Metrô” feitos ao longo do tempo para equacionar questões de transporte na cidade demonstram o caráter estruturador urbano desta disciplina, ao ponto da autora colocar lado a lado para sua análise projetos como os mencionados e o clássico estudo de “mega-edifícios” feito por Le Corbusier para a capital Paulista (MUNIZ, 2005). A análise deste período sob o ponto de vista de estudo e projeto urbano na cidade de São Paulo demonstra ainda um conhecimento extremamente elitizado, concentrado sobretudo nos estudos de estrangeiros e alguns poucos acadêmicos Politécnicos. A difusão do conhecimento e o desenvolvimento propiciado pelas chamadas políticas rodoviaristas pouco contribuíram na formação de corpo técnico e estruturas públicas e privadas técnicas nacionais.

1.2 A ORGANIZAÇÃO DA COMPANHIA E O PROJETO DA LINHA 1

Em 1965, com início do governo do prefeito Brigadeiro José Vicente Faria Lima, após ensaiar diversas vezes, deu-se início também a estruturação do Metrô na capital paulista.

Para a criação da companhia o prefeito designou o chamado Grupo Executivo do Metrô (GEM), em 1966, que lançou concorrência para o estudo da rede e anteprojeto da primeira linha. Diante da inexperience nacional neste tipo de projeto, a concorrência foi de âmbito internacional e exigia que os consócios participantes aliassem comprovada experiência em projetos desta natureza, o que tornava obrigatória a presença de membro de outros países, com empresas nacionais,

o que resultou na formação de consórcios mistos de empresas estrangeiras e nacionais. Este concurso e um núcleo formado pelos profissionais contratados para desenvolver o projeto do Metrô paulistano seriam também a base para a formação da companhia, fundada em 24 de abril de 1968 (FRAGELLI, 2010).

O consórcio vencedor foi o HMD, que era formado pela empresa brasileira Montreal, controladora das empresas Montor e Promon, participantes dos projetos de engenharia, arquitetura, economia e planejamento, além das Alemãs Hochtief, empresa de engenharia com experiência em obras de infraestrutura e a Deconsult, empresa estatal alemã responsável por projetos de ferrovias daquele país.

Este consórcio elaborou o plano da rede básica e elegeu o trecho prioritário a ser construído. O GEM e posteriormente a recém-criada CMSP delegaram ainda o projeto quase completo deste que se tornou o primeiro trecho do sistema ao consórcio HMD. O histórico do projeto das estações deste trecho é bastante explorado pelo arquiteto Marcello Fragelli em seu livro autobiográfico “Quarenta Anos de Prancheta” (FRAGELLI, 2010).

Marcello Fragelli, arquiteto carioca formado em 1952 pela Faculdade Nacional de Arquitetura, mudou-se para São Paulo no ano de 1961 onde instituiu escritório próprio. Em 1962 passou também a atuar como consultor da Promon Engenharia, empresa de projetos fruto da união entre a brasileira Montreal e a norte-americana Procon Inc., sobretudo em projetos industriais. Na condição de braço de projetos da Montreal, parte integrante do consórcio vencedor da concorrência para concepção da rede de Metrô de São Paulo, a Promon convidou Fragelli para assumir a consultoria de arquitetura dos projetos, regime de dedicação que se mostrou inviável e, por solicitação dos parceiros alemães, passou a se dedicar em tempo integral aos projetos do Metrô. Após viagens técnicas à Alemanha, muito estudo em projetos anteriores dos parceiros daquele país e algum embate com os engenheiros de sistemas e estruturas, Fragelli passou a coordenar os projetos da Linha 1-Azul, imprimindo sua marca nas primeiras estações de Metrô paulistanas (FRAGELLI, 2010).

Os embates entre Fragelli e os engenheiros alemães se deram sobretudo por uma concepção vigente na ocasião, e ainda hoje muitas vezes revisitada, que as estações deveriam ser concebidas pelos engenheiros e os arquitetos só deveriam contribuir com seu embelezamento, escolhendo cores e fachadas (FRAGELLI, 2010). Uma vez que a maior parte das estações eram subterrâneas, nem mesmo fachadas restariam para este trabalho. Antes da equipe brasileira de arquitetura assumir o projeto das estações, engenheiros alemães chegaram a projetar, dentro da lógica de divisão de trabalho apresentada, aquelas que viriam a ser as estações a serem implantadas. Estes projetos elaborados totalmente pelos alemães possuíam uma concepção antiquada, de acessos nas pontas das plataformas, bastante semelhantes às estações parisienses (MAC FADDEN, 2014)¹ (Informação pessoal).

¹ Informação obtida através de entrevista.

Em seu livro, Fragelli (2010) descreve a desconfiança com que os engenheiros responsáveis da HMD lhe passaram as tarefas projetuais. Inicialmente, Fragelli assumiu o projeto das estações elevadas, cujo projeto padrão desenvolvido por estes engenheiros era de aparência bastante controversa e foi rejeitado pelo então prefeito Faria Lima. Para que seus desígnios fossem aceitos, o arquiteto se apoiou em críticas funcionais, nunca espaciais ou estéticas, embora tenha dotado estas estações de reconhecido valor nestes campos e recebeu aprovação tanto do consórcio do qual fazia parte como do prefeito.

Depois de muito conflito e esforço em comprovar a eficácia de suas propostas, Fragelli formulou um estudo para uma das estações subterrâneas, a estação Luz, que previa interligação com a estação de trens existente, e contrapôs esta à proposta original formulada pelos engenheiros, sempre enfatizando aspectos funcionais. Na proposta para Luz, o arquiteto propôs a substituição das escadas de saída da plataforma que se situavam exclusivamente nas extremidades da estação, o que poderia sobrecarregar aquelas junto à estação de trens, por uma proposta de mezanino sobre a via/plataforma que coletasse usuários por escadas ao longo de toda a extensão da plataforma, fazendo com que o uso de escadas fosse mais distribuído, evitando assim gargalos de passagem.

Com a aceitação de sua proposta para a estação Luz, abriu-se caminho para que ele montasse uma equipe para se dedicar aos demais projetos subterrâneos da linha. A solução de mezanino de distribuição se consagrou no Metrô de São Paulo, sendo muito usada até os dias de hoje.

Nos programas subterrâneos, o arquiteto declara ter buscado a expressividade e plasticidade do concreto, material empregado para viabilizar o arcabouço que recebe as pressões naturais desta situação:

[...] ao me aproximar dos projetos do subsolo, minha ideia era que a caixa envoltória expressasse o tremendo esforço a que as paredes e lajes de concreto estavam sendo submetidas, na contenção das enormes pressões da terra dos subsolos e da água dos lençóis freáticos. (FRAGELLI, 2010, p. 242).

Ainda propôs espacialidade mais generosa, com pés direitos duplos, mezaninos abertos e volumetrias variadas, diverso do que encontrou em estações ao redor do mundo. Estas diretrizes, que moldaram as estações que conhecemos na Linha 1-Azul, foram objeto de conflitos com equipes de projeto de outras disciplinas, habituadas a contar com forros e acabamentos para acomodar as funcionalidades necessárias.

As lajes de cobertura com volumetrias escultóricas se tornaram marca registrada das estações projetadas por Fragelli, como apresentado na figura 1 no trecho Jabaquara – Tiradentes, e também foram alvo de disputa, desta vez com os calculistas, que já buscavam maneiras de dotar a construção de tecnologias industrializadas:

A adoção do concreto aparente na caixa da estação foi uma luta difícil com os engenheiros alemães. Contavam com a aplicação de um forro falso, que liberasse a fôrma dos tetos de qualquer cuidado especial e possibilitasse o uso da fôrma deslizante, facilitando a fixação de todas as tubulações entre a laje e o forro. (FRAGELLI, 2010, p. 241)

O trecho norte do plano inicial da linha 1, que contaria com o cruzamento dos rios Tamanduateí e Tietê, e por longo trecho se desenvolveria através das várzeas destes, foi planejado em elevado. Os trechos e os respectivos métodos construtivos da Linha 1- Azul serão detalhados a seguir.

Figura 1 - Perspectiva da estação Liberdade com laje de cobertura curva.

Fonte: Fragelli (2010, p. 222).

1.2.1 NORTE – SUL, A LINHA 1 - AZUL: O NASCIMENTO DO METRÔ DE SÃO PAULO; TRÊS TRECHOS, TRÊS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Em sua concepção original, a Linha 1- Azul foi planejada em três trechos que utilizariam sistemas construtivos distintos para suporte de suas vias e que, consequentemente, moldariam sua conformação espacial final tanto dos trechos de via como de estações, assim como sua interface com a cidade. Analisaremos um a um os métodos construtivos, sobretudo os subterrâneos, buscando enumerar suas características e o motivo da escolha de cada um, assim como suas implicações no desenho das estações.

Enumerando os trechos de sul a norte, temos: o primeiro trecho, construído desde o pátio do Jabaquara até a estação Liberdade, seguiu o método *cut and cover*; da estação Liberdade até o intervalo entre a estação Luz e a estação Tiradentes, os túneis foram escavados por *Shield*; no intervalo entre estas estações a via aflora e o Metrô passa a correr sobre *via elevada* até a estação Carandiru, depois da qual, em uma das expansões do sistema, já nos anos 1990, volta a ser subterrânea.

Vide glossário

1.2.2 JABAQUARA – LIBERDADE: O TRECHO DE VIA FEITA NO SISTEMA CUT-AND-COVER

O trecho construído em “*cut-and-cover*”, vala a céu aberto ou trincheira, foi o primeiro a ser inaugurado na cidade de São Paulo. O sistema construtivo consiste em abrir uma vala ao longo de toda a extensão dos túneis de via (Figura 2) e estações e, após executada sua contenção e impermeabilização, é feita a laje de cobertura, sobre a qual é reconstituído o tecido urbano de ruas, praças etc que foi rasgado para construção de vias e estações subterrâneas.

Figura 2 - Seção típica do túnel em *cut and cover* na Linha 1- Azul.

Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (1983, p. 32).

Este sistema caracteriza um dos sistemas de Metrô mais tradicionais do mundo, o de Nova York, que teve a maior parte de seus túneis e estações subterrâneas construídos desta forma, sobretudo aqueles da região da Ilha de Manhattan. Em Nova York a arquitetura resultante é de forte personalidade, marcada internamente pelos perfis metálicos estruturais aparentes, a ortogonalidade de sua geometria espacial e externamente pela sobriedade dos acessos ao nível da rua.

Este método, por sua presença em grande parte da linha, notabilizou o trecho subterrâneo da Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo e tem como principais características:

- **Grande impacto no trânsito de veículos e dinâmica da cidade durante sua execução**, pois todo o trecho de obra passa a estar em contato direto com a superfície, o que resulta em grandes extensões de interdições viárias e conseqüentemente, o trecho em obra passa a ser, todo ele, um obstáculo urbano (Figura 3).

- **Grande impacto na vizinhança:** A abertura da vala de grande extensão pode resultar em recalques nas edificações vizinhas e o acesso aos imóveis fica comprometido, uma vez que a via de veículos fica fechada durante a obra, afetando tanto as edificações como seus usos, principalmente o comércio, mais sensível ao comprometimento de seu acesso;
- **Grande número de desapropriações,** uma vez que, apesar de subterrâneo, o sistema depende de obra na superfície de toda sua linha para ser construído, aumentando desta forma o custo global, principalmente em situações de mercado imobiliário aquecido;

Figura 3 - Vala a céu aberto para construção da estação Eucaliptos (Linha 5- Lilás).

Fonte: Acervo do autor (2014).

Vide glossário

- **Mais adequado e economicamente viável em situações de relevo plano:** como o material rodante adotado no Metrô pesado de São Paulo utiliza rodas de aço sobre trilhos, a via permanente não vence rampas cuja inclinação exceda 5% (Figura 4). Para o sistema *cut-and-cover*, quanto mais paralelo e próximo à superfície a via permanente se encontrar menor será a escavação e, conseqüentemente, mais econômica será a obra. Em casos de grandes aclives e declives na superfície, para que a via se enquadre na rampa máxima de 5% de inclinação, perde-se o paralelismo, dando lugar a valas mais profundas, gerando maiores paredes de contenções, estroncas ou tirantes e mais deslocamento de terra, encarecendo o processo. O trecho em que foi usado o *cut-and-cover* na Linha 1-Azul de São Paulo ilustra bem a condição topográfica ideal para esta modalidade, com poucos desníveis, no topo do espigão conformado pela geografia local, rara na topografia paulistana, marcada por montanhas.

Figura 4 - Croqui com condição ideal para execução de VCA: túnel e superfície com mesma inclinação (a inclinação máxima para via de metrô com rodas de aço é de 4%).

Fonte: elaborado pelo autor.

- **Adequado para implantação sob vias largas.** O *cut-and-cover* necessita de grande largura de escavação para sua via, pois esta escavação deve ser suficiente para receber a soma da largura útil para passagem de trens e demais necessidades de dutos e segurança com a largura necessária para sua construção. A largura útil deve comportar a largura de gabarito dinâmico dos trens, passarela(s) de emergência e utilidades (dutos de cabos, incêndio, hidrantes etc). Construtivamente, é preciso largura suficiente para comportar a espessura da parede de contenção e a área de afastamento para segurança desta para os demais usos como edifícios e passagens ao nível da rua. É importante salientar que a geometria da vala, com paredes verticais, ao contrário da natureza tubular

ou de abóbodas dos túneis, é desfavorável para a distribuição das cargas, implicando a necessidade de paredes mais robustas e, portanto, mais largas;

- **Dependente do traçado das vias da superfície.** A desvinculação do traçado da via da trama existente na superfície implicaria a desapropriação dos terrenos correspondentes, inviabilizando esta opção;
- **Estações próximas da superfície,** ponto positivo deste sistema, as estações subterrâneas ao longo de túneis feitos em *cut-and-cover*, o embarque, desembarque e conexões são mais rápidas, tornando o Metrô atrativo inclusive para viagens curtas, além de resultar em estações menores e mais baratas, tanto em sua construção como operação e manutenção.

Na Linha 1- Azul todas as estações ao longo do trecho de via feito em **VCA** também seguiram este método construtivo e as estações possuíam configuração dos espaços bastante semelhante, quase padronizadas, mas Frageli se aproveitou da escavação que necessitava ser feita e fez grandes vazios de reconhecida qualidade espacial, ao contrário do que previam os projetos iniciais dos engenheiros da HMD que faziam um grande reaterro logo acima da laje de cobertura da plataforma (FRAGELLI, 2010). Houve grande controvérsia na proposta, uma vez que o vazio criava a necessidade de paredes de contenção da vala de maior capacidade estrutural. O arquiteto contornou esta crítica propondo estroncas e argumentou que a redução do reaterro também poderia ser encarada como economia de obra. O resultado, como já foi apontado, são as lajes escultóricas, que conferiam individualismo às estações e as espacialidades e visuais abertas a partir dos mezaninos e acessos, ainda hoje revisitadas nas estações paulistanas. Vide glossário

1.2.3 LIBERDADE – TIRADENTES: O PRIMEIRO TÚNEL CONSTRUÍDO POR MEIO DE SHIELD NO BRASIL

Figura 5 - Seção típica do túnel em *Shield* na Linha 1- Azul.

Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (1983, p. 32).

Vide glossário

² Sigla para designar "Tunnel Boring Machine", da língua inglesa: Máquina tuneladora (tradução do autor)

O trecho seguinte da linha 1 em direção ao norte teve seu túnel escavado por meio de *Shield*, que conta com alguns sinônimos: máquina tuneladora, TBM², método não destrutivo (em oposição ao método destrutivo do *cut-and-cover*) ou ainda, como é popularmente conhecido, "tatzão". Esta máquina, criada no final do século XIX e que assumiu diversas conformações e mecanismos ao longo do tempo, se caracteriza fundamentalmente pela couraça de forma tubular que faz o papel da contenção do solo enquanto é feita a escavação e ainda não existem os anéis definitivos do túnel. A couraça é também definidora da geometria final do túnel resultante, que nasce a partir de seu interior, como que extrudado (Figura 5).

Quando da sua criação, o *Shield* não contava com máquinas para escavação e os túneis eram escavados manualmente por trabalhadores que se protegiam pela couraça; ao longo do tempo, o equipamento se tornou totalmente mecanizado e seus modelos atuais possuem os mais diversos sistemas eletrônicos embarcados para controle, navegação etc. A couraça do *Shield* permitiu maior segurança nas escavações, tanto na estabilidade do túnel como nos recalques das áreas lindeiras à escavação. Com a evolução dos equipamentos, o *Shield* trouxe também uma produtividade que não havia sido experimentada neste tipo de construção. O trecho entre Liberdade e Luz do Metrô de São Paulo foi a primeira experiência de túneis escavados por *Shield* no Brasil e o equipamento utilizado representava o estado da arte na ocasião. A máquina usada na Linha 1-Azul já era mecanizada, contando com a frente de corte, uma grande roda ligeiramente maior que o diâmetro externo do túnel (o que o possibilitava fazer curvas) que quando rotacionada escava o terreno. Para o avanço, o equipamento se projetava para frente impulsionado por macacos que se apoiam nas paredes do trecho do túnel já construído. O equipamento contava ainda com um sistema de pressurização, que permitia que fossem feitas escavações abaixo do nível do lençol freático e que tornava o ambiente de obra bastante especializado, pois requer um processo de adaptação para os trabalhadores se expusessem à alta pressão existente (Figura 6).

Figura 6 - Shield com suporte a ar comprimido.

Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (2014).

No caso do túnel da Linha 1-Azul, os anéis que conformam o túnel são metálicos, com segmentos parafusados entre si. Para garantir a estabilidade do terreno, o espaço vazio formado entre o metal das paredes e o terreno escavado pela frente de corte, que é maior que o diâmetro externo do tubo, é preenchido por nata de concreto injetada pelo próprio equipamento.

Na Linha 1-Azul, as estações que ficaram sob influência do sistema de *Shield* para tuneis foram: Sé, São Joaquim, Luz e Tiradentes. Este trecho da cidade, que já contava com uma trama de prédios altos sem recuo em relação ao limite entre o lote e a rua, com fundações profundas, ruas estreitas e grande movimento de pessoas e veículos, tornou o método construtivo quase que um dado prévio de projeto, uma vez que abrir trincheiras para *cut-and-cover* se mostrava inviável na condição de consolidação urbana apresentada e uma linha de superfície ou elevada era ainda mais improvável.

O *Shield* tem como algumas de suas características:

- **Máquinas específicas para cada tipo de solo a ser escavado:** as tuneladoras costumam ser produzidas (ou reformadas) para o tipo específico de solo em que será feito o túnel. Alguns túneis projetados atravessam diferentes tipos de solos e necessitam de máquinas que, por serem versáteis, apresentam baixo desempenho, chegando a ser anti-econômicas. O perfil geológico do local irá apontar a alternativa mais adequada a ser utilizada, por isso são necessários levantamentos e sondagens detalhados para auxiliar na eleição do sistema construtivo e equipamento a ser adotado;
- **Método resulta em túneis de maior profundidade** que o sistema *cut-and-cover*: para manter a estabilidade do terreno, os túneis feitos em *Shield* costumam ter mais que o próprio diâmetro do túnel em recobrimento de terra, o que resulta em estações mais profundas e, conseqüentemente, embarque mais distante para os passageiros;
- **Configura interessante opção para projetos de Metrô com material rodante de rodas de aço em regiões de relevo acidentado:** por construir túneis desvinculados da inclinação do terreno original e permitir grandes profundidades, o *Shield* viabiliza que se projete túneis em rampa dentro dos limites adequados para este modal (até 4% de inclinação) sem aumentar os custos de escavação (Figura 7);

Figura 7 - Croqui apresentando túnel feito em condição de relevo com inclinações maiores que as admitidas para as vias (a inclinação máxima para via de metrô com rodas de aço é de 4%): contraindicado para execução em VCA e adequado para uso de Shield.

Fonte: elaborado pelo autor.

- **Menor interferência no nível da rua**, uma vez que depende apenas de uma vala para seu emboque e outra para seu desemboque ao longo de toda a escavação. Reduz drasticamente o impacto no dia-a-dia do entorno, trânsito e reduz as necessidades de desapropriação;
- **Menores recalques do terreno ao longo de sua escavação**, possibilitando seu uso em regiões que contam com edificações e estruturas mais delicadas;
- **Menor largura necessária do viário para implantação**, permitindo seu uso em ruas estreitas;
- **Possibilidade de escavação sob edifícios existentes**, dependendo das características do edifício e de suas fundações. Este aspecto amplia sensivelmente as possibilidades de traçado e reduz as necessidades de desapropriação para construção de uma linha e desvincula o projeto da trama de ruas existentes.

O trecho mais estreito entre fundações de edifícios da Linha 1- Azul, ao longo da Rua da Boa Vista no centro velho de São Paulo, onde foi escavado um túnel exigiu ainda mais uma inovação: os dois túneis singelos (em cada um passa apenas uma via férrea, e cada um é trafegado para um sentido) se posicionam um sobre o outro e não lateralmente paralelos como é o tradicional.

Fruto das condições encontradas, necessidades e profundidades, as estações deste trecho da Linha 1- Azul resultaram em situações bastante singulares.

A estação São Joaquim possui plataformas de ida e volta sobrepostas, pois se encontra no trecho mais estreito como descrito acima, e tem uma ampla gama de saídas em edifícios e situações urbanas específicas, além de contar com praça rebaixada no largo São Bento. Nesta estação, Fragelli projetou ainda um edifício que seria a sede do Metrô de São Paulo, e faria com que articulação urbana proposta ficasse completa, mas este nunca foi construído (FRAGELLI, 2010).

A estação Sé, cujo projeto já passou às mãos da equipe interna do Metrô de São Paulo, com autoria do Arquiteto Roberto Mac Fadden que havia recém ingressado na Companhia (ingressou na CMSP em outubro de 1972), faz a interligação com a Linha 3- Vermelha, que configura a ligação leste que trataremos a seguir (MAC FADDEN, 2014). Pela demanda estimada hoje e confirmada pelos dados de operação, a estação atende cerca de 100.000 usuários por hora no horário de pico, necessitava de uma grande vala para acomodar todo seu público e para que isso fosse possível na região já densamente construída, foi necessária a imploração do edifício Mendes Caldeira, que fez com que a praça da Sé se expandisse, o que gerou críticas por parte de urbanistas que entendiam que a demolição alterou o caráter espacial da praça (OVANDO JUNIOR, 2014). Esta estação, inaugurada no ano de 1978 e cuja funcionalidade pode ser atestada ainda hoje, é a de maior movimento de toda a rede, inaugurou também o paradigma da luz natural nas estações subterrâneas paulistas. A busca pela luz natural já havia sido iniciada pela equipe de Fragelli de forma ainda tímida, como pode ser notada em estações como Ana Rosa, na estação Sé se coloca como protagonista, graças ao seu grande átrio circular central, que ilumina as plataformas das duas linhas que se conectam ali.

O projeto da estação Sé, o primeiro desenvolvido pela equipe interna do Metrô, foi um importante marco na criação de um escritório público de projeto de excelência, por onde passaram, e se formaram, dezenas de profissionais, disseminando conhecimento técnico nas diversas esferas públicas e privadas do país.

A já citada estação Luz também merece menção, não somente por ser a porta de entrada da equipe brasileira de arquitetos nos projetos de estações subterrâneas, mas também por sua qualidade e dignidade com que conviveu com as novas interligações de trens e Metrô (Linha 4 - Amarela) que foram implementadas ao longo do tempo.

1.2.4 TIRADENTES – CARANDIRU: O METRÔ EM VIA ELEVADA.

O terceiro sistema construtivo adotado na Linha 1-Azul foi o de vias elevadas, que o consórcio HMD justifica devido aos obstáculos naturais que se colocavam para a construção de túneis rumo à zona norte de São Paulo: a linha cruza os rios Tamanduateí e Tietê, suas respectivas várzeas, além de atravessar uma região de terrenos rochosos, onde a construção de túneis seria mais cara na ocasião. A viabilidade deste método se deu por existirem avenidas com caixa de largura suficiente para recebe-lo em seus canteiros centrais.

Figura 8 - Seção típica de via elevada na Linha 1- Azul.

Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (1983, p. 32).

A via elevada tem como algumas de suas características:

- **Grande impacto na paisagem urbana:** muitos elevados são reconhecidos por causarem degradação da paisagem em que se inserem. O grande volume estrutural, sombras resultantes e ruído proveniente do modal, com raras exceções, são incompatíveis com a urbanidade do entorno. O impacto é proporcional à largura da caixa do viário em que se insere, pois quanto mais estreita a calha da rua ou avenida, maior será a proximidade com as edificações lindeiras, e portanto sofrerão mais com os seus efeitos, e menor será a fresta de céu e luz solar disponível para o espaço público da avenida;
- **Custo de construção mais baixo que opções subterrâneas:** a construção do sistema é mais barata que os similares em túnel e é imune às dificuldades que podem ser encontradas para a construção subterrânea, como lençol freático raso, corpos d'água, solos poucos competentes, solos de difícil escavação etc.;
- **Logística de construção complexa:** em áreas densamente construídas e em vias com trânsito de veículos intenso, a construção da infraestrutura pode conflitar com o viário e com a vizinhança. Muitos pilares precisam ser construídos ao longo da via, além da necessidade de construção de pesadas vigas e tabuleiros para receber a via permanente, o que representa grandes cimbramentos ou içamento de grandes peças impedindo total ou parcialmente o viário existente;
- **Compatibilização de pilares com pré-existências:** é necessária a adequação da modulação dos pilares com o grid de ruas, avenidas, hidrografia, e todas as interferências, subterrâneas ou não. Caso a modulação não se adeque, é necessária alteração nas características existentes

(como larguras de ruas) ou assimetria da estrutura padrão, com seus consequentes ajustes específicos, de cálculo, dimensões, projeto etc, sempre implicando novos custos não diretamente relacionados com o escopo da obra.

Como mencionado, as estações deste trecho foram as primeiras projetadas pela equipe brasileira de arquitetos que se aproveitaram da reprovação do projeto apresentado pelos engenheiros alemães do consórcio HMD por parte das autoridades locais e propuseram um projeto com diretrizes padrões para esta natureza de estações. O primeiro projeto apresentado foi para a estação Ponte Pequena, depois rebatizada de Armênia. O episódio foi descrito em detalhes por Fragelli (2010) e o resultado foi a estação bastante aclamada pela crítica: o projeto foi vencedor do prêmio do Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB) no ano de 1967.

Um importante legado das estações elevadas são as diretrizes de padronização e industrialização adotadas nestas obras. No trecho elevado da Linha 1- Azul se experimentou utilizar elementos padrões que, com diferentes articulações, se adaptam à linha existente e aos sítios onde são implantadas as estações.

1.2.5 EXPANSÃO NORTE: O ÚLTIMO TRECHO DA LINHA 1

Nos anos 1990 ainda foram construídas outras estações: Jardim São Paulo (depois rebatizada como Jardim São Paulo- Ayrton Senna), Parada Inglesa e Tucuruvi desenvolvidas em métodos construtivos diversos: vala a céu aberto, elevado e em nível (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, 2014).

Dentre estas se destaca a estação Jardim São Paulo – Ayrton Senna, cujo projeto é de autoria da Arquiteta Meire Gonçalves Selli e foi condecorada com o prêmio da “II Bienal Iberoamericana de Arquitectura e Ingenieria Civil de Madrid” no ano 2000, e a Estação Parada Inglesa (Linha 1-Azul), do arq. Francisco Hideo Nuno-mura, condecorada na Quinta Bienal de Arquitetura de Buenos Aires (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, 2014).

1.3 LESTE OESTE, A LINHA 3-VERMELHA

A linha Leste-Oeste, recentemente rebatizada como Linha 3-Vermelha, se propunha ao importante papel de integradora da região leste de São Paulo, onde já vivia grande contingente populacional, ao centro expandido da cidade. Foi a primeira Linha que contou com projeto e com fiscalização da construção comandada pela equipe interna da Companhia. Com a decisão por passar a via da linha Leste-Oeste sobre a Norte-Sul na estação Sé e não utilizar o projeto original que previa a nova linha passando por baixo, Sé passou a ser projetada por metroviários, como já mencionado, tem início ao que podemos denominar de segunda geração de arquitetos de projeto do Metrô, formado pela equipe interna de arquitetos que passou a projetar as instalações da rede e recebeu o bastão da equipe pioneira do consórcio HMD liderada por Marcello Fragelli. Os projetos muitas ve-

Vide glossário

zes seguiam sendo desenvolvidos e detalhados fora da CMSP, mas a concepção e análise passou a ser feita internamente. Neste momento, final do ano de 1972, iniciou-se uma reorganização da produção de projetos para construção do Metrô: Mac Fadden (2014) esclarece que, como as projetistas contratadas recebiam por desenho, existia uma redundância de informações gráficas significativa. Desde o início dos projetos de Metrô, a HMD já emitia os “Projetos Padrão”, ou PPs, como são conhecidos no jargão interno da CMSP. Mas, com a identificação das redundâncias apontadas, foi contratado um escritório externo liderado pelo Arquiteto Ernest Roger Carvalho Mange, que racionalizou todo o projeto de acabamento das estações, o que significou, na opinião de Mac Fadden, um salto de qualidade dos desenhos que iam para a obra (MAC FADDEN, 2014).

Este momento ainda foi marcante pela instituição dos chamados “sete sábios”, grupo interdisciplinar, formado por profissionais especialistas nas várias áreas envolvidas no projeto e construção de Metrô, que tinha autonomia para pesquisar, estudar e tomar decisões técnicas dentro da CMSP, ao mesmo tempo em que não possuía deveres gerenciais, apesar de receberem remuneração compatível às dos gestores (MAC FADDEN, 2014).

Criado pelo primeiro diretor presidente da CMSP, o engenheiro Plínio Assmann, os sete sábios possuíam os seguintes integrantes: eng. João Paulo Lacerda, responsável por definições de material rodante, eng. Tadashi Nakagawa, de eletricidade, eng. Peter Ludwig Alouche, sinalização, eng. Jair Molina especializado em sistemas, eng. Affonso de Vergueiro Lobo Filho e eng. José Vitor Soalheiro Couto, civil e arquiteto Roberto Ezell Mac Fadden, arquitetura. Este grupo é lembrado na CMSP como decisivo na agilidade de processos durante sua existência e pela excelência em seu trabalho de definições básicas de projetos, que guiariam empreitadas bem sucedidas.

O arquiteto Roberto Mac Fadden, que coordenou a maior parte dos projetos de estações deste trecho, declara que inicialmente se estudou a implantação da linha, de forma subterrânea, no eixo da avenida Celso Garcia e suas continuções que, antes da abertura da rodovia Dutra, configuravam estrada para o Rio de Janeiro. Quando se iniciou o planejamento, neste eixo se localizavam as centralidades locais da região na década de 1970, o que justificaria a instalação das estações nestes pontos. O relevo montanhoso da região, as consequentes dificuldades técnicas envolvidas para a construção de um túnel de via na área e, principalmente, a dificuldade de fazer desvios de tráfego para construção de estações, levaram a estudar outras alternativas. A solução adotada, de utilizar parte do leito da ferrovia já existente para a instalação das vias para o Metrô, se mostrou a mais adequada por aliar baixo custo de execução com uma reorganização urbana na região.

A solução instalada preconizava o convívio entre os trilhos de trem, com servidão para trens metropolitanos e regionais, com os trilhos de Metrô. A situação com várias linhas somadas, cercadas por muros como se pressupõe uma via segre-

gada de superfície, paralela à Radial Leste e aos córregos da região, configurou uma importante divisão no tecido urbano, criando uma descontinuidade na cidade. Para amenizar esta situação, as estações deveriam ter um caráter integrador, e desta forma assumiram diversas funções, ampliando sua atuação.

As estações, em sua maioria, possuíam praças em seus acessos, buscando fazer a interface com a região de forma mais suave. Estas passaram a ter também pontos ou terminais de ônibus, para que o efeito da linha fosse sentido de forma mais abrangente na região, potencializando sua função. A passarela de acesso configurou importante interligação entre os lados, criando uniões no tecido urbano rasgado pela hidrografia e pelas vias emparelhadas. Foi feito ainda o prolongamento da avenida Radial Leste, em sua extremidade periférica, ampliando o efeito urbanizador da linha.

A racionalidade e padronização das estações de superfície deste trecho se colocam como um importante legado para toda a rede. A partir de alguns elementos construtivos inteiramente padronizados que se articulam, se resolveram a maior parte das estações que contaram com ajustes para se adaptar aos sítios. Mac Fadden (2014) explica que, para construção deste trecho, foi estudado um sistema industrializado bastante sofisticado, alinhado com a escala que se desejava trabalhar. Foi proposta uma indústria de pré-moldados que fabricaria os componentes das estações de superfície, que seriam construídas com estas peças. A fábrica seria erguida às margens da ferrovia já operante e usufruiria desta infraestrutura para receber os insumos e distribuir as peças na construção das estações, fazendo da ferrovia seu principal elemento de logística, conferindo maior independência entre a obra e o sistema viário (MAC FADDEN, 2014).

Esta ideia terminou frustrada pela conjuntura do momento e a fábrica não foi executada. Em boa parte das estações, todavia, foram utilizados sistemas industrializados, inclusive pré-moldados, seguindo, porém, padrões de mercado. As estações do trecho de superfície se mostraram bastante racionalizadas, e tem como característica marcante suas coberturas espaciais. Estas coberturas, porém, não haviam sido previstas inicialmente, pois se esperava utilizar dos pré-moldados. Segundo Mac Fadden (2014) a equação entre custo, dimensões de vãos e rapidez da execução tornava esta estrutura muito atraente, e sua escolha foi quase uma obrigação diante da responsabilidade projetual do arquiteto de programas públicos.

O uso de linhas de superfície para Metrô é bastante recorrente em outros países, com características que devem ser observadas:

- **Baixo custo e menor tempo de execução** pois, dependendo do tipo de solo, a via pode ser feita em suporte flexível de rachão, que é assentado sobre o terreno e as estações também ao nível do solo. Tem custos compatíveis com edifícios convencionais, sendo esta a principal vantagem deste sistema;

- **Configura barreira física de grande extensão na cidade**, pois pela característica do modal, a via deve ser segregada do entorno, geralmente por meio de muros, o que também pode causar impacto na paisagem. As travessias costumam ser feitas por meio de pontes, passarelas e túneis. Esta característica é o principal inconveniente deste tipo de solução, pois se não for tratada com cuidado pode causar grande dano no entorno, que perderá relações que costumam já existir. Na porção norte da *Jubilee line*, em Londres, a via corre na superfície, mas como foi implantada com fundos de lotes voltados para seus muros e conta com muitas travessias de aclives e declives de pouca inclinação, que se fundem com a malha de ruas, se insere de forma mais suave na paisagem urbana;
- **Necessidade de grandes áreas**: por ocupar terrenos em toda sua extensão, a linha se inviabiliza economicamente se não possuir uma faixa de domínio público prévia, necessitando a desapropriação de todas suas áreas em terrenos com impacto urbano;
- **Poluição sonora**: ainda que se tomem medidas para mitigar seus efeitos, como barreiras e estruturas para abafá-los, os ruídos provenientes do contato roda-trilho e da mecânica dos trens pode incomodar o entorno.

O trecho central da Linha 3 - Vermelha tem ainda 5 estações subterrâneas: Sé, já descrita na Linha 1 - Azul, Anhangabaú, República, que atualmente conta com a integração com a Linha 4 – Amarela, Santa Cecília e Marechal Deodoro. Algumas destas estações contaram com um esforço para obtenção de ventilação e iluminação natural e integração do espaço interno com o entorno externo, através de maiores aberturas, como pode ser notado principalmente nas estações Marechal Deodoro e Santa Cecília.

No extremo oeste da linha há ainda a estação de superfície multimodal Barra Funda, rebatizada como Palmeiras - Barra Funda, que atende Trens Metropolitanos, Metrô e ônibus municipais e intermunicipais.

Foram premiadas as seguintes estações da Linha 3-Vermelha na V Bienal de Arquitetura de Buenos Aires: Palmeiras - Barra Funda (arquiteto Roberto Mac Fadden); Marechal Deodoro (arquiteto. Roberto Mac Fadden); Sé (arquiteto João Paulo e Roberto Mac Fadden); Parque Dom Pedrol (arquiteta Meire Gonçalves Selli); Artur Alvim (arquiteto Katumi Sawada) e Itaquera (arquitetos Meire Gonçalves Selli e Renato Viégas).

1.4 RAMAL PAULISTA – A LINHA 2 – VERDE

A Linha 2 – Verde, inicialmente conhecida como Ramal Paulista ou Linha Paulista por percorrer todo o eixo desta avenida, está prevista desde o plano inicial da HMD. A linha, inicialmente pensada como um ramal da Linha 1 - Azul

derivando da estação Paraíso, que foi construída com uma plataforma para este uso, passou por muitos estudos de implantação, com diferentes sistemas construtivos.

A Avenida Paulista na década de 1970 já era importante centro econômico da cidade e suscitava planos de urbanização para adequar a ligação viária que representava e para reforçar seu caráter cívico e comercial.

Segundo o Arquiteto Mac Fadden (2014), a incumbência de projetar o trecho veio às pressas como uma das suas primeiras atividades de projeto na companhia, antes mesmo do projeto da Linha Leste-Oeste, logo após o projeto da estação Sé. Segundo Mac Fadden (2014), o prefeito na ocasião era José Carlos de Figueiredo Ferraz (prefeito de São Paulo entre 1971 e 1973), engenheiro calculista, fundador do tradicional escritório de projetos estruturais que leva seu sobrenome, ainda hoje um dos mais reconhecidos da cidade. Ferraz possuía um projeto para a Avenida Paulista desenvolvido em seu escritório e que pretendia executar em seu governo, que consistia em transformar a via em um calçadão de pedestres. O projeto se viabilizava por meio da construção de um túnel de automóveis em toda a extensão da Avenida, para absorver o trânsito de veículos ali presente. O túnel seria feito em VCA e, a despeito do eixo da Avenida Paulista constar entre as linhas previstas na rede Básica proposta pela HDM, não contemplava em sua seção típica espaço para via e estações de Metrô. Diante da possibilidade de o projeto do prefeito inviabilizar a linha prevista, o então Gerente de Projetos da CMSP na ocasião, Mario Mariotto, solicitou à equipe que desenvolvesse às pressas um projeto que, ao mesmo tempo, contemplasse o rebaixamento da via de veículos, como desejava o prefeito, e a implantação de uma linha de Metrô (MAC FADDEN, 2014). Alguns estudos foram feitos e, em síntese, previam que a vala a ser feita para receber o trânsito de veículos deveria ser mais funda de forma a receber em outro nível a via de Metrô. Mac Fadden (2014) diz que chegou a estudar uma possibilidade que previa um nível mais profundo, que contemplava as vias de veículos e no centro as vias de Metrô e um nível acima, ainda no subterrâneo, era proposto um mezanino contínuo que, além das funções ligadas à operação do Metrô como bloqueios e salas técnicas, receberia outras funções como equipamentos públicos, comércio, além de três mil vagas de estacionamento de automóveis. Segundo o arquiteto, a proposta de estacionamento causou estranheza e até foi tratado como absurda pelos críticos, que consideravam este número de vagas excessivamente alto.

Vide glossário

A obra prevendo os dois níveis, contemplando veículos e Metrô em cada um deles, desenvolvida pelo escritório de Figueiredo Ferraz com o Arquiteto Nadir Mezerani, chegou a ser iniciada, e assumiria a feição do túnel semiaberto como é testemunho o trecho da Avenida próximo ao cruzamento com a Rua da Consolação. Todavia, A obra foi abortada pelo prefeito Miguel Colassuono, sucessor³ de Figueiredo Ferraz, o VCA causava grande impacto retardando a implantação desta linha, que voltou à agenda quando a linha Leste-Oeste já estava operando.

³ Figueiredo Ferraz foi destituído do cargo em 21 de agosto de 1973 e o presidente da câmara à época, Brasil Vita assumiu interinamente até 27 de agosto de 1973, quando tomou posse o prefeito Miguel Colassuono, nomeado pelo governador do estado Laudo Natel e aprovado pela Assembleia Legislativa.

1.4.1 BRIGADEIRO E TRIANON-MASP: ESCAVAÇÕES INVERTIDAS E ENFILAGENS

Figura 9 - Enfilagens para construção de estações na Avenida Paulista com menor impacto na superfície.

Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (2014).

Vide glossário

As possibilidades mais aventadas eram o *Shield* e o *NATM*⁴ para a construção do túnel de via. O término da construção do trecho em *Shield* da Linha Leste-Oeste no centro da cidade e a consequente liberação do equipamento auxiliou na decisão de fazer o túnel de via em *Shield*. Os túneis resultantes pela primeira vez no Metrô de São Paulo adotaram *aduelas* de concreto pré-moldado.

⁴ Sigla para New Austrian Tunneling Method, do Inglês: Novo Método de Tunnelamento Austríaco (tradução do autor).

A situação de intenso uso e de densidade construtiva presente na avenida foi o parâmetro mais importante para estudo das estações a serem implantadas. Enquanto a construção do túnel de via era equacionada com pouco impacto na superfície, graças à escavação por tuneladoras, as estações necessitavam métodos construtivos com a mesma preocupação.

A necessidade de implantação de todo o programa de uma estação, que envolve acessos, mezanino, circulações, plataformas salas técnicas e operacionais etc, em uma situação onde desapropriações são quase inviáveis pelo custo dos imóveis e a interdição da via causaria grandes impactos para toda a cidade, fez com que os estudos avançassem para novas alternativas ainda inéditas no Metrô de São Paulo. A despeito de estudos feitos e publicados no final dos anos 1980, que retomavam propostas de grandes valas que, além das estações, receberam áreas comerciais, os projetos que prosperaram para as estações localizadas na Avenida Paulista (Brigadeiro, Trianon-Masp e Consolação ver figura 11) e a Esta-

Figura 10 - Estação Trianon-MASP, executada por meio de enfilagens; planta e cortes.

Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (1983, p. 94).

Figura 11 - Proposta de galerias subterrâneas de comércio junto à estação Consolação.

Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (1989).

Vide glossário

ção Clínicas priorizaram métodos construtivos que afetassem o mínimo possível a superfície, principalmente o leito viário sobre as estações, além de se restringirem ao máximo as áreas públicas existentes, minimizando as desapropriações. Nas estações Brigadeiro e Trianon Masp, para que as estações não fossem de grande profundidade, tirando proveito da competência do solo ao mesmo tempo evitando grande intervenção na superfície, foi usada uma técnica mista que consiste na criação de pequenas valas laterais às pistas da Avenida e, por meio delas criar uma série de **enfilagens** (Figura 9 e 10), que são injeções de nata de cimento que aumentam a estabilidade do maciço. Desta forma é possível fazer uma escavação invertida com a vala coberta pela pequena camada de cobrimento enrijecida pela enfilagem, ou seja, sem que a vala fique a céu aberto, através das valas laterais permitindo que a circulação continue acontecendo. A não adoção do NATM tradicional deve-se principalmente à possibilidade de fazer estações mais superficiais, sem a necessidade de grande cobrimento, como preconiza o método austríaco.

O **método invertido com enfilagens** descrito possui algumas características notáveis que podemos apontar:

- Permite que seja feita uma escavação invertida com **pequeno recobrimento**, com pouco impacto nas atividades na superfície;
- Permite **mezanino das estações próximos à superfície**, o que consequentemente possibilita estações menos profundas e torna as viagens curtas de Metrô mais atrativas;
- **Exige condições geológicas favoráveis**, assim como existe na região da Avenida Paulista, além de possuir lençol freático baixo;
- Possui **alto custo de execução** quando comparado ao VCA, se justificando em situações onde a desapropriação é cara e onde uma interdição de via seja complicada.

O método, apesar de se aplicar em condições singulares, é mais uma opção no repertório subterrâneo. As estações Brigadeiro e Trianon-Masp, na Avenida Paulista, que usufruíram do método, se tornaram exemplares muito caros aos usuários, que muitas vezes escolhem o Metrô para fazer viagens bastante curtas dentro da própria avenida. São comuns também observações sobre os espaços enxutos, sem exageros destas estações, muitas vezes lembradas como exemplos em detrimento de estações com espaços exagerados em comparação com sua utilização. Os acessos, que possuem desenho sofisticado e discreto em meio às largas calçadas da Avenida, também são legados destas obras.

O projeto da Estação Trianon-Masp, de autoria dos arquitetos Roberto Mac Fadden, Renato Viégas e Eduardo Hote foi condecorado com prêmio na Quinta Bienal de Arquitetura de Buenos Aires.

1,4,2 AS PLATAFORMAS EM NATM

A dificuldade cada vez maior de fazer grandes valas na cidade, principalmente nas regiões mais centrais, tornou o método NATM uma opção das mais utilizadas para a construção do corpo das plataformas de Metrô. A dimensão de plataformas é um dado crítico quando se estuda para sua construção o VCA, pois a extensão suficiente para receber composições de Metrô pesado como as utilizadas pela CMSP no subterrâneo em São Paulo é de aproximadamente 140 metros de comprimento, o que torna a área de influência da vala na superfície muito grande.

O NATM é uma forma de construção de túneis que permite diferentes dimensões de seções, além de ser economicamente viável para trechos curtos de túnel (ao contrário do *Shield*, que necessita trechos mais longos para justificar seu uso), permitindo assim que se projete túneis sob medida para receber este trecho mais longo da estação que representa o arcabouço da plataforma. O NATM também pode ser usado para túneis de via, pois como foi citado, algumas vezes o uso do *Shield* não se justifica, e costuma ser usado em trechos de via especiais como regiões de AMV⁵ quando os túneis são singelos, para ligações entre túneis singelos, estacionamentos de trens subterrâneos, para ligação de poços aos túneis etc. As estações que contam com plataformas em NATM costumam possuir uma conformação que soma o corpo formado pelo NATM a uma vala, que o liga à superfície além de eventuais ligações, que também podem ser feitas em NATM para acessos.

Vide glossário

⁵ AMV: Aparelho de Mudança de Via, aparelho usado para que os veículos que se utilizam da via permanente possam trocar de via. Possui partes móveis que se movimentam e dão à via a direção que se deseja tomar no entroncamento.

O NATM, utilizado para plataforma da estação, tem como algumas de suas características:

- **Menor impacto na superfície**, possibilitando menores desapropriações e menores desvios de tráfego;
- **Plataformas mais profundas**, pois necessita de um cobrimento sobre o túnel que, grosso modo, costuma ser maior que o diâmetro do próprio túnel, resultando em estações mais profundas e conseqüentemente, maior tempo desde a superfície até o embarque e desembarque, tornando assim menos atrativo o modal para viagens curtas;
- **Menor volume de terra escavada**, restringindo a escavação ao necessário previsto no programa, o que pode ser economicamente mais interessante quando o túnel de via, por motivos do relevo da região, está profundo;
- **Alto custo para construção**, pois é necessário grande diâmetro para acolher tanto a plataforma, como as vias e nas estações mais atuais o túnel recebe ainda um mezanino para a distribuição de escadas previstas nas normas de Bombeiros vigentes⁶, para que não haja acesso em um único ponto da plataforma.

⁶ A NFPA 130, norma americana adotada pelo Metrô de São Paulo para cálculo de rotas de fuga, exige que haja acessos distantes entre si nas plataformas.

A partir da linha da Paulista, com suas primeiras estações inauguradas no início dos anos 1990, o NATM foi usado em grande medida para a construção do corpo das plataformas das estações. Para acesso ao NATM em algumas das primeiras estações da linha, como Clínicas (inaugurada em 12/09/1992) foi feita uma vala retangular próxima ao centro da plataforma. Este conceito prosseguiu sendo usado em estações como Vila Madalena (inaugurada em 21/11/1998) e Chácara Klabin (inaugurada em 09/05/2006).

A linha conta ainda com estações de situações distintas, por estarem em localizações singulares, destas podemos citar principalmente a estação Sumaré (inaugurada em 21/11/1998), rebatizada mais tarde como Santuário Nossa senhora de Fátima – Sumaré, onde o túnel desemboca no íngreme talude que se forma nas laterais do vale do córrego Sumaré, escavadas décadas antes para receber a avenida de mesmo nome, e a plataforma se desenvolve em um tabuleiro sob o viaduto de veículos da Avenida Dr. Arnaldo e acima da Avenida Sumaré com quem cruza, abrindo belo e raro “belvedere” para os passageiros que aguardam a composição da via subterrânea.

A Estação Vila Prudente (inaugurada em 21/08/2010), projetada pelo arquiteto Luiz Esteves, a mais nova da Linha 2- Verde atualmente, é contemporânea às primeiras estações inauguradas da Linha 4- Amarela e tem em comum com algumas das estações desta linha o uso dos poços de grande diâmetro, como a estação Pinheiros (inaugurada em 16/05/2011).

Vide glossário

Os múltiplos poços de grande diâmetro, ou NATM vertical, foram desenvolvidos pela equipe do engenheiro brasileiro Carlos Campanhã e se valem de sua geometria circular para tirar proveito do maciço circundante como parte de seu suporte. No caso da estação Vila Prudente, são dois poços secantes, cada um com 40 metros de diâmetro que, em conjunto com uma plataforma em NATM, compõem o corpo subterrâneo da estação, coberta por uma estrutura de aço e vidro, que ilumina o interior.

Os múltiplos poços de grandes diâmetros, que também foram levados a obras no exterior, notadamente em Portugal, pelo engenheiro brasileiro Campanhã, apresentam características que os tornam bastante competitivos no momento da escolha do método a ser adotado.

Os **Poços de grandes Diâmetros** apresentam como características:

- **Sua geometria circular é favorável à distribuição de esforços** e a utilização do próprio maciço como suporte à vala o que permite que estas dispensem a maior parte das estroncas e tirantes necessários para contenção de valas com geometria ortogonal e faz com que suas paredes sejam mais esbeltas, barateando a obra;
- **A ausência de estroncas permite livre acesso para entrada e saída de materiais e equipamentos**, o que é útil na execução de uma estação

onde é necessário retirada de terra, rejeitos de construção, entrada de materiais, equipamentos de execução e equipamentos permanentes para funcionamento da estação;

- **A dispensa de tirantes** para estabilidade das paredes durante a execução, **além de baratear a obra** como um todo, **evita os riscos ao entorno** intrínsecos ao uso dos mesmos, sobretudo relacionados a conflitos com estruturas vizinhas, com escavações de túneis e solapamentos em solos com menor suporte;
- Assim como em uma escavação de NATM tradicional, **exige instrumentação minuciosa** do entorno;
- **Resulta em espaços internos tubulares, de plantas circulares**, o que pode ser considerado um problema pelo projetista da estação;
- **Pode necessitar área de implantação de maior largura** que uma vala retangular para que o poço se circunscreva ao redor do programa de necessidades, na maior parte das vezes formado por componentes ortogonais. Este aspecto, dependendo da situação e valor imobiliário da região, pode inviabilizar economicamente a solução;
- **Pode contar com um, dois ou mais poços secantes**, o que pode significar estações com toda sua plataforma circunscrita em uma vala de poços secantes, como na concepção de algumas estações da Linha 5-Lilás com 5 poços secantes.

Os poços de grandes diâmetros, sobretudo os poços secantes, se tornaram uma tendência na construção de valas para estações.

1.5 LINHA 4 – AMARELA – A PPP DO METRÔ DE SÃO PAULO

Depois de quase uma década sem iniciar a construção de uma nova linha de Metrô, após a demissão de muitos profissionais engajados em causas sindicais motivadas pela greve de 1988 seguido de um plano de demissão voluntária, que reduziu seus quadros de projeto e obras, e do envelhecimento de sua equipe, que não tinha atualização constante, a CMSP assinou sua primeira PPP⁷ para a construção da esperada Linha 4- Amarela. Esta linha contou com uma equipe interna da CMSP de arquitetos completamente reformulada em relação àquela que chamamos de segunda geração, que inaugurou a arquitetura feita dentro da CMSP, e a arquitetura praticada por essa equipe também tem um resultado bastante distinto do grupo que tem entre os autores arquitetos como Renato Viegas e Roberto Mac Fadden. As estações projetadas por esta terceira geração de arquitetos, muitos deles ex-projetistas que se formaram dentro da própria companhia, se afastaram completamente do brutalismo praticado pela primeira geração liderada por Fragelli e constantemente flertada pela segunda geração

Vide glossário

⁷ Sigla para designar Parceria Público-Privada, modalidade em que setor público se associa com empresa privada para viabilizar um empreendimento.

dos arquitetos, que imprimiram sua marca nas linhas 2 e 3. A arquitetura da geração mais recente, que tem nomes como o de Ivan Lubarino Piccoli dos Santos, é mais próxima à arquitetura praticada no mercado imobiliário e corporativo, com maior apelo nos acabamentos e menos crueza nos materiais estruturais. A cerâmica, o aço inox, o porcelanato, que já vinham sendo utilizados nas estações mais atuais feitas para expansão da Linha 2- Verde principalmente, foram amplamente incorporados e se tornaram a marca da Linha 4 – Amarela, assim como forros lisos que se converteram num padrão nas estações da linha. Com maior apelo ambiental que o tradicional granito, preocupação desta geração, e melhores características de desempenho em eventual situação de incêndio que o piso de borracha, o porcelanato passou a ser adotado em todas as estações a partir do projeto da Linha 4 – Amarela.

Com algumas variações de traçado e com um braço não realizado que fazia um arco a partir da estação da Luz em direção ao sudeste, a Linha 4 – Amarela estava em plano desde a concepção da Rede Básica (era chamada SE-SO) e era de extrema importância, tanto pelos pontos atendidos como pela integração que viabilizaria, pois o desenho da linha prevê cruzamentos com as demais linhas de Metrô existentes na cidade (exceto a Linha 5- Lilás) e muitas linhas de trem metropolitano da CPTM.

A construção da linha, contudo, carregou consigo uma série de frustrações para seus potenciais usuários. O modelo de contratação era uma novidade e os técnicos envolvidos no projeto e obra ainda não conheciam os novos limites de sua atuação, além de trazer brechas para atrasos, que ocorreram. O mais grave problema, contudo, aconteceu em 12 de janeiro de 2007: um grande acidente nas obras da Estação Pinheiros vitimou fatalmente 8 pessoas. O rompimento da parede da vala junto ao emboque do túnel abriu uma grande cratera na região. O risco intrínseco a este tipo de obra, foi alertado pela instrumentação instalada e a obra foi evacuada, mas a maioria das vítimas não pertencia à equipe de obra e estava no entorno, que não recebeu o alerta. O acidente provavelmente foi o momento mais crítico da história da CMSP e trouxe uma série de reflexões para novos projetos. As causas do acidente não serão discutidas neste trabalho, até por possuírem natureza diversa do objetivo deste, mas é importante colocar o impacto do episódio na história da instituição. Outros acidentes se seguiram e a CMSP, que no início de sua atividade e por muito tempo foi um sinônimo de qualidade em seus projetos e obras no panorama nacional, passou a ser vista com a desconfiança pública em suas empreitadas.

O projeto da Linha 4- Amarela, contudo, merece ser analisado com atenção, pois trouxe uma série de inovações e tecnologias inéditas no Brasil. Nos sistemas, as alterações foram muitas e podemos citar a *bitola* adotada que, assim como na Linha 5- Lilás, passou a ser o padrão internacional, ou *standard* com 1435mm em detrimento à bitola de 1600mm adotada nas linhas 1,2 e 3 da rede; a alimentação deixou de ser feita por *terceiro trilho* como também acontecia nas Linhas 1, 2 e 3 e passou a ser feita por *catenária*, que permitiu aumento da voltagem, de 750V para 1500V.

Vide glossário

No projeto/obra civil, a alteração mais importante foi sem dúvida o uso do *Shield EPB* de via dupla. O Geólogo Hugo Rocha, em suas palestras, afirma que até antes da Linha 4 – Amarela estávamos estacionados na tecnologia de tuneladoras do início da década de 1970, quando passamos a usar a tecnologia que à época estava em seu estado da arte, com as máquinas de suporte de ar comprimido para construção de túneis para vias singelas e desde então vínhamos utilizando na construção dos túneis paulistanos de Metrô, sem inovações. Na Linha 4 – Amarela, a CMSP retomou a tecnologia mais atual vigente e adotou uma tuneladora que constrói túneis com seção suficiente a permitir sua utilização por duas vias (ida e volta) com tecnologia EPB, sigla em inglês para Pressão de Terra Balanceada⁸. Este modelo de máquina vinha sendo utilizado em larga escala na construção do Metrô de Madrid, que passava por uma grande expansão na ocasião. A tuneladora EPB possui um sistema de controle de pressão de frente por meio de uma câmara de lama formada a partir da terra escavada juntamente com a espuma injetada pela própria máquina para formar a consistência de uma pasta; a câmara tem sua pressão balanceada pelo equilíbrio de forças entre o esforço aplicado pelos macacos de avanço da tuneladoras e o parafuso que extrai a lama da câmara, fazendo com que a pressão interna esteja sempre igual a pressão externa, evitando entrada de água proveniente de lenço freático no sistema e movimentações de terra e recalques na superfície (Figura 12).

Vide glossário

⁸ EPB sigla para o original: *Earth Pressure Balanced*

Figura 12 – Esquema de controle de pressão do EPB.

Fonte: Herrenknecht (2016).

O *Shield EPB* permite grande produtividade, chegando a avanços próximos de 15 metros por dia.

O traçado da Linha 4- Amarela, aliado ao *Shield* de via Dupla, trouxe uma outra condição pouco explorada nas estações da rede da CMSP: Estações com grande profundidade.

Diferente das demais linhas que correm por túneis paralelos a desníveis suaves na superfície, a Linha 4- Amarela cruza transversalmente o espigão que define os vales dos rios Pinheiros e Tietê e que configura os maiores desníveis do centro expandido paulistano. Como já foi mencionado neste trabalho, a razão entre o desnível da superfície e a rampa máxima que pode ser superada pelo carro de Metrô configura a profundidade da estação. Como agravante da situação, o ponto mais baixo da linha é sob o rio Pinheiros, que já exige grande cobrimento pela natureza do solo e água subterrânea. Desta forma, a soma entre grande desnível decorrente do cobrimento necessário para um túnel de via dupla (que não deve ser menor que seu diâmetro) com desnível fruto das características de relevo, geraram estações com profundidades inéditas para os padrões da CMSP. A estação Paulista, próxima ao topo do espigão, é a mais profunda da linha. Na Paulista, alguns “obstáculos” ainda se posicionam de forma a impedir que o túnel de via fique mais alto: naquele ponto a via passa sob o Túnel de veículos do complexo viário Paulista/Dr. Arnaldo/Rebouças e do túnel de via da própria Linha 2-Verde.

A reflexão sobre a profundidade é importante porque o tipo de situação encontrado na Linha 4 – Amarela será cada vez mais comum nas linhas constantes dos planos de expansão da CMSP e pode levar a novas considerações sobre o modelo de transporte vertical a ser adotado para transpor o desnível existente.

O modelo adotado em São Paulo, sobretudo nos projetos mais recentes, preconiza o uso de escadas rolantes, o que resulta num percurso que pode levar longo tempo para ser superado. Existem experiências internacionais de elevadores de grande capacidade que abreviam este percurso e seu uso é especulado em projetos de novas estações em São Paulo.

A Linha 4 – Amarela trouxe experiências importantes em suas conexões: a conexão com a Linha 2- Verde entre as estações Paulista e Consolação, espremida entre os túneis e fundações de edifícios existentes, se mostrou insuficiente e em horários de pico o túnel de ligação entre as estações é um martírio para os usuários; para os projetistas da CMSP, se tornou a referência negativa e é lembrado constantemente quando se estuda túneis de ligação do mesmo gênero, dando argumentos para os arquitetos que constantemente são confrontados com situações geológicas adversas cuja solução apontadas pelos especialistas nas áreas muitas vezes passa pela redução de secção. A Estação República, conexão com a Linha 3-Vermelha, já previa a interligação, o que propiciou melhor condição de troca de linha pelos usuários, mas teve uma obra bastante desafiadora pela engenharia, pois exigiu o arraste do *Shield* montado pela estação em operação, resultando em grande esforço de projeto e obra. A estação Luz recebeu mais uma camada de obra, já que contava com arquiteturas do período cafeeiro paulista em sua gare principal de trens, com a arquitetura brutalista de

Fragelli dos primórdios do Metrô, no seu trecho de Linha 1 – Azul e agora com a contribuição dos arquitetos da terceira geração do Metrô, que fizeram dois poços secantes de grande diâmetro que iluminam por meio de cobertura de vidro o mezanino e a plataforma. A ampla área desapropriada, que em projeto contemplaria a região com uma praça, infelizmente foi cercada após a inauguração e não atingiu os objetivos esperados pelos arquitetos. A estação Faria Lima, cujo acesso se dá em meio à área do antigo Largo da Batata e foi objeto de um concurso público de revitalização, que é alvo de críticas (MENDONÇA, 2002). Este é parte da operação urbana Faria Lima, que retirou dali área de terminal de ônibus e comércio popular para instalação de uma praça, provavelmente configurou a estação com maior identificação com seu entorno, pois a maior parte dos edifícios dali, de natureza corporativa, possui elementos que também nortearam os projetos das estações desta linha.

A estação Pinheiros, cujo episódio marcante foi a tragédia em sua construção, propicia a interligação com a Linha 9 – Esmeralda de trens metropolitanos da CPTM e, de um terminal de ônibus.

A Linha tem ainda a estação Butantã, fiel exemplar dos acabamentos mencionados anteriormente: a estação possui uma forma escultórica revestida de aço inox em seu edifício que aflora na superfície, se destacando bastante de seu entorno, que é formado por sobrados e edifícios mais baixos que o corpo da estação.

A Linha 4-Amarela tem em seu histórico a dificuldade de conclusão das estações previstas, deixando lacunas ao longo de suas vias sem paradas. Em 2015 a CMSP rompeu o contrato para conclusão das obras alegando não cumprimento das obrigações por parte do consórcio construtor. O consórcio, por sua vez, alega não fornecimento de projetos por parte da Companhia. A população assiste pela imprensa a troca de acusações e sente os efeitos do não cumprimento de prazos propostos abalando a credibilidade da CMSP.

1.6 SÍNTESE DO HISTÓRICO DE PROJETOS DO METRÔ DE SÃO PAULO

Conforme apresentado neste capítulo, a cronologia de projetos de linhas do Metrô de São Paulo demonstra uma clara evolução nos sistemas construtivos, nas prioridades adotadas nos projetos das linhas e estações. Revela também algumas tendências, a serem adotadas em futuros projetos assim como concepções e métodos que devem cair em desuso motivados pelas condições de construção de infraestrutura no ambiente urbano atual.

Uma tendência evidente é a busca por sistemas e métodos não destrutivos, que permitam a menor interferência possível na superfície e entorno direto, pois o adensamento construtivo da cidade e o já saturado trânsito tornam estas opções de difícil e cara aplicação. Os sistemas subterrâneos, por sua vez, se mostram consagrados nas experiências passadas e os métodos mais atuais ainda permitem novas experimentações e aperfeiçoamentos. Nas condições atuais, a utiliza-

ção de *Shield* para construção de novas linhas é quase um dado prévio, e os projetos e estudo construtivos devem buscar a melhor forma de lidar com este dado.

O papel formador de corpo técnico e pesquisa da CMSP, fomentada pela engenharia envolvida no projeto, construção, operação e manutenção do transporte de alta capacidade sobre trilhos, foi marcante no cenário nacional e também deve ser mencionado e destacado na comparação com o efeito provocado por modais rodoviários, que se submetem mais facilmente a tecnologias internacionais e favorecem menos o desenvolvimento técnico local.

No contexto técnico e de pesquisa, vale destacar a contribuição dos “Sete Sábios”, sempre lembrados com saudosismo quando se trata de pesquisa interna à CMSP, cujo escopo da função dos profissionais que integravam o grupo não consta mais na relação de funções existentes nos Recursos Humanos da empresa, pois estas, de melhor remuneração, atualmente pressupõem posições gerenciais, o que dificulta a formação de um núcleo de inteligência técnica. Alouche (2013) reconhece o esforço para manter o nível de pesquisa na CMSP mas pondera:

Não foi possível recriar novamente, dentro e fora da empresa, aquela equipe de altíssimo nível, liderada na época do nascimento do Metrô, por técnicos multidisciplinares de concepção – a então conhecida equipe dos sete sábios (ALOUCHE, 2013, p. 114).

O grupo foi se dissolvendo com o tempo, mas podemos usar como marco para sua extinção a greve de 1988, quando parte de seus integrantes foi demitida.

As três gerações de arquitetos de projeto do Metrô paulistano mencionadas neste trabalho e a produção de cada momento apontam para a tendência que esta profissão assumiu no cenário nacional em cada um dos momentos históricos, bastante semelhantes ao representado pelas gerações: inicialmente um grupo de Fragelli, de grande erudição e com preocupação artística aflorada que dominou os projetos do Metrô até 1972; depois, um grupo de arquitetos engajados, com atuação sindical e preocupações políticas e sociais que refletem nas escolhas projetuais, o que levou à demissão de alguns de seus representantes na histórica greve de 1988, data que podemos adotar como final deste ciclo; e, finalmente um grupo com produção alinhada com o mercado corporativo, que tem na Linha 4 – Amarela e na modalidade de contratação por PPP, a referência de sua produção.

2 O PROJETO EXECUTIVO E A OBRA DA LINHA 5 – LILÁS

Este capítulo apresentará, como estudo de caso, a elaboração dos projetos executivos da expansão da Linha 5 – Lilás no trecho que compreende as estações Adolfo Pinheiro, Alto da Boa Vista, Borba Gato, Brooklin, Campo Belo, Eucaliptos, Moema, AACD-Servidor, Hospital São Paulo, Santa Cruz (ampliação para atendimento da Linha 5- Lilás e conexão com Linha 1 – Azul) e Chácara Klabin (ampliação para atendimento da Linha 5- Lilás e conexão com Linha 2 – Verde), além do estacionamento de trens do Parque das bicicletas, Pátio de manobras e manutenção, Poços de ventilação e Saída de emergência. O caso estudado apresenta o diferencial da grande quantidade de estações subterrâneas que passam por projeto executivo e obra ao mesmo tempo, algo que não era experimentado em São Paulo desde a construção da Linha 1-Azul, no final dos anos 1960 e início dos anos 1970.

O estudo, que visa abordar questões que podem simplificar o projeto de estações, sobretudo visando a industrialização e padronização da construção, de forma a torná-lo factível em menor prazo, com maior controle dos custos e com menos falhas, apresenta escolhas feitas ao longo do processo de projeto e suas consequências, visando esclarecer, sob a ótica desta etapa de projeto e da execução da obra, equívocos que podem ser corrigidos ou evitados e tendências que devem ser seguidas em futuros projetos de estações de Metrô

As fontes de referência para este capítulo são os documentos técnicos usados para projeto e execução da obra de expansão da Linha 5- Lilás, notadamente seu projeto executivo, projetos padrão da CMSP, especificações técnicas e instruções de projeto.

2.1 CONTEXTO URBANO E HISTÓRICO DA LINHA

A Linha 5-Lilás já possuía indícios de sua necessidade desde o plano básico elaborado pela HMD, quando da formação da CMSP, que já contava com o “ramal Moema”, de cujo relatório forneceu dados de sondagens para o projeto funcional da linha (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, 2008), e teve seu traçado alterado algumas vezes em seu planejamento até tomar a forma que vem sendo implantada. O primeiro trecho, inaugurado em 20 de outubro de 2002, entre as estações Largo Treze, Capão Redondo e o Pátio Capão Redondo, teve projeto e execução conduzidos pela CPTM, que na ocasião possuía maior capacidade de endividamento que a CMSP, e viabilizou desta forma a obra.

Esta se notabiliza por possuir suas vias elevadas em quase todo percurso, exceto o pequeno trecho próximo à estação Largo Treze e a própria estação, construídas em NATM e VCA, após atravessar o rio Pinheiros por meio da estação Santo Amaro, que conta com estrutura estaiada.

Outra característica particular e marcante do primeiro trecho da Linha 5-Lilás é sua desarticulação com o restante da rede de Metrô da cidade. Hoje a linha possui uma conexão com a Linha 9-Esmeralda na estação Santo Amaro, de trens metropolitanos operada pela CPTM, mas mesmo esta linha, até a inauguração da estação de conexão Pinheiros, interligada com a Linha 4-Amarela, não possuía uma ligação direta com a rede de Metrô.

A desarticulação com a rede de Metrô e o caráter periférico do trecho levou à sua subutilização. Com a interligação da Linha 9-Esmeralda com a Linha 4-Amarela somado ao aumento de passageiros gerado pela integração do Metrô e CPTM ao bilhete único concluída em 16 de setembro de 2006 (SPTRANS, 2010), todavia, o fluxo de passageiros aumentou drasticamente, sobrecarregando a Linha 4-Amarela, antes mesmo que esta estivesse concluída (NOVAES, 2012). A superlotação chegou a ser combatida com uma política de preços de bilhetes mais baratos que o restante da rede em horários alternativos, estimulando o uso fora do horário de pico.

A sobrecarga pode ser entendida pela configuração de “pé de galinha” que o conjunto de linhas (Linha 9-Esmeralda, Linha 5-Lilás e Linha 4 – Amarela) conformou, tornando o trecho Pinheiros-Centro da Linha 4-Amarela o escoadouro de uma enorme região periférica situada entre os vetores oeste e sul da cidade, que abrange desde os municípios da RMSP sob influência das rodovias Raposo Tavares e Castelo Branco até o extremo sul do município, se articulando com o extremo da Linha 9-Esmeralda. (VALLE, 2014). Por estas razões, a extensão da Linha 5-Lilás viabilizando a interligação da linha com a rede de Metrô, assumindo para sua influência direta (Figura 13) parte do entorno periférico sul-sudoeste, passa a ter efeito também no conforto da Linha 4-Amarela em sua futura conclusão, com estações previstas até o município de Taboão e impacta a estrutura de transporte na periferia da RMSP em toda a área mencionada.

Figura 13 - Áreas de influência da Linha 5-Lilás

Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (2008, p. 11).

2.2 O TRAÇADO E ESTAÇÕES QUE COMPÕE A EXPANSÃO DA LINHA

Para a expansão desta linha foram projetadas onze estações, um pátio de trens, além de onze poços de ventilação e saída de emergência (VSEs), uma saída de emergência e um estacionamento de trens subterrâneo com VSE integrado. A escavação do túnel de via foi dividida em três frentes, a primeira, de interface com o trecho existente, em NATM e duas frentes de escavação por *Shield*.

Vide glossário

A extensão desta linha percorre os subsolos de alguns dos mais importantes eixos rodoviários que fazem a ligação radial centro-sul da cidade, como ilustrado na figura 14. A partir da estação Largo Treze, por meio de túnel escavado pelo método NATM, a linha passa sob a avenida Adolfo Pinheiro, por onde segue até o poço Conde de Itú, de onde partem duas tuneladoras singelas que desviam desta

avenida e passam a seguir o eixo da avenida Santo Amaro, por onde seguem até a estação Campo Belo, no cruzamento com a avenida Roberto Marinho. A partir deste ponto, a rota é desviada da avenida Santo Amaro e segue rumo ao eixo da avenida Ibirapuera, com interrupção no poço Bandeirantes, onde desembocam as tuneladoras singelas e emboca a tuneladora dupla. Pelo eixo da Avenida Ibirapuera, a máquina escava até o estacionamento de trens do parque das bicicletas, onde há proximidade de mais um curso d'água. A partir deste ponto é iniciada nova curva que leva a linha para o eixo da rua Pedro de Toledo, por onde, após cruzar o vale onde se localiza a Avenida Rubem Berta, cruza o cume do espigão que divide as principais bacias da cidade, onde se localiza a Estação Santa Cruz. Na estação Santa Cruz o túnel de via tem sua maior profundidade em relação à superfície e onde é feita a integração com a Linha 1- Azul, cuja via e plataforma foram feitas no método cut-and-cover sob a Rua Domingos de Moraes, como já descrito no capítulo 1. Após a Domingos de Moraes, a linha segue para o outro lado do espigão, passando pela estação Chácara Klabin até o VSE Dionísio da Costa, onde a tuneladora é retirada após seu desmonte.

A seguir faremos uma descrição detalhada da linha para compreensão dos diferentes métodos utilizados na construção da linha e o partido arquitetônico adotado em suas estações. Todo este conjunto foi dividido em oito lotes de projeto e obra, licitados em separado, mas com obras e projetos paralelos (exceto a estação Adolfo Pinheiro, iniciada e finalizada antes), configurando, como já descrito acima, no maior conjunto de estações subterrâneas em projeto e obra concomitantes desde a construção da Linha 1-Azul.

Figura 14 – Trecho Largo Treze-Chácara Klabin e Pátio Guido Caloi.

Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (2013).

2.2.1 PRIMEIRA FASE DA EXPANSÃO: A ESTAÇÃO ADOLFO PINHEIRO.

O primeiro lote de construção da expansão é composto pela Estação Adolfo Pinheiro, do VSE Delmiro Sampaio e da extensão do túnel de via desde sua interrupção após a estação Largo Treze até 100 metros depois da estação Adolfo Pinheiro, por meio do método NATM.

O planejamento fragmentado deste trecho, iniciado anos antes em relação aos demais lotes oferece como consequência a impossibilidade do uso da vala da própria estação para o emboque da máquina tuneladoras, pois este lote teve sua construção iniciada anteriormente e a estação Adolfo Pinheiro passou a operar antes do início da escavação dos tuneis por TBM, o que tornou necessário a construção de mais um trecho de túnel pelo método NATM e uma nova vala (Conde de Itu), que foi usada exclusivamente para este fim.

A estação Adolfo Pinheiro, projeto dos arquitetos Roberto Mac Fadden e Mariana Viegas, adotou pela primeira vez no Brasil a metodologia de cinco poços secantes de grande diâmetro para a construção de uma vala, suficiente para acomodar o programa da estação (exceto os acessos), inclusive a plataforma. Esta metodologia, foi empregada pela primeira vez na construção de estações para o Metrô da cidade do Porto, em Portugal, e permite a construção da vala sem escoramento ou atirantamento, uma vez que a geometria circular dos poços propicia a dis-

Figura 15 - Estação Adolfo Pinheiro – Planta do mezanino.

Fonte: Mac Fadden e Viégas (2014).

tribuição dos esforços e o maciço circundante passa a fazer parte do seu próprio sistema de suporte, como já mencionado no capítulo 1, e resulta em uma planta apelidada de “amendoim”, por contar com uma sucessão de círculos, como observamos na Figura 15.

O método também é conhecido com NATM vertical, uma vez que se vale de técnicas semelhantes à construção de túneis, tais como o rigoroso controle de instrumentação, que é necessário para conhecer o comportamento do maciço que circunda a vala e prever qualquer tipo de recalque, minimizando danos de eventuais movimentações ou acidentes.

A estação Adolfo Pinheiro é a única da expansão da linha que teve todas as fases de projeto elaboradas por profissionais de fora da CMSP, inclusive seu estudo preliminar: todas as fases foram de responsabilidade da equipe conduzida pelo experiente ex-metroviário Mac Fadden e Mariana Viegas. Foi também uma das primeiras experiências de gestão terceirizada do projeto: a CMSP contratou uma gerenciadora que fez a análise e gerenciamento do projeto executivo, apenas supervisionada por uma equipe da CMSP.

A configuração da estação é bastante diferente das demais que compõem a linha: A plataforma se encontra sob a Avenida que dá nome à estação, e na superfície a estação se faz notar pelo alargamento das calçadas, fruto da desapropriação de uma faixa dos terrenos lindeiros (necessário para acomodar a largura dos poços), pelas grelhas de ventilação que se encontram nestas calçadas e pelos acessos, que se localizam dos dois lados da avenida e possuem volumetria ortogonal, cobertos por uma grelha metálica com vidros para iluminação zenital. Para a sua construção foi necessária a abertura de um desvio provisório de trânsito que ocupou terrenos que foram desapropriados com esta finalidade (alguns provisoriamente e alguns definitivamente) e que recebeu o grande número de ônibus provenientes principalmente do terminal Santo Amaro, que seguem rumo ao centro da cidade.

Vide glossário

A circulação do público se dá pelo mezanino, que é composto de estrutura metálica pendurada à laje de cobertura, e por onde se acessam as plataformas laterais. Como prolongamento do mezanino, em estrutura de concreto, existe a área de salas operacionais e porão de cabos das salas técnicas, que ficam no pavimento superior, ocupando o vazio resultante da escavação da vala. A solução dada para as salas técnicas desta estação difere das demais estações da linha (exceto da estação Campo Belo), principalmente por utilizar áreas subterrâneas para este programa.

A opção das salas técnicas no subsolo, design tradicional na rede da CMSP nas estações subterrâneas das linhas 1, 2 e 3, traz consigo algumas **desvantagens**:

- Complexidade para entrada e saída de equipamentos em caso de manutenção;

- Complexidade para ventilação (principalmente após a exigência ao atendimento à NFPA 130 por parte do Corpo de Bombeiros, que exige compartimentação entre áreas públicas e não públicas);
- Dispersão de gases tóxicos (sala de baterias e Grupo Gerador Diesel) além de tomada de ar frio para o gerador diesel livre de risco de contaminação por fumaça.

A localização destas salas na estação Adolfo Pinheiro, todavia, apresenta algumas **vantagens** que devem ser consideradas quando da tomada de decisão sobre o organograma geral da estação:

- Quando a estação é feita em VCA, para que se atinja a profundidade da via (em túneis feitos por tuneladoras ou NATM, como a maior parte dos casos em obras atuais em São Paulo), são escavados muitos metros, que não são ocupados pelo programa de necessidades de áreas públicas da estação, restando sempre grandes volumes de vazios nas estações ou ainda, grandes volumes de reaterro sobre as estações (o que implica altos custos);
- A distribuição de prumadas para interligação do porão de cabos da plataforma, o porão de cabos das salas técnicas e o restante da estação fica bastante simples, lógica e com caminhos curtos, barateando a execução de sistemas e simplificando eventuais manutenções de cabos;
- Ocupa o subterrâneo com usos onde não há ocupação humana constante e libera o nível da rua para atividades como circulação de pedestres e lazer.

Outra questão relevante nas obras deste trecho foi a reconstrução da adutora da Sabesp no trecho da Avenida Adolfo Pinheiro. Uma antiga adutora, que se encontrava em toda a extensão da intervenção, na região sobre os túneis e na área de recobrimento da estação, e que não possuía intervenção prevista nas etapas anteriores de projeto, precisou ser trocada. A tubulação, com operação iniciada na década de 1930, era composta por tubos de ferro fundido de 1500mm de diâmetro com emendas tipo bolsa fechadas por chumbo e operava com pressão, não admitindo recalques, sendo que estes poderiam representar grande risco para a região em um eventual rompimento. O método NATM para construção de túneis, por sua vez, prevê recalques de acomodação em sua construção, que são monitorados pela instrumentação e o trecho de adutora a ser escorado sobre a vala também não apresentava segurança para operação.

Antes das obras de escavação da estação e dos túneis, portanto, foi trocada a adutora no trecho. O material adotado para a nova adutora foi o aço e na região da vala foi feita uma estrutura metálica treliçada para suporte durante o período de obras, quando a adutora ficou suspensa na forma de ponte sobre a futura

estação. Esta operação, contudo, atrasou o cronograma da obra e demonstrou a necessidade de um levantamento de interferências mais detalhado ainda nas primeiras fases de projeto e planejamento da obra que, no caso apontado, poderia significar alterações nas decisões projetuais.

2.2.2 O TRECHO EM SHIELD: POÇO CONDE DE ITU – VSE DIONISIO DA COSTA

Vide glossário

Os demais lotes de obra tiveram seu início alguns meses mais tarde e representam, além do pátio de manobras, as duas frentes de escavação por meio de *Shield*, uma com *túnel duplo*, suficiente para as duas vias para passagem de trens e outra frente com escavação por dois *Shields* singelos, resultando em dois túneis paralelos cada um operando vias em um sentido. Esta concomitância de escavações por tuneladoras, inédita nas obras do Metrô de São Paulo, permitiu uma comparação entre as modalidades. Este trecho também é marco por estações cujo projeto nasceu a partir de estudos preliminares desenvolvidos dentro da CMSP, tendo, portanto, arquitetos metroviários responsáveis por sua autoria.

A 190m da estação Adolfo Pinheiro foi escavado o poço Conde de Itú (nome da Rua mais próxima), cujo único propósito é possibilitar o emboque das duas máquinas tuneladoras que executam os dois túneis singelos paralelos deste ponto até o VSE Bandeirantes, localizado ao lado da Avenida Bandeirantes, próximo à Avenida Ibirapuera. As máquinas, seguindo uma tradição internacional para este tipo de equipamento, receberam denominações femininas: Lina e Tarsila, homenageando célebres mulheres que se destacaram na cidade de São Paulo.

O poço Conde de Itú é uma vala de geometria retangular, localizada em parte sob a avenida Adolfo Pinheiro e parte no lote contíguo, desapropriado temporariamente com o propósito de abrigar a obra. O trecho da vala sob a avenida foi coberta por uma laje para permitir a volta do trânsito de veículos durante a construção dos túneis. O canteiro do Conde de Itú possui as funcionalidades necessárias para a operação do *Shield*: escritório, entrada de aduelas que chegam por via rodoviária e descem por meio de pórtico, e a saída de terra proveniente da escavação dos túneis, para a qual foi feito um túnel lateral que permite que a esteira chegue ao nível da rua e que a lama seja depositada diretamente em uma lagoa de decantação para posterior remoção por meio rodoviário.

Para o abastecimento de aduelas de concreto usadas na construção dos túneis foi construída fábrica de pré-moldados na futura área de estacionamento de trens do Pátio Guido Caloi, que também recebeu o depósito das peças. A fábrica efêmera, com funcionamento restrito à fase de construção dos túneis da linha, remonta a estratégia adotada na construção do túnel da Linha 4-Amarela, que teve uma fábrica de aduelas de concreto para seu túnel na área do parque Villa Lobos, já desmontada. É importante ressaltar que a escolha da montagem da fábrica e estoque de anéis na área do futuro pátio Guido Caloi trouxe consequências para o cronograma e método construtivo da área de estacionamento dos trens: em parte da região onde era previsto um aterro de sobrecarga para

compactação e recalque para posteriormente montagem da via permanente foi necessário o estaqueamento pois, uma vez que a área seria usada para as fábricas de anéis, não seria possível esperar a atuação da sobrecarga, sendo preciso garantir a estabilidade do solo de forma mais rápida. Vale mencionar que a expansão da rede paulistana de trilhos pressupõe que máquinas tuneladoras serão usadas novamente para construção de novas linhas ou expansão das existentes, o que pode tornar desejável uma infraestrutura permanente para fabricação de anéis ou outros pré-moldados, evitando assim gastos redundantes.

As tuneladoras Lina e Tarsila partem então em direção ao norte, passando pelo VSE Paulo Eiró (nesta fase sem o túnel de ligação) rumo à estação Alto da Boa Vista, saindo do eixo da Avenida Adolfo Pinheiro para o Eixo da Avenida Santo Amaro.

O Poço Bandeirantes tem características semelhantes ao Conde de Itú, mas possui extensão de sua vala maior, 85 metros, pois seu projeto atende à necessidades diferentes: além de ser o desemboque das tuneladoras singelas Lina e Tarsila é o emboque da tuneladora dupla e será, após a conclusão da obra, um VSE e a região do canteiro irá receber uma subestação para abastecimento de energia da linha.

O geólogo Hugo Rocha, metroviário especialista em túneis e um dos responsáveis por esta disciplina nas primeiras etapas de projeto da Linha 5-Lilás, em palestra sobre o tema, justificou a adoção de diferentes tuneladoras – para via singela e para via dupla – com o argumento que a maior largura do viário, e consequentemente, a maior largura sem fundações profundas, no trecho dos túneis singelos, permitia a passagem destes. A soma dos diâmetros e a área de influência dos dois *Shields* singelos representa uma faixa significativamente maior que a da tuneladora dupla.

O trecho da tuneladora dupla, por sua vez, tem seu traçado marcado por algumas ruas mais estreitas, notadamente a Rua Pedro de Toledo, com edifícios altos de fundações profundas em seu entorno, o que inviabilizaria a adoção dos dois túneis singelos. Alguns profissionais da área de túneis defendem que este modelo também é adequado (economicamente) para situações de vias largas.

Esta segunda fase de projeto e obra contou com a experiência relevante do grande volume de estações em projeto e obra, que trouxe consigo as reflexões sobre o que, projetualmente, poderia ser melhorado.

O início dos projetos executivos da Linha 5-Lilás trouxe à tona a dificuldade de compatibilização das disciplinas para sua consolidação. O Projeto Básico das estações não trazia informações suficientes para a consolidação, faltando sobretudo compatibilização dos projetos de civil carente de informações de sistemas para desenvolvimento do projeto executivo. Uma nova série de desenhos de arquitetura, não prevista na licitação, foi contratada junto à projetista do executivo com o intuito de fazer esta compatibilização. Este trabalho, contudo,

não foi tranquilo, colocando em foco a metodologia de trabalho que vinha sendo empregada pela CMSP para esta compatibilização, inadequada à ambição atual de expansão da rede.

A metodologia previa o desenvolvimento do Projeto Básico com pouco compromisso com as necessidades futuras de sistemas visando abreviar o tempo até a licitação de projeto executivo e obra. Já com a obra contratada, era emitida uma primeira revisão de projetos executivos que serviam como base para a compatibilização de sistemas, que era feita por meio de apontamentos a mão por parte técnicos especializados em cada área de sistemas na CMSP, e posteriormente os manuscritos e croquis eram encaminhados para que os projetistas contratados de civil pudessem de fato elaborar o projeto executivo.

A compatibilização dos sistemas com os projetos de civil é especialmente importante nos projetos subterrâneos pois, com a grande quantidade de concreto usada nas estruturas de contenção, os furos e embutidos a serem previstos neste material são vitais para passagens de dutos que viabilizam o funcionamento da estação.

A metodologia descrita acima não representava um impedimento ao desenvolvimento do trabalho até então, mas algumas situações enfrentadas no projeto da extensão desta linha a puseram em cheque.

O primeiro percalço encontrado foi a relação com a projetista contratada, a italiana Geodata, novata em projetos de metrô no Brasil, vencedora da licitação de projeto de 10 estações da Linha 5-Lilás, e que, ao contrário das projetistas brasileiras com experiência em prestação de serviços à CMSP, não embutiu em seus custos os retrabalhos causados pela falta dos insumos de sistemas e sua compatibilização do projeto civil para a qual pleiteou remuneração extra visando este equacionamento.

Outro problema na metodologia de trabalho em vigor era a ambição de produtividade que se tinha neste projeto. O habitual ritmo da CMSP de poucos projetos de estações subterrâneas concomitantes contrastou com as 10 estações subterrâneas simultâneas, cuja elaboração dos projetos é escopo da reduzida equipe de projeto de sistemas, que não passou por ampliação condizente às necessidades colocadas, pelo contrário, ao longo dos anos contou com considerável saída de técnicos experientes não repostos. A dificuldade de atendimento de prazos e qualidade necessária para atendimento das demandas aconteceram como decorrência lógica.

Diante destas colocações, a metodologia artesanal de projeto em vigor, com estações parecidas em aparência, mas diferentes na essência foram escolhas feitas na concepção dos projetos que se mostraram equivocadas no decorrer dos projetos executivos e obras da Linha 5-Lilás. Ainda no começo das obras com a dificuldade de emissão de desenhos de estrutura correspondentes às pare-

des de contenção, dependentes de compatibilização com projetos de sistemas para inclusão de embutidos em concreto e necessárias para o iniciar a obra, a controversa metodologia demonstrou sua fragilidade.

2.2.2.1 AS ESTAÇÕES EM VCA: TRECHO ALTO DA BOA VISTA A AACD-SERVIDOR

Ao longo do trecho escavado por tuneladoras, se notabiliza a semelhança de um grupo de estações que possuem a configuração espacial bastante similar.

Estas estações têm seu subsolo formado por uma vala que contempla toda a plataforma além de mezaninos e salas operacionais. Ainda no subsolo, com exceção da estação AACD-Servidor, as estações possuem um poço circular ligado à vala principal por meio de um pequeno túnel, que tem o propósito de ligar o edifício de salas operacionais à vala, permitindo a passagem tanto de cabos como de funcionários para manutenção. No nível da rua as estações possuem uma praça, com o prédio de salas operacionais, bicicletário e com a cúpula de acesso principal da estação. A Figura 16 ilustra o esquema geral das estruturas principais.

Podemos incluir neste grupo as estações Alto da Boa Vista, Borba Gato, Eucaliptos, Moema, AACD/Servidor, que como peculiaridade apresenta um estacionamento de automóveis ocupando o vazio formado devido a profundidade de sua plataforma, e Brooklin, que tem no sistema de poços secantes seu diferencial. O trecho conta ainda com a estação Campo Belo, que, embora também seja feita em cinco poços secantes, se diferencia das demais por ser coberta por um viaduto de veículos que impediu a presença da praça com cúpula de acesso e edifício de salas técnicas, como encontrado nas demais.

Figura 16 – Croqui de corte transversal com esquema típico das estações em VCA entre Alto da Boa Vista e AACD-Servidor, exceto Campo Belo.

Fonte: elaborado pelo autor.

Como exemplo da estrutura de projeto que contém fundamentos e distribuição espacial que se repetem em diversas estações da linha, iremos detalhar a estação Alto da Boa Vista, autoria do arquiteto Rodrigo Guedes e colaboração de Ivan Lubarino Piccoli dos Santos. A estação é constituída de um corpo principal feito em um VCA retangular, que junto ao pequeno poço circular interligado a vala principal por meio de um túnel NATM, se localizam em um sítio interior ao quarteirão. O corpo principal é interligado ao outro lado da Avenida Santo Amaro, chegando a um acesso secundário por meio de um túnel NATM superficial. A condição do VCA da estação, totalmente fora da projeção do viário da Avenida Santo Amaro, faz com que os túneis de via desviem do eixo desta rumo ao interior do quarteirão. Na região da chegada das tuneladoras, os tirantes necessários para o suporte das paredes de contenção da vala durante a obra, que precisaram ser executadas em alinhamento próximo ao horizontal para evitar os túneis (costumam ser inclinadas para baixo) e passaram a recalcar as casas vizinhas ao canteiro, o que, após apontado pela instrumentação instalada, levou à uma desocupação emergencial.

O corpo principal da estação é constituído por uma grande vala retangular que recebe toda a extensão da plataforma, que, como nas demais estações ao longo dos dois túneis singelos, é central. O corpo principal recebe ainda o mezanino com bilheterias e bloqueios, as salas operacionais, os ventiladores principais e os dutos de ventilação. No nível do porão de cabos da plataforma há uma interligação com o poço auxiliar, denominada pelos projetistas responsáveis pela concepção, juntamente com o próprio poço auxiliar, de “rota especializada”.

Na estação Alto da Boa Vista os equipamentos da ventilação principal da estação se encontram na horizontal, em dutos de concreto junto à laje de cobertura. Os dutos descem, um em cada lado da vala, para fazerem a exaustão sob as plataformas. Apesar da plataforma desta estação ser central, plataformas laterais foram feitas com o exclusivo propósito de receber os dutos de exaustão principal.

As lajes dos mezaninos e salas técnicas e operacionais desta e das demais estações são pré-moldadas alveolares, o que nas estações em VCA representa uma enorme economia de dinheiro e tempo, e se mostraram uma escolha bem-sucedida para construção das estações. O sistema de pórticos sobre trilhos, utilizado na construção destas estações para entrada e saída de insumos e equipamentos, é bastante propício para a montagem das lajes pré-moldadas, uma vez que seu raio de atuação abrange toda a vala e uma faixa fora dela e as peças são simplesmente descidas e encaixadas. Como desvantagem existe a dificuldade na instalação de equipamentos de sistemas (que necessitam furos na laje para sua instalação) e hidráulica, o que pode ser contornado com elaboração detalhada dos projetos destas disciplinas.

2.2.2.1.1 A PADRONIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES EM VCA DA LINHA 5-LILÁS – VANTAGENS E LIMITES

As vantagens trazidas pelos ganhos que a industrialização oferece ao projeto e à obra das estações, como apontado anteriormente, somadas ao grande número

de estações que possuem programa de necessidade e distribuição espacial tão semelhantes, faz com que uma pergunta seja recorrente tanto no âmbito do canteiro de obras como no projeto executivo: por que não fazer um único projeto que permita, com ajustes pontuais, sua adaptação ao sítio, evitando-se, assim, multiplicar um trabalho que já é tão complexo por sua própria natureza, tornando-o, inclusive, mais suscetível ao erro?

Os esforços necessários para a condução tanto do projeto como da obra de cada uma das estações são grandes e envolvem parâmetros, tais como compatibilização de sistemas, dimensionamento de rotas de fuga, planejamento construtivo, controle de custos etc. A padronização dos projetos das estações traria consigo a possibilidade de eliminar a multiplicação de trabalho, possibilitando uma melhora na qualidade do projeto, que passaria a concentrar a atenção de toda uma equipe, que não mais teria que se dividir em muitas estações.

A padronização, buscando maior excelência na condução dos projetos, pode ser colocada e analisada em diferentes escalas, desde os elementos construtivos que compõe o acabamento, como encontrados nos “projetos padrão”. A CMSP possui um documento que traz a lista dos elementos de acabamento a serem utilizados nas estações, com codificação própria e onde constam os PPs. Este documento, de responsabilidade da Gerência de Concepção de projetos Cíveis (GCI), passa por atualizações constantes, que inserem, retiram, recomendam ou não elementos. Esta coleção de PPs, que é formada por desenhos feitos desde o início dos projetos da rede, conta com elementos de aplicação unitária, como lixeiras, bancos e abrigos de hidrantes e lineares como muros e caixilhos. Esta metodologia é um importante facilitador tanto para o projeto, como para a valoração, licitação e execução, pois permite maior grau de detalhamento e conhecimento prévio. A escala dos elementos unitários que compõe a lista, todavia, é restrita, sendo que um dos elementos de maior escala em uso da CMSP é a bilheteria blindada. Mesmo este elemento aponta a tendência de redução de escala da padronização: em sua revisão 6, a última emitida, a lista de materiais de acabamento retirou a estrutura de concreto da bilheteria dos elementos a serem usados em projetos da rede, mantendo somente a sua parte frontal, de aço e o layout padronizado, indicando que as paredes laterais de concreto e a laje de cobertura deverão ser desenhadas individualmente e deverá constar no projeto de estrutura de concreto de cada estação.

A similaridade projetual encontrada nas estações da expansão da Linha 5-Lilás, todavia, apontam para a possibilidade de uma ampliação da escala de padronização. Elementos construtivos de maior escala, como cúpula de acesso, assim como blocos inteiros construtivos, como corpo da estação ou edifício de salas técnicas poderiam ser padronizados.

A padronização de grandes blocos construtivos, que pode ser vista na construção industrial do túnel de via, por exemplo, ainda encontra limites nos projetos de estações motivados por condições específicas de cada estação.

2.2.2.1.2 ACESSOS DA LINHA 5-LILÁS E A POSSIBILIDADE DE INDUSTRIALIZAÇÃO E PADRONIZAÇÃO

A experiência de projeto executivo e obra da Linha 5-Lilás trouxe a percepção que elementos de maior complexidade, mesmo se possuírem grandes dimensões, podem ser padronizados, eliminando diferenças, o que possibilitaria sua industrialização com produção em série. Dentre os elementos que, diante de escolhas anteriores e estágio de desenvolvimento do projeto e da obra não foi possível a padronização, mas que em escolhas futuras possuem vocação para produção industrial em série para toda a linha está a cúpula de acesso principal das estações.

As estações em VCA da Linha 5-Lilás concebidas pela equipe de projeto interna do Metrô contam ainda como característica o esforço na busca de iluminação natural, uma tendência também observada em projetos desta natureza em outros países, bastante defendido pela coordenação de concepção de arquitetura da CMSP, que justifica esta quase obsessão como uma forma de humanizar o caminho dos usuários e o dia a dia dos funcionários, privados dos efeitos benéficos da luz solar em sua jornada de trabalho. Deste esforço resulta a adoção de cúpulas de aço e vidro nos acessos e os chamados “lanternins” ao longo de toda a laje de cobertura destas estações.

As cúpulas de acesso são estruturas com desenho aparentemente inspirado no elemento de acesso adotado pelo arquiteto Norman Foster na estação Canary Wharf (inaugurada em 1999) na cidade de Londres (Inglaterra) e também nos acessos das estações de Metrô da cidade de Bilbao (inaugurado 1995, Espanha) projetados pelo mesmo arquiteto, que inclusive ganharam o apelido de “fosteritos”. Na extensão da Linha 5-Lilás as cúpulas aparecem em acessos de 6 das 11 novas estações, mas apesar de serem quase que uma constante, não se repetem: cada uma das cúpulas tem geometria diferente entre si, fruto adaptação da cobertura aos diferentes de *layouts* presentes em cada estação e das diferentes projetistas responsáveis pelo projeto básico de cada estação. A não padronização de um elemento tão complexo como este se mostrou um equívoco na etapa de projeto executivo e obra, já que sua uniformidade permitiria um grande refinamento na solução, cujo custo de desenho seria amortizado ao ser reutilizado e sua execução também poderia ser mais econômica, uma vez que poderia ser feita uma contratação específica para a execução deste elemento em série, como na construção que poderia gozar do aperfeiçoamento da execução ao longo das estações.

O elemento, que necessita de um desenho bastante detalhado, e seu cálculo exige ensaio em túnel de vento. Em sua versão de projeto básico possuía uma trama de aço que fragmentava os elementos de vidro em triângulos, cada um com dimensões distintas. A grande quantidade de elementos para permitir a triangulação da estrutura também tornava complexa a montagem da estrutura, que deveria, conforme as instruções técnicas da própria companhia, evitar soldagens em obra, visando melhor controle de qualidade do material.

O caminho encontrado no detalhamento do executivo foi simplificar a estrutura, primeiramente buscando uma forma de desenvolvimento geométrico mais simples, o que levou aos projetistas desta etapa a chegarem a uma forma derivada de um toróide, que é a revolução de um círculo fora de seu eixo, algo similar a uma “rosquinha”. Para atingir a feição da cúpula secciona-se a toróide duas vezes, uma na altura da base da cúpula, e outra vez para a sua abertura. Do círculo que serve como matriz para a forma derivam-se os arcos, que configuram a estrutura principal da cobertura. Destes arcos são feitas as interligações que servem como base para a colagem dos vidros (são fixados por meio do sistema “*ecoglazing*”), de formato regular retangular, o que é bem-vindo tanto para sua fabricação como para a posterior manutenção.

Outro elemento com função de iluminação é o “lanternim”. Instalados em número variado conforme a estação, cuja função é prover de ventilação e iluminação natural a estação em regiões fora da área de influência da cúpula de acesso, recebeu um desenho de projeto padrão já na fase de Projeto Básico que embora não tenha sido adotado em todas as estações nesta fase de projeto, se tornou a solução padrão para este efeito no projeto executivo, pois as outras opções eram mais onerosas tanto na execução como na manutenção, pois contavam com materiais especiais, tais como vidros curvos. A solução de PP é de execução relativamente simples, embora receba críticas da área de operação e manutenção por sua fragilidade. A estação Alto da Boa Vista possui 24 lanternins, que visam iluminar toda a área pública da estação, assim como as salas operacionais.

Durante o projeto executivo houve um esforço para a unificação do elemento lanternim e, embora se tenha adotado o mesmo elemento para este tipo de situação, sua dimensão varia, devido ao estado adiantado do projeto de forma de concreto, que serve como base, além de possuir uma modificação na estação Borba Gato, onde não possui a função de ventilação

Na praça formada ao nível da rua, além dos lanternins e da cúpula que se destacam, podem ser vistas também as grelhas de ventilação, de onde é feita a descarga do ar proveniente da exaustão da estação. A exaustão é feita por dois grandes ventiladores que se localizam logo abaixo da laje de cobertura, instalados na horizontal, em canais que viram noventa graus nas laterais da estação e fazem a sucção do ar abaixo do nível da plataforma, propiciando a renovação do ar por meio do retorno que se dá pelos lanternins, acessos, etc. Em algumas estações a função de ventilação natural e iluminação também é feita pelas grelhas, como no caso da Estação Brooklin.

2.2.2.1.3 OS EDIFÍCIOS DE SALAS TÉCNICAS DA LINHA 5 LILÁS E A PADRONIZAÇÃO

O edifício de salas técnicas é outro elemento, assim como a cúpula, que se repete de maneira parecida diversas vezes, em diversas estações, mas não possui padronização de projeto e construtiva. Em sete estações – Alto da Boa Vista, Borba Gato, Brooklin, Eucaliptos, Moema, AACD/Servidor e Hospital São Paulo (esta úl-

tima com salas operacionais incorporadas) - temos o prédio com programa de necessidades e aparência externa bastante parecida, mas com layout interno e estrutura diferentes, o que inviabilizou uma única solução padrão, que, assim como nas cúpulas, permitiria as vantagens que a produção em série pode oferecer.

O edifício de salas técnicas, que se interliga com a estação pela já mencionada “rota especializada”, recebe os equipamentos necessários para a operação dos sistemas da estação. Dentre eles podemos citar:

- Transformadores: toda a energia consumida pelo sistema (estação, poços, material rodante, etc) é distribuída por linhas de alta tensão (22KV) que correm ao longo dos túneis e são rebaixados para tensões adequadas nas estações por estes equipamentos;
- Grupo Gerador Diesel: é acionado em caso de falta de energia para manter o funcionamento dos principais equipamentos e iluminação;
- Baterias: necessárias para manter iluminação de balizamento e outros itens vitais em caso de falta de energia;
- Salas de controle de equipamentos de baixa, média tensão e eletrônicos.

Atualmente há uma tendência na CMSP que aponta para o projeto de estações com salas técnicas em edifícios externos, motivada por algumas vantagens que esta configuração oferece: fácil acesso para entrada e saída dos equipamentos em caso de manutenção (por via rodoviária), isolamento de riscos, sobretudo dos gases tóxicos que podem emanar da sala de bateria e dos efeitos do motor a explosão do Grupo Gerador Diesel (este necessita de uma tomada de ar fria livre de risco de contaminação por fumaça tanto para refrigeração do motor como para combustão e uma saída de gases provenientes da combustão, fora do espaço público da estação).

Outro aspecto que chama a atenção no projeto de salas técnicas da extensão da Linha 5-Lilás é a presença de um estacionamento de caminhões em sua área interna em quase todas as estações: trata-se de uma área coberta de grandes dimensões (tanto por sua área como a altura disponível), disposta no térreo do edifício que tem como objetivo embarque e desembarque de equipamentos pesados. Como a entrada e saída de equipamentos nas salas técnicas, após o início da operação da linha é algo raro, em situações normais deverá ser ocupado por veículos da manutenção e/ou de funcionários. A situação é controversa porque embora o edifício de salas técnicas seja implantado sempre próximo ao limite do terreno da estação, próximo à muro ou edificação vizinha, não sendo assim um obstáculo à permeabilidade urbana aos pedestres, o que justificaria o uso de pilotis, o nível térreo de uma área como o entorno do acesso à uma estação de metrô pode ser considerada nobre e, como tal, prioriza-se programas que sejam usados com intensidade pelos cidadãos que ali circundam tais como equipa-

mentos públicos, lazer, estar, comércios de conveniência e conexão com outras modalidades de transporte de forma a tornar a infraestrutura implantada mais eficiente e aumentando a qualidade urbana em uma área desapropriada.

O edifício de salas técnicas da estação Alto da Boa Vista, que tomamos como exemplo, conta com seu programa dividido em térreo com estacionamento coberto de caminhões para embarque e desembarque de equipamentos, sala de baterias, sala de trafos e GGD; primeiro pavimento com porão de cabos para as salas técnicas; segundo pavimento com sala para equipamentos de média tensão, sala para equipamentos de baixa tensão, sala de eletrônicos e, finalmente, a cobertura que conta com equipamento para ventilação das salas técnicas, ar condicionado para sala de eletrônicos e reservatório de água para consumo no próprio prédio (para seis mil litros de água). Nas demais estações este programa de necessidade pode variar com a alteração na quantidade de equipamentos, sobretudo o trafo, que pode representar um aumento considerável na área para recebê-lo, e na adição dos ventiladores de ventilação principal, que pode ser incorporado ao programa deste prédio, como acontece na estação AACD/Servidor, sendo desvinculado do corpo principal da estação, e pela adição do Bicicletário no nível térreo, como ocorre em algumas estações. As pequenas diferenças encontradas de estação para estação tornaram o trabalho de definição de layout interno de sistemas bastante complexos, consumindo meses de trabalho de projeto, o que repercutiu em cadeia no projeto de estrutura e acabamento impactando no planejamento da obra que teve seu tempo de trabalho reduzido. As singularidades também renderam diferentes estruturas pré-moldadas, o que impediu a uma padronização ampla para estas edificações em toda a linha.

Vide glossário

No primeiro subsolo do edifício de salas técnicas, se encontra o reservatório principal da estação e as bombas para abastecimento de consumo e reserva de incêndio.

O edifício, de formato laminar, possui uma torre de circulação principal com elevador central com escada e prumadas elétricas e hidráulicas ao redor. Sua estrutura foi prevista no projeto básico como uma construção em concreto moldado *in-loco*, mas ao longo da obra decidiu-se por sua construção em pré-moldado, visando baratear os custos da construção e ajuste do cronograma de obras: a área destinada a esta construção, na maioria das estações, só é liberada para o início desta obra ao final da construção da obra bruta da vala principal, pois a região costuma ser usada para atividades de logística e canteiro do VCA. Há ainda uma escada de emergência, externa ao edifício, para atender às exigências de saída de emergência previstas em IT (instrução técnica) específica do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo. Como revestimento foi adotado nos edifícios de salas técnicas da linha a pele de vidro ventilada, dando à construção uma aparência de prisma de vidro. Esta decisão projetual se mostra controversa uma vez que a CMSP possui políticas compromissadas com a conservação de recursos e de menor impacto ao meio ambiente, tais como a adoção de geração de energia solar, essencialmente opostos ao significado que o aumento do consumo que a

pele de vidro significa para um edifício construído para receber equipamentos que já emitem calor e devem ter sua temperatura controlada. A pele de vidro no edifício de salas técnicas também traz consigo a conotação de arquitetura corporativa, viés que a direção de projetos de arquitetura da CMSP flerta em seus projetos, principalmente a partir do projeto da Linha 4- Amarela como já colocado no capítulo 1 desta dissertação em contraposição à tradição arquitetônica institucional paulista adotada pela CMSP até então.

Abaixo do subsolo onde se encontra o reservatório principal, na mesma prumada do elevador e escada, em continuação a estes, se encontra a “rota especializada”, que, por meio de um poço independente do VCA principal chega até o porão de cabos da plataforma. A configuração formada pelo VCA da estação ligado ao edifício de salas técnicas por meio do poço auxiliar da rota especializada permite que todo o cabeamento proveniente do túnel, que passa pelo porão de cabos da plataforma, adentre as salas técnicas. Estes cabos, de energia, comunicação, sinalização, etc., alimentam os equipamentos e controles presentes nestas salas, e após transformados e/ou processados, voltam ao VCA principal, para seguirem para os túneis de via e para distribuição em toda a estação.

A decisão da construção deste poço, voltado exclusivamente para fazer a ligação de cabos e hidráulica túnel/estação/ salas técnicas, deve passar por reflexão antes de ser adotada em novos projetos, uma vez que os benefícios são limitados e o custo desta construção, que envolve a escavação do poço e do túnel de interligação, escavado por meio de NATM, além do emboque à vala principal, para o qual, na Linha 5-Lilás adotou-se o método de corte da parede de contenção por fita diamantada, representam um alto custo, além das dificuldades que um novo elemento subterrâneo interligado pode representar (como arremates de impermeabilização, etc.). Diante das grandes dimensões das valas presentes nas estações, uma alternativa econômica é a construção de diversas prumadas para a distribuição de cabeamento dentro da própria vala principal, o que além de economizar em obra civil e escavação, tornaria a distribuição de cabos mais eficiente. A construção do edifício externo de salas técnicas, por sua vez, caso seja mantido como uma diretriz em detrimento às salas técnicas no subterrâneo, tem grande potencial de padronização, podendo ser um bloco completo padrão, de peças pré-moldadas, para aplicação nas estações. A variação de equipamentos observada não é significativa a ponto de impedir a padronização, requerendo apenas um esforço de flexibilidade no projeto e isto pouparia grande esforço na tentativa de equacionar a compatibilidade entre civil e sistemas, além de reduzir a chance de erros.

2.2.2.1.4 A PROFUNDIDADE COMO LIMITADOR DA PADRONIZAÇÃO DE TODO O CORPO DAS ESTAÇÕES EM VCA

O estágio mais avançado de padronização das estações, que permitiria maior industrialização no processo de sua construção seria a padronização de todo seu corpo principal subterrâneo.

Uma justificativa recorrente para a não padronização de estações inteiras dada pelos projetistas da CMSP é a diferença de profundidade da via, variável entre as estações e faz com que o caminho entre a plataforma e o nível da rua receba diferentes tratamentos projetuais.

Nesta situação percebemos que ao longo do tempo os projetos de estações de metrô de São Paulo em VCA passaram por diversas mudanças, mas o sistema de circulação de passageiros para embarque e desembarque não variou tanto, vigorando sempre um sistema de mezanino que remonta aos projetos da Linha 1 – Azul, sendo que com o aprofundamento das estações, motivados pela adoção dos túneis escavados por TBMs em condições diversas de relevo, aumentaram o número de mezaninos intermediários para acessar a via.

O sistema de mezaninos e escadas rolantes nas estações em VCA, adotado em larga escala na Linha 5-Lilás, sobretudo nas estações em vala retangular, demonstraram também a limitação imposta pelas estroncas de escoramento das paredes de contenção. Estas estroncas, quando vistas em corte longitudinal formam um grid que estabelece importantes limitações para a circulação vertical, uma vez que a estronca conta com grande dimensão vertical, o que repercute em uma limitação de pé direito para as escadas, cuja limitação de comprimento horizontal passa a ser o distanciamento entre estroncas. No caso de escadas rolantes a limitação é maior, pois as escadas rolantes necessitam o espaço para sua caixa de máquina, além da distância horizontal para sua parte inclinada. Caso se perseguísse a padronização ainda no sistema de projeto adotado, seria necessário um esforço para a adaptação no grid estrutural formado pelas vigas estroncas de forma a permitir maior maleabilidade na colocação de escadas, para que os diferentes desníveis das diferentes estações fossem vencidos e houvesse situações de “ajuste” para adaptação. O ajuste poderia ser implementado em uma única superação de nível por escadas, por exemplo, no acesso, preservando uma altura padrão para as demais escadas e lajes. A posição do acesso principal também é bastante variável nos projetos em VCA da linha estudada, mas o esforço para esta adaptação não precisaria ser tão grande, uma vez que, com exceção das estações Borba Gato e Moema, nas demais a cúpula poderia ser colocada no eixo, necessitando o ajuste apenas no sentido da via.

O grid formado pelas estroncas, também são diferentes, variando dimensões das vigas e modulação do distanciamento entre elas. A distribuição de estroncas de contenção das valas podem ser divididas em dois grandes grupos: as de vala retangular, que possuem maior número de vigas e distanciamento menor entre elas e de cinco poços secantes, como acontece nas estações Brooklin, Campo Belo e Adolfo Pinheiro. O número reduzido de estroncas nas estações de poços secantes representa maior facilidade na solução arquitetônica de circulação vertical e quando há espaço disponível para a implantação deste tipo de sistema estrutural, que exige maior largura disponível para a construção, é uma excelente solução. Para as valas retangulares, por sua vez, para atingir a padronização, seria necessária uma unificação de vãos e limitação da dimensão máxima das vigas estroncas, de forma a permitir o trabalho de padronização do *layout*.

Com a padronização da modulação estrutural dentro de medidas que permitam pés direitos confortáveis e circulação vertical, seria possível padronizar estruturas internas e layout arquitetônico, de forma a simplificar projeto civil, compatibilização com sistemas e execução.

A grande quantidade de estações similares na expansão da Linha 5-Lilás, principalmente as executadas em vala aberta, nos permite fazer uma comparação entre elas e investigar a influência dos aspectos estruturais envolvidos e a viabilidade de padronização de unidades inteiras. A tabela a seguir compara algumas das variáveis:

Tabela 1 - profundidade das estações que compõe a expansão da Linha 5-Lilás.

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados da Companhia do Metropolitano de São Paulo (2012-2015).

Estação	Método construtivo	Profundidade (m)
Adolfo Pinheiro	5 poços secantes	17,20
Campo Belo	5 poços secantes	23,93
Brooklin	5 poços secantes	22,17
Alto da Boa Vista	VCA retangular	22,48
Borba Gato	VCA retangular	21,12
Eucaliptos	VCA retangular	23,93
Moema	VCA retangular	23,29
AACD-Servidor	VCA retangular	22,81
Hospital São Paulo	NATM	31,07
Santa Cruz	NATM	42,49
Chácara Klabin	NATM	30,33

Na Tabela 1 indicamos uma relação entre as profundidades e o método construtivo utilizado para construção das estações subterrâneas.

Como metodologia para produção dos dados referentes à profundidade foi considerada a medida a distância entre o **topo do boleto** da via, e o nível do acesso principal.

Vide glossário

O topo do boleto da via, embora não seja efetivamente o “fundo” da estação, é o principal definidor da profundidade desta, uma vez que a via é a interface física do sistema com a estação e possui pouca maleabilidade em sua cota, que depende de diversas variáveis. A adoção do topo do boleto para esta medição também isola, para efeito de comparação, a influência da modalidade do túnel escavado por *Shield* – duplo ou singelo. O túnel duplo necessita maior profundidade abaixo do topo do boleto, pois a altura da flecha de seu arco invertido é maior que o do **túnel singelo**.

O nível do acesso principal, por sua vez, foi adotado por permitir que o desnível medido inclua todo o trajeto vertical a ser considerado, que tem significado primordial para a distribuição de mezaninos e escadas que representam o caminhar do público desde a rua até as plataformas, principal função das estações.

Diante da comparação, é possível distinguir claramente os dois blocos de estações formados pelas estações feitas em vala aberta e pelas estações cujas plataformas estão em túneis NATM.

Ainda dentro do bloco das estações feitas em vala aberta é necessário destacar a estação Adolfo Pinheiro cuja profundidade desvia do padrão das demais feitas em vala aberta. Esta diferença pode ser entendida quando identificamos que esta estação se posiciona em uma transição de métodos construtivos do túnel de via: o trecho existente da Linha 5-Lilás vem da estação Santo Amaro elevada, “mergulha” por meio de um VCA até a estação Largo Treze, a partir da qual inicia um túnel NATM, que foi continuado pela frente de obra da expansão atual até a estação Adolfo Pinheiro, de onde parte mais um pequeno trecho, como já descrito neste capítulo até o poço Conde de Itu, de onde partem as tuneladoras singelas.

As outras sete estações feitas em vala, por sua vez, lindeiras à via que percorre os túneis escavados por tuneladoras e que contam com outras características similares como já descrito neste capítulo, possuem profundidade bastante próximas. Considerado este grupo de estações com as características descritas acima, quando comparamos a estação Campo Belo, que possui o topo do boleto mais profundo, e a estação Borba Gato, com o topo do boleto mais superficial chegamos a uma diferença de 2,81m.

O desnível encontrado neste grupo de estações, relativamente pequeno, pode ser explicado pela equação formada por um lado pela viabilidade econômica do método construtivo de vala, que não se justifica em grandes profundidades, onerosas pelo grande volume de terra escavado; e por outro lado pela limitação imposta pelo próprio túnel e variações de relevo, que exigem recobrimentos mínimos que não permitem que a via seja mais superficial. Desta forma a faixa de profundidade média deste tipo de estação não tende a ampliar, demonstrando assim que a variação de profundidade não deve ser vista como um impeditivo para a padronização de todo o corpo da estação, desde que haja possibilidade de ajustes e adaptações para pequenas diferenças.

2.2.2.1.5 A PADRONIZAÇÃO DA ARQUITETURA DE ESTAÇÕES VCA E AS SINGULARIDADES GEOTÉCNICAS DE CADA SÍTIO

As obras subterrâneas trazem consigo uma indissociável relação com o solo e suas características particulares, nunca previsíveis com exatidão em projeto. O projeto de estruturas enterradas é de grande complexidade, exige conhecimento específico que este trabalho não tem objetivo de discutir, embora seja necessário, em diversos momentos, conceituar questões desta disciplina.

Do ponto de vista do planejamento das obras de estações subterrâneas é clara a divisão entre a “obra bruta” e o “acabamento e estruturas internas”. Por obra bruta entende-se, principalmente, obras geotécnicas: escavação, construção de paredes de contenção, túneis, etc. Acabamento e estruturas internas compreen-

dem quase tudo o que é construído dentro da vala: lajes, vigas (exceto as estroncas), paredes (exceto as de contenção), pisos etc.

A divisão da obra bruta do restante da obra na Linha 5-Lilás fica clara com a licitação separada do acabamento para os lotes de obra 1, 2, 6 e 8 da expansão da Linha 5-Lilás, onde o contrato inicial foi consumido pelas obras brutas.

Podemos entender, para efeitos de especulação da padronização das estações, a interface da arquitetura interna com as estruturas geotécnicas são a parte interna das paredes de contenção, parte interna de túneis, as vigas estroncas e a passagem da máquina tuneladoras. Uma vez que a variabilidade das estruturas em contato direto com o solo não influencia o interior da estação, uma vez que aumentam e diminuem para o lado de “fora”, a variável que deve ser considerada para este estudo é a dimensão, geometria e distribuição das vigas estroncas, cujo projeto na extensão da linha 5-Lilás será estudado a seguir.

Estroncas são vigas que possuem como principal função estrutural a estabilidade horizontal das paredes de contenção; as estroncas “seguram a vala aberta”, em oposição ao empuxo exercido pelo solo e lençol freático. Como as condições de solo e lençol freático são variáveis de estação para estação ao longo de uma linha de metrô, as exigências estruturais aplicadas às estroncas de cada estação também são diferentes e, por consequência, seu dimensionamento é diferente.

A modulação, geometria e dimensionamento das vigas impactam tanto na acomodação de escadas fixas e rolantes, que dependem de grandes vãos, geralmente paralelos à extensão da plataforma, quanto na distribuição de níveis de mezaninos, que demandam de pés direitos confortáveis para receber comunicação visual, iluminação e oferecer bem-estar a grandes quantidades de pessoas.

Para o grupo de estações em vala que destacamos acima, devido aos dois métodos construtivos utilizados, podemos dividir as demandas estruturais em dois subgrupos, um formado pelas estações feitas em vala retangular e outro pelas estações feitas em cinco poços secantes, como já proposto neste capítulo.

As estações em cinco poços secantes, por possuírem geometria que em planta configura uma sequência de arcos, que por sua natureza distribui os esforços para seus apoios, permite um maior espaçamento entre as estroncas que recebem as pressões do solo e do lençol freático, sendo, geralmente, necessária somente uma estronca em cada encontro de arco, por nível. Estas estroncas são intercaladas por vigas que não vão até o revestimento da vala, somente com função de estruturar as estruturas internas e laje de cobertura.

Nas estações cuja vala é retangular, o espaçamento de estroncas é menor e as vigas de eixo transversal à plataforma sempre compartilham funções de contenção e de suporte aos mezaninos, exceto quando não há mezanino na região.

Estação / método construtivo	Modulação (m)		Dimensionamento e Geometria das Vigas (m)		
	Raio do poço	Dist. Entre eixos-estronca	altura estronca	largura estronca	geometria da viga
Cinco poços secantes					
Adolfo Pinheiro	15,50	27,00	-	-	-
Campo Belo	15,40	26,20	1,60/1,30	1,40	boleada
Brooklin*	16,13	26,46	1,51	1,40	boleada
Vala retangular	Largura da vala	Dist. Entre eixos-estronca	altura estronca	largura estronca	geometria da viga
Alto da Boa Vista	20,10	10,23	0,74	2,00	chanfro nas escadas
Borba Gato	19,60	10,20	0,74	2,00	chanfro nas escadas
Eucaliptos	19,80	10,00	0,90/1,8	2,00	seção variável - arco facetado
Moema	19,60	14,00	max2,8	2,20	seção variável - arco facetado
AACD-Servidor	19,35	12max/3,25min	1,4	2,47max/1,44min	trapesoidal

* a estação possui eixo curvo, os arcos de cada lateral possuem raios distintos. Para raio do poço foi considerado a distância do eixo da estação ao ponto mais distante

A Tabela 2 demonstra a distribuição das estroncas e a respectiva geometria. Na coluna Raio do poço e Largura da vala, é apresentada a medida interna da vala. No dimensionamento da viga estronca, altura e largura são apresentadas as variações, quando aplicáveis. Não foram consideradas as estroncas presentes nas lajes de cobertura e laje de fundo da estação, por possuírem menor influência na locação de escadas e demais estruturas internas, principal desafio do programa de circulação de usuários nas estações.

Na análise dos dados de modulação de estroncas das estações feitas em cinco poços secantes as informações são bastante reveladoras do desempenho da geometria dos cinco poços secantes na distribuição dos esforços de empuxo do solo em suas paredes. Os dados indicam, mais uma vez para uma distinção da estação Adolfo Pinheiro das demais, como colocado a seguir.

Na estação Adolfo Pinheiro, cuja a profundidade é menor e a altura de suas paredes laterais são ainda menores que a profundidade aferida na primeira tabela por contar com cobrimento de terra acima da laje de cobertura, ao contrário do que ocorre nas demais estações que possuem pouco ou nenhum cobrimento de terra sobre a laje de cobertura, sequer foram necessárias estroncas intermediárias, bastando as estruturas das lajes de fundo e de cobertura com suas respectivas vigas para equacionar o empuxo lateral. As vigas em níveis intermediários possuem, portanto, somente função de estruturar mezaninos e pavimentos internos à estação.

Nas estações Campo Belo e Brooklin, também construídas com cinco poços secantes, a grande altura de suas paredes exigem estroncas intermediárias, mas ambas possuem cerca 26 metros espaçamento entre os eixos destas, bastante superior ao projetado para as valas retangulares. Entre as estroncas, no mesmo sentido do eixo destas, para suporte das estruturas internas e laje de cobertura, estão outras vigas, que dividem a distância entre estroncas ao meio, resultando em cerca de 13 metros de distância entre eixos, o que aproxima às medidas da distância do entre eixos de estroncas das estações de vala retangular.

Nas estações de valas retangulares encontramos desvios na média de distância entre estroncas nas estações Moema e AACD-Servidor, Moema de módulo com maior distância e AACD Servidor de menor distância. A concepção estrutural da estação AACD-Servidor é distinta das demais, conta com estroncas bastante

Tabela 2 - Distribuição de estruturas internas nas estações em VCA da expansão da Linha 5-Lilás.

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados da Companhia do Metropolitano de São Paulo (2012-2015).

próximas e conta com um estacionamento de automóveis de dois pavimentos ocupando a parte mais superficial da vala.

O vão de cerca de 10 metros é um lugar comum para as estações Alto da Boa Vista, Borba Gato e Eucaliptos.

A diferença notada também na dimensão das estroncas indica que não há uma diretriz para a padronização estrutural pois, uma vez que os esforços solicitantes são distintos conforme o solo, se houvesse um esforço para uniformização ele estaria refletido ou na modulação ou na dimensão das vigas, ficando variável somente uma das medidas. A padronização é viável, portanto, se houver uma diretriz, possível diante da análise dos dados apresentados anteriormente, que fixe a modulação das estroncas e determine de uma faixa de flutuação de da geometria destas. O limite máximo dimensional das estroncas deve permitir que o gabarito mínimo para usuários, a correta instalação dos equipamentos e, no caso das estroncas abaixo e acima do nível das plataformas, permita a passagem da tuneladora e do gabarito de trem e catenária.

2.2.2.1.6 AS PRAÇAS SOBRE AS ESTAÇÕES EM VCA E O PROJETO DE ESTAÇÕES PADRONIZADAS

Com dimensões maiores ou menores, conforme a vala adentra a projeção do viário e conforme a geometria dos terrenos desapropriados, as estações em vala da extensão da Linha 5-Lilas possuem uma praça sobre seu corpo no nível da rua.

Como resultado do conjunto formado pelos dois ou três volumes, dependendo da incorporação ou não do bicicletário ao prédio de salas técnicas, além de acesso principal e do própria edifício de salas técnicas há a praça seca, que conta ainda com a presença dos lanternins de iluminação natural da estação.

No caso da estação Alto da Boa Vista, a praça fica levemente elevada em relação à Avenida Santo Amaro, cercada pelos outros três lados por imóveis particulares, criando uma espécie de varanda para a avenida. As demais estações também possuem peculiaridades.

O mérito da criação das novas praças ao longo da linha, dada a escassez de espaços públicos na cidade, deve ser valorizado, tradição que remete, principalmente ao projeto das estações da Linha 3-Vermelha, onde novas praças fizeram a interface do novo equipamento com seu entorno, reorganizando-o e da Linha 1-Azul, cujas praças surgiram como recobrimento das áreas de construção dos VCAs, assim como na Linha 5-Lilás.

As praças, mais do que os próprios acessos, fazem a interface da estação com a cidade, integrando-a com a malha de ruas e calçadas.

A possibilidade de ajuste e a qualidade que este espaço público pode oferecer são importantes ferramentas que podem auxiliar na implantação de uma pa-

dronização profunda, de todo o corpo da estação como exposto anteriormente. Desta forma o projeto de urbanização e paisagismo, desde que respeitem a singularidade do entorno e suas preexistências, pode evitar que a padronização do corpo subterrâneo e acessos das estações ao longo de uma linha se tornem corpos estranhos ao sítio onde se inserem.

2.2.2.2 AS ESTAÇÕES DA EXTENSÃO DA LINHA 5-LILÁS QUE NÃO POSSUEM A PLATAFORMA EM VALA

As estações mais centrais da linha 5-Lilás - Hospital São Paulo, Santa Cruz e Chácara Klabin- tem como diferencial o uso de túnel NATM para abrigar a plataforma. A escolha por este método se deve sobretudo a duas condicionantes: a densidade construtiva maior na região mais central, que leva a dificuldades na desapropriação de grandes áreas e desvios de trânsito para escavação de valas suficientes para abrigar toda a plataforma e a profundidade do túnel de via, mais profundo pois estas estações se encontram próximas ao topo do espigão que divide as principais bacias da cidade, o que levaria a um grande volume de terra a ser escavado para uma estação em VCA, aumentando seus custos.

Figura 17 – Croqui de corte transversal com esquema típico de estação com plataforma em túnel NATM.

Fonte: elaborado pelo autor.

De forma geral, estas estações possuem sua estrutura formada por 3 elementos principais, como apresentado na Figura 17: poço de acesso, geralmente composto por dois poços circulares secantes, túnel para plataforma, feito em NATM,

túnel de ligação entre os dois elementos anteriores. Dependendo das condicionantes específicas de cada estação, algumas diferenças se apresentam, como um poço extra para ventilação, como ocorre na estação Hospital São Paulo, pequenos túneis transversais no túnel de plataforma para acomodação de escadas e eliminação do túnel de ligação, com a adoção de poço de acesso no eixo da via, como ocorre na estação Pinheiros.

As estações em NATM da Linha 5-Lilás apresentam características bastantes distintas entre si, pois tratam-se de duas estações de integração com linhas existentes, sendo uma estação já projetada para a conexão (Chácara Klabin), uma estação não projetada para conexão que recebe adaptações para atender a integração (Santa Cruz) e uma estação nova sem integração (Hospital São Paulo).

As estações de interligação, e aquelas planejadas para uma interligação futura, possuem características próprias, sobretudo para receber uma grande quantidade de usuários que fazem baldeação ali, o que aumenta sua singularidade e reduz a abertura para a padronização em maior escala. Estes casos merecem um estudo aprofundado e até um investimento concentrado para dotar, principalmente suas circulações, de espaço necessário para muitos usuários.

A Estação Hospital São Paulo, por sua vez, representa uma condição de estação de meio de linha, sem conexão, que tende a se repetir no projeto de outras linhas: alta densidade construtiva e relevo que justificam a construção de estação com plataforma em túnel NATM. Este túnel que necessita grandes dimensões, a despeito de seu alto custo, permite economia por evitar maiores desapropriações e por reduzir a escavação.

A estação, que atende ao complexo hospitalar da Universidade Federal de São Paulo e à Vila Clementino, possui dois poços, um em cada lado da rua Pedro de Toledo, na esquina com a Rua dos Otonis, onde também existem acesos de usuários interligados por um túnel superficial, sendo que por um dos poços é feita a circulação vertical para acesso dos usuários ao sistema e pela outra é feita a ventilação do túnel da plataforma. Seguindo a tradição de estações paulistas feitas neste método principalmente a partir da Linha 4- Amarela, as salas técnicas e operacionais ficam na região aflorada da estação. Um edifício de salas técnicas similar ao utilizado nas estações em VCA é acrescido de um pavimento para acolher as salas operacionais. Pela própria lógica de distribuição espacial do método construído adotado, as salas técnicas e operacionais subterrâneas são descartadas, pois representariam um grande custo de escavação, o que, diferente das estações em vala que contam com espaço disponível escavado que pode gerar discussões sobre a aplicabilidade do edifício externo, no caso das estações em NATM esta decisão apresenta mais coerência em sua defesa. Desta forma a intervenção na superfície é bastante otimizada, restrita às áreas desapropriadas nos dois lados da rua, sem desvios de trânsito. O túnel de plataforma recebe também o mezanino de distribuição, por onde descem as escadas rolantes diagonalmente em relação à via, tirando máximo proveito da altura livre disponível sob o arco do túnel.

Do ponto de vista do usuário este tipo de estação gera um certo desconforto pelo tempo gasto nas diversas voltas pelas escadas rolantes necessárias para vencer o desnível. Os elevadores de grande capacidade, adotados em metrô de algumas cidades ainda não são aceitos pelos técnicos da CMSP.

Estação	profundidade (m)	H interna tunel (m)	L interna tunel (m)	área interna seção Túnel (m ²)
Hospital São Paulo	31,07	14,00	17,30	188,76
Santa Cruz	42,49	13,95	17,30	188,07
Chácara Klabin	30,33	14,11	17,29	191,85

As dimensões do túnel de plataforma, que comportam as vias, as plataformas e o mezanino são bastante similares, como apresentado na tabela 3. As estações de integração, Santa Cruz e Chácara Klabin, que possuem demanda maior de passageiros, possuem alargamentos nos túneis para receber escadas rolantes sem conflitar com as plataformas.

Tabela 3 - Dimensões dos túneis de plataforma nas estações com plataforma em túnel NATM na Linha 5-Lilás.

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados da Companhia do Metropolitano de São Paulo (2012-2015).

Na estação Chácara Klabin, que já foi projetada prevendo a integração da linha, um dos alargamentos é na vala preexistente da Linha 2-Verde, por onde será feita a conexão, e um novo poço, que também recebeu escadas para saída de emergência do acréscimo de passageiros da nova linha, também serve como alargamento para que escadas rolantes do mezanino à plataforma não conflite com usuários da plataforma da nova linha.

A estação Santa Cruz, também conta com adaptações para suportar uma grande demanda de passageiros que são aguardados nesta estação, principalmente motivados pela integração com a Linha 1-Azul. O túnel de plataforma desta estação recebe ampliações laterais, também feitas no método NATM, para que as escadas sejam colocadas ortogonalmente para atender o grande fluxo de usuários sem afetar a dinâmica do uso da plataforma. O túnel de plataforma e mezanino de distribuição é alcançado pelos usuários por meio de escadas e elevadores em uma vala conformada por dois poços secantes localizada lateralmente à ponta leste da plataforma.

Embora a Linha 5 conte apenas com a estação Hospital São Paulo que reúne características de não ser integração e possuir plataforma em túnel NATM, é possível perceber, diante do exposto na Tabela 3 e em sua análise, que as dimensões dos túneis para abrigar este programa recebem pouca variação e a padronização aqui também é viável, ficando como principais variáveis a profundidade, que pode ser regulada pelo número de lances de escadas, se mantidas as diretrizes de circulação vertical atuais, e o alargamento ou não do túnel para colocação de escadas.

2.3 A LINHA 5- LILÁS, OS MÉTODOS CONSTRUTIVOS ENVOLVIDOS E SUAS REPERCUSSÕES NA CIDADE

Os métodos construtivos usados para a construção de uma infra-estrutura como o Metrô traz repercussões e representa escolhas que repercutem diretamente na

forma da cidade. Assim, pode-se fazer uma leitura da extensão da Linha 5-Lilás com suas diferentes matizes urbanas implicando em diferentes sistemas construtivos e vice versa.

O trecho existente da Linha 5-Lilás que interliga distantes e populosos bairros periféricos, que contam com escassas ligações viárias, à rede de transporte de trilhos da cidade foi construído em sua maior parte em via elevada, de impacto maior ao entorno que as subterrâneas, como já demonstrado no capítulo 1. Este impacto, que tem no monotrilho uma tentativa de mitigação (esta tecnologia, que não é capaz de atingir o número de passageiros transportado por hora que o sistema de metrô permite, mas emite menos ruído e exige menores suportes estruturais), foi desconsiderado por décadas e utilizado como alternativa sobretudo em áreas pobres da cidade, onde a desocupação de terrenos com ocupação irregular era relativamente mais simples que nas demais regiões.

Figura 18 - Variações de densidade populacional nas áreas de influência direta da linha.

Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (2008, p. 28.)

Quando a linha adentra a região mais valorizada conformada entre os dois principais rios da cidade – Tietê e Pinheiros- é adotada via em subterrâneo e após a centralidade periférica representada pelo Largo Treze, centro da antiga municipalidade de Santo Amaro (incorporada pelo município de São Paulo no ano de 1944), a linha passa por um longo trecho de zonas residências de baixa densidade populacional e construtiva, como apresentado na Figura 18. Essa situação é típica de uma região perimetral que se estende sobretudo pelo quadrante sul-oeste da cidade, fazendo com que os movimentos pendulares se alonguem, uma vez que a população se concentra na periferia distante e é isolada por esta faixa do centro onde estão as oportunidades econômicas. Como reflexo desta situação no método construtivo destas áreas temos a maior disponibilidade de terrenos com menos construções, mais propícios para a desapropriação e construção por meio de VCA. Diante da menor densidade, na Linha 5-Lilás a maior parte das estações que reúne estas condições se localiza em cruzamentos com avenidas perimetrais, potencializando assim sua utilidade.

Esta situação se mostra recorrente dentre as estações feitas em VCA, cujos exemplares mais periféricos estão situados em esquinas com perimetrais importantes onde apresentam demanda suficiente para seu funcionamento, enquanto as mais centrais se tornam independentes desta condição:

- Estação Borba Gato, se encontra no cruzamento da avenida Adolfo Piniheiro com a Avenida Santo Amaro, em vala retangular metade dentro do quarteirão, metade sob a avenida Santo Amaro;
- Estação Brooklin, VCA composto de cinco poços secantes, na esquina da Avenida Santo Amaro com a Avenida Roque Petroni;
- Estação Campo Belo, também em cinco poços secantes, e que se destaca das demais por possuir salas técnicas no subterrâneo, ser construída junto com viaduto de veículos para sobrepor a Avenida Santo Amaro a Avenida Roberto Marinho e ter interligação com a Linha 17 de monotrilho;
- Estação Eucaliptos, em vala retangular no interior de dois quarteirões na Avenida Ibirapuera, em frente ao shopping center Ibirapuera, próximo à Avenida Bandeirantes;
- Estação Moema, VCA retangular distribuído sob praça da Igreja de Aparecida de Moema, avenida Ibirapuera e lotes desapropriados. Esta já mais central e menos dependente de cruzamentos rodoviários;
- Estação AACD-Servidor, de vala retangular construída no interior do quarteirão, conta com demanda oriunda dos centros hospitalares que emprestam o nome, embora se encontre próxima da importante ligação radial norte-sul (neste local representada pela avenida Ru-

bem Berta. Esta estação tem como peculiaridade o estacionamento subterrâneo que aproveita o volume que ficaria vazio sobre plataforma e mezanino na vala.

Finalmente, na estação Hospital São Paulo, a densidade construtiva se torna maior e, com relevo mais montanhoso se opta pela estação com Plataforma em túnel NATM, assim como é escolhido para Santa Cruz e Chácara Klabin.

A pouca penetração da Linha 5-Lilás na região mais central explica o menor número de estações que se utilizam este método construtivo, o que deve representar também que uma parcela importante de seus passageiros deverá fazer conexões e desembarcar em estações de outras linhas, situadas em locais com maior atividade econômica e oportunidades de emprego. Em linhas futuras, com maior extensão em áreas centrais, as plataformas em túnel devem ser cada dia mais comuns, pelos motivos já apresentados que dificultam a construção de grandes valas nestas regiões.

2.4 CONCLUSÕES SOBRE A INDUSTRIALIZAÇÃO NO PROJETO E CONSTRUÇÃO DA LINHA 5-LILÁS

A adoção de industrialização na construção da Linha 5-Lilás se mostrou independente de decisões de concepção que nortearam o projeto.

Esta adoção urgiu, principalmente de dois componentes: a pressão dos prazos, uma vez que o cronograma de construção da linha apresentou sucessivos atrasos e esta foi uma forma encontrada de reduzi-los e da pressão do mercado, representado pelas construtoras que buscam maximizar seus lucros, o que representou, portanto, que os fragmentos de industrialização aplicados renderam mais aos entes privados envolvidos que aos cofres públicos.

Como a projetista encarregada de fazer o projeto executivo da maior parte dos lotes, pautada na legislação e no contrato vigente, adotou a postura de detalhar o projeto básico, sem fazer grandes alterações, coube às construtoras apresentarem propostas de alteração de projeto visando a industrialização. A maior parte das propostas visava a utilização de pré-moldados em concreto em substituição às peças moldadas *in-loco*.

A análise das estações em VCA da Linha 5-Lilás deixa claro que são parecidas em suas linhas gerais, mas não tiram proveito da similaridade como forma de padronizar e industrializar sua construção, o que permitiria, pelo contrário, manter a essência igual, reduzindo custos, e possibilitando a aparência customizada.

As estações com plataforma em NATM, por sua vez, embora em menor número, permitem vislumbrar também a possibilidade de padronização, sobretudo quando não possuem conexão com outra linha, o que torna a situação singular e demanda soluções específicas.

A diversidade formal encontrada em projetos elaborados para equacionar programas arquitetônicos similares, apontada na análise dos dados de dimensionais das estruturas, não representou um problema relevante ou desafio maior para a CMSP quando a construção de novas linhas ou expansão das existentes seguia um ritmo lento, cuja meta era a inauguração de um ou duas estações por ano. Quando o planejamento passa a ser feito visando o projeto executivo e obra de dez ou onze estações subterrâneas de forma concomitante, todavia, como a CMSP volta a experimentar após décadas com a expansão da Linha 5-Lilás, a singularidade do projeto de cada uma das estações, além de limitar a industrialização de todo o processo construtivo, passa a ser um fator de multiplicação para o desafio de equacionar o projeto executivo com a complexidade intrínseca envolvida. Esta realidade aponta para a necessidade de direcionar a concepção dos projetos para industrialização.

3 PROPOSTA DE PROJETO DE EXPANSÃO DA REDE DE METRÔ PARA SÃO PAULO

Os capítulos 1 e 2 mostraram, nos diferentes momentos da história do Metrô de São Paulo, o projeto para linhas e estações, com diversos métodos construtivos desde a fundação da CMSP. No primeiro trecho da Linha 1-Azul foram construídos túneis de via, pátio e grande quantidade de estações subterrâneas em um prazo nunca novamente alcançado. Por motivos diversos, que passam por dificuldades econômicas enfrentadas pelo país, escolhas políticas e outros, só se repetiu a execução de 10 estações subterrâneas de forma concomitante na construção da Linha 5-Lilás, que ainda se encontra em obras.

Os desafios encontrados neste projeto e obra, todavia, sinalizam que o período de menor produtividade de estações subterrâneas, após a construção do primeiro trecho da Linha 1 –Azul, no início dos anos 1970, até o projeto da Linha 5 Lilás, ainda em curso, as estações desta natureza foram pensadas de forma isolada e moldaram uma forma de concebê-las que não corresponde com as necessidades de compatibilização de disciplinas envolvidas, construção em massa e escala metropolitana. Este período descrito, em meio a uma conjuntura em que se retirou a prioridade do investimento público no transporte de massa, resultou em um aumento na demanda reprimida por transporte público de massa na região, que agravou a urgência por mais linhas.

O projeto de infraestrutura, por sua própria natureza de esforço e investimento da coletividade, pressupõe a otimização de recursos que, pela escala com que se apresentam, exige a industrialização de sua construção.

No artigo financiado e publicado pelo Banco Mundial “*High-Speed Railways in China: A Look at Construction Costs*”, que visa estudar características que levaram a China ao êxito na construção de uma grande malha de ferrovias de alta velocidade com custos mais baixos e em prazos mais curtos que em outros países, Gerald Ollivier, Jitendra Sondhi e Nanyan Zhou são claros em suas conclusões:

*China Railway has accomplished a remarkable feat in building over 10,000 km of HSR network in a period of six to seven years at a unit cost that is lower than the cost of similar projects in other countries. The HSR network operates with high traffic volumes on its core corridors, and with good reliability. This has been accomplished at a cost which is at most two-thirds of that in the rest of the world. Besides the lower cost of labor in China, one possible reason for this is the large scale of the HSR network planned in China. This has allowed the standardization of the design of various construction elements, the development of innovative and competitive capacity for manufacture of equipment and construction and the amortization of the capital cost of construction equipment over a number of projects.*⁹ (OLLIVIER, SONDHI, ZHOU, 2014, p. 8)

⁹ Estradas de ferro chinesas vêm realizando um feito notável na construção de mais de 10.000km de rede de estrada de ferro de alta velocidade em um período de seis a sete anos a um custo proporcional menor que os de projetos semelhantes de outros países. A rede opera trens de alta velocidade com grande volume de tráfego em seus corredores principais de forma confiável. Isto tem sido feito com custo que chega no máximo a dois terços do que vem sendo feito no restante do mundo. Além da mão de obra mais barata disponível na China, uma razão provável para isso é a grande escala da rede de trens de alta velocidade planejada na China. Esta escala permitiu a padronização do design de vários elementos de construção, o desenvolvimento da capacidade de inovação e competitividade para a fabricação de equipamentos e sua construção além da amortização do custo de capital para equipamentos para construção ao longo de vários projetos. (OLLIVIER, SONDHI, ZHOU, 2014, p. 8, tradução do autor)

A tese de que a grande escala de construção a ser feita é o que permite um menor custo proporcional graças à adoção de padronização e industrialização da construção, diluindo custos de equipamentos necessários na repetição de sua produção, gerando elementos mais baratos além de adicionar confiabilidade e controle de prazos, colabora com a ideia de industrialização para construção da expansão da rede de trilhos necessária para o transporte de passageiros na cidade de São Paulo.

O estudo de caso da Linha 5-Lilás, apresentado no capítulo 2, traz como principal contribuição a demonstração que todo um trecho de linha pode possuir um mesmo padrão de estação, conforme suas características de densidade construtiva, padrão urbano e relevo da região onde se encontra.

No presente capítulo pretende-se discorrer sobre parâmetros e metodologia de projeto para a expansão da rede de Metrô de São Paulo, tendo como objeto toda a RMSP, evitando-se tratar isoladamente pequenos trechos de linhas ou estações, buscando a industrialização da construção.

A análise programática a ser feita deve ser ampla e evitar fragmentações na concepção da expansão e buscar o entendimento de toda a rede demandada para que a resposta projetual não contenha vícios de escala. O metrô, em sua condição de transporte de alta capacidade, deve atender a RMSP e, portanto, o programa de necessidades e seu posterior projeto de arquitetura deve adotar esta escala de trabalho.

O projeto integrado de toda a rede visa, além de viabilizar os ganhos que a industrialização pode oferecer como já apresentado, permitir que se retome o controle

do planejamento da rede, munindo os gestores desta área de dados de custo e cronograma mais realistas e que tendem a se tornar mais confiáveis a cada trecho em que é aplicado.

3.1 PREMISSAS PARA PROJETO

Como partida para a proposta iniciaremos pelas premissas que a regem:

3.1.1 PADRONIZAÇÃO DO MODAL

O modal é o principal definidor da estrutura física civil necessária para seu suporte. Ao redor do planeta temos metrô com pneus de borracha, que permitem maiores variações do greide, rodas de aço, bitolas diversas, monotrilho, alimentações por catenária, terceiro trilho, piso baixo, piso alto etc.

Ao longo da história da CMSP alguns momentos marcaram as escolhas dos modais que circulam por sua rede. No primeiro momento, quando da construção da Linha 1-Azul, optou-se pelo metrô de grande capacidade, com rodas de aço, bitola de 1600mm (padrão já adotado em diversas ferrovias do país na ocasião), terceiro trilho lateral. Este padrão perdurou por muitos anos, sendo adotado nas linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha. Na ocasião da concepção das linhas 4-Amarela e 5-Lilás houve uma importante alteração, quando foi adotada a bitola *standard* de 1435mm, com a justificativa que este é o padrão internacional, trazendo assim custos menores pois poderia ser adquirido material rodante “de prateleira” no mercado, evitando-se encomenda de produção de projetos específicos, mais caros.

Outra novidade nestas linhas foi a adoção de catenária para a alimentação dos trens, justificada pela possibilidade de uso de tensão maior que a disponível em terceiro trilho. Desta forma nas linhas 4-Amarela e 5-Lilás a alimentação é de 1500V e não mais de 750V como nas linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha. O aumento da tensão permite uso de cabos de alimentação com seção de área menor e consequente economia.

Um novo rompimento de padrão, desta vez mais radical, veio novamente com a adoção de um novo modal na rede, o Monotrilho. Concebido originalmente para uso de baixa capacidade de transporte, largamente utilizado internacionalmente para transporte interno de aeroportos e parques de diversão, foi adaptado para média capacidade de transporte nos projetos de três linhas em São Paulo: Linha 17-Ouro, em construção; Linha 15-Prata, com o primeiro trecho em testes e Linha 18-Bronze, ainda somente em projeto, sem expectativa de construção. A controversa escolha apresentava como justificativa a promessa de menores custos e rápida implantação. O cronograma, atrasado depois de diversas reprogramações, contrariou a promessa de obra mais rápida. Os custos de passageiros transportados por quilometro deverão ser verificados após sua construção, mas números prévios indicam que não haverá economia em relação ao modal metrô.

Diante do histórico de escolhas da CMSP e suas respectivas repercussões, se mostra sensata a consolidação do modal de Metrô de alta capacidade, adequada à demanda da RMSP, com a bitola *standard* e alimentação por catenária, assim como o trem composto de seis carros com plataforma inserida em estrutura civil de 136m de comprimento. A padronização do modal com suas características físicas principais bem definidas oferece segurança para o planejamento da padronização de toda a infraestrutura, exigindo que as alterações de padrão ofereçam desempenho superior que justifiquem a quebra de modelo. A escala de produção atual, alavancada pela demanda chinesa, justificam definitivamente a escolha por sistema padrão, com soluções “de prateleira”, representada pela bitola *standard*, tema que ainda levanta discussões dos mais tradicionalistas.

3.1.2 PADRONIZAÇÃO DO SUPORTE ÀS VIAS

Ao longo de sua história, como já descrito nos capítulos 1 e 2, a CMSP experimentou diversas formas de suporte às vias: de superfície, elevada e subterrânea (por túneis). O custo e a burocracia envolvida nas desapropriações, crescentes ao longo das últimas décadas, todavia, pressionaram para o predomínio crescente das vias subterrâneas nos novos projetos de Metrô, sendo esta a matriz da Linha 4-Amarela e expansão da Linha 5-Lilás.

A maleabilidade permitida pelos túneis, sobretudo aos feitos em sistema não destrutivo (feitos em NATM ou tuneladoras), ao longo de regiões com grande densidade construtiva é notória, libertando as linhas dos eixos viários existentes, criando novos eixos e evitando impactos na cidade durante a construção.

Os túneis libertam ainda as vias de desníveis pronunciados da superfície, permitindo que as linhas cortem regiões montanhosas sem impactos ao greide da via.

A ausência de impacto na paisagem e a liberação da superfície para atividades adequadas à escala dimensional e de velocidade humana são outras características que se mostram cada mais consensuais para o ideal urbano. Os túneis permitem que se faça uma espécie de plano de Le Corbusier para São Paulo, mencionado na introdução deste trabalho, às avessas, substituindo os viadutos suspensos por vias de metrô subterrâneas, que também podem atravessar seu relevo e sua trama urbana com a mesma liberdade, garantindo à superfície uma abordagem mais atual, sem impacto causado pelas estruturas de transporte.

Ao longo dos empreendimentos de Metrô subterrâneos em São Paulo, há uma clara tendência ao uso de *Shield* para escavação de túneis. Como já colocada no capítulo 1, túneis mais longos justificam esta técnica, que teve seu custo reduzido ao longo dos anos. No Gráfico 3 fizemos uma evolução da proporção de uso de cada método por empreendimento da CMSP. Como o intuito é a comparação entre métodos subterrâneos, não foi incluída a Linha 3-Vermelha, cuja maior parte foi construída em superfície no leito ferroviário pré-existente e o trecho da Linha 5-Lilás construído pela CPTM, cujo maior parte é elevada e os

trechos da Linha 1-Azul feitos após 1974, parte elevado parte em NATM, que não forma incluídos por se tratarem de pequenos trechos construídos extemporaneamente não configuram a mesma estratégia de um grande empreendimento. O gráfico apresentado, demonstra a tendência de avanço do uso de tuneladoras para construção de novas linhas. A linha de projeto mais recente, a Linha 5-Lilás, conta com túneis em NATM somente para sua transição com o trecho existente (trecho Largo treze/poço Conde de Itu), para colocação de AMV no trecho de túneis singelos (próximo ao VSE Roque Petrela) e para as estações feitas nesta modalidade (Hospital São Paulo, Santa Cruz e Chacara Klabin). Já os trechos em VCA se restringem às 8 estações nesta modalidade, ao Estacionamento de trens do Parque das Bicicletas e às valas de emboque das tuneladoras (Conde de Itu e VCA Bandeirantes).

A tecnologia de escavação de túneis por *Shield* representa a fase mais industrializada das experiências de construções de metrô da CMSP, que, como apresentado anteriormente, já conta com largo conhecimento e obras bem-sucedidas nesta modalidade, consolidando assim um padrão a ser considerado em projetos futuros.

3.1.3 CONTINUIDADE DO PLANEJAMENTO

Além da consolidação do modal e o suporte de vias, outro dado importante para o projeto das estações é a consolidação da rede planejada que servirá como meta de projetos e investimentos. Garcia observa as diversas alterações na rede básica propostas desde a sua concepção:

Gráfico 3 - Métodos Construtivos por empreendimento.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Almeida, Fioranelli e Nunes (2010); Companhia do Metropolitano de São Paulo (2010)

De 1968 (data da fundação da Companhia do Metropolitano de São Paulo Metrô-SP) até hoje, nada menos do que dez propostas de rede de transporte sobre trilhos foram apresentadas pelos órgãos públicos de competência para seu planejamento. Com algumas exceções, as redes apresentadas nesses planos são bastante diversas em termos de traçado. (GARCIA, 2014, p. 211).

Por meio do Serviço de Informação ao Cidadão, através do site da CMSP, o autor solicitou à CMSP mapa com planejamento das futuras linhas de metrô para a Região Metropolitana de São Paulo, que em primeiro de agosto de 2014 respondeu por meio de correio eletrônico:

A rede futura, horizontes de médio e longo prazos, está em fase de estudos. A Companhia do Metrô está detalhando os projetos para consolidação com a rede de transportes metropolitanos. A Secretaria dos Transportes Metropolitanos, como órgão responsável pela execução da política estadual de transportes urbanos de passageiros para as regiões metropolitanas, está compatibilizando e consolidando os investimentos dos planos de expansão das empresas a ela vinculadas - Metrô, CPTM e EMTU. Desta forma, o mapa com os projetos que integram a Rede Futura do Metrô poderão ser divulgados após consolidação. Aguarde novas informações no site do Metrô: <http://www.metro.sp.gov.br/>¹⁰ (informação pessoal)

¹⁰ Informação recebida por e-mail no dia 1 de agosto de 2014, enviado por noreply@sp.gov.br após consulta através do Serviços de Informação ao Cidadão, previsto na Lei Federal Nº 12.527/2011, regulamentada pelo Decreto Estadual Nº 58.052/2012

A dificuldade no acesso às intensões do planejamento da rede salientam a fragilidade com que os projetos das estações são estruturados. Uma vez que não há segurança na consolidação da rede, não há segurança em qual será o papel que a estação irá desempenhar ao longo dos anos. Alguns casos de alteração do planejamento inutilizando estruturas já construídas são notórios, como nos casos das estações Paraíso e Dom Pedro, que contavam com plataformas para linhas que foram remanejadas ou suprimidas. O esforço frustrado para contemplar uma conexão inexistente, todavia, é ainda menos grave que as estações de menor porte que, depois de prontas e em uso passam a entrar nos novos projetos como conexão com nova linha, criando uma situação de demanda não prevista difícil de ser equacionada.

A dificuldade na execução de prazos previstos para as obras de expansão alimenta a instabilidade de planejamento, que tem que lidar com um aumento de demanda de determinadas regiões maior que a prevista e necessita remodelar seus planos. Desta forma, a consolidação do planejamento necessita que a estratégia construtiva adotada para a construção da infraestrutura, assim como o cenário político para investimento garanta prazos confiáveis.

3.2 PARÂMETROS DE PROJETO PARA A EXPANSÃO DA REDE DE METRÔ DE SÃO PAULO

Uma vez definidas as premissas de modal, metro de grande capacidade, com bitola *standard*, via subterrânea, escavada primordialmente por *Shield* e com

planejamento da rede consolidado ficando qualquer alteração destas características sujeitas à verificação rigorosa de desempenho que a justifique, passamos aos parâmetros de projeto a serem considerados para aplicação imediata e especulações sobre tendências futuras.

Além dos padrões que devem estar ajustados, o entendimento da rede completa a ser executada é fundamental para que a estratégia construtiva seja global, visando que a malha a ser instalada faça parte de um raciocínio de linha de produção, para que a produção em série dos elementos que a compõe seja viabilizada.

3.2.1 IDENTIFICAÇÃO DE VOCAÇÃO DE PADRÃO A SER ASSUMIDO POR TRECHO DE LINHA

A experiência de projeto executivo e obra da Linha 5-Lilás apresentada no capítulo 2 deste trabalho traz as similaridades que podem ser encontradas ao longo de um trecho de uma linha e a conveniência de tratar estações em situações similares como esta de forma padronizada. Diante desta constatação, este trabalho propõe que seja considerado os tipos de trecho e respectivos tratamentos padrão para cada uma destas situações visando fornecer uma gama de soluções para aplicação e equacionamento de projetos de linhas futuras de São Paulo.

É importante ressaltar que o tratamento de projeto de estações similares para trechos que possuem características parecidas já é uma realidade, como ocorreu na Linha 5-Lilás e em outras linhas da rede da CMSP, o que se propões é um compromisso com a padronização no tratamento destas estações, visando sua produção industrializada e a possibilidade de ganhos comuns na escolha do túnel de via mais adequado às estações do trecho.

Para a identificação de trechos típicos, a partir do traçado e estações pré-definidos, devem ser levados em consideração os seguintes aspectos:

- Demanda de passageiros esperado na estação, que irá definir a eventual inadequação de projeto padrão para o atendimento de grande demanda;
- Definição se a estação é ou será, dentro do planejamento de longo prazo, conexão com outra linha, o que demanda projeto específico;
- Distância média entre as estações;
- Densidade construtiva e valorização imobiliária, que irá auxiliar na definição de sistema construtivo a ser adotado que envolva mais ou menos desapropriação;
- Possibilidade de interdição de via e impacto no trânsito e vizinhança, para auxiliar na definição do sistema construtivo e interface das estações com a malha urbana;

- Cadastro de interferências subterrâneas, inclusive outras linhas, que pode definir profundidade da via e estação além de possíveis remanejamentos;
- Relevo da região, que pode significar via mais ou menos profundas e consequentemente estações mais ou menos profundas;
- Demais características geológicas e ambientais: competência do solo, nível de lençol freático, solo contaminado, vegetação e possível manejo arbóreo etc.

As colocações anteriores dão a dimensão da geografia urbana como instrumento de estudo e estratégia de implantação de linhas de Metrô. Nos apoiamos na análise do geógrafo Aziz Nacib Ab'Saber, em sua descrição da geografia de área situada no centro expandido paulistano:

Quem de avião deixa o aeroporto de Congonhas, situado ao centro-sudeste da cidade, em demanda do norte, tem oportunidade de observar um dos mais característicos elementos urbanos de São Paulo: trata-se do que denominamos Espigão Central, alongado e estreito divisor de águas entre os vales do Tietê e do Pinheiros, o qual nada mais é que uma plataforma interfluvial, disposta em forma de uma irregular abóbada ravinada, cujos flancos descem para nordeste e sudeste, em patamares escalonados, até atingir as vastas calhas aluviais, de fundo achatado, por onde correm as águas do Tietê e do Pinheiros. A Avenida Paulista superpõe-se exatamente ao eixo principal desse espigão, enquanto o interminável casario dos bairros em franco processo de verticalização recobre seus dois flancos. Nos patamares tabulares médios, constituídos pelas baixas colinas da margem esquerda do rio Tietê, os blocos de quarteirões compactos da área central da cidade tornam-se, muitas vezes, urbanisticamente ainda mais maciços, projetando verticalmente a silhueta dos arranha-céus e dos grandes edifícios. Neste trecho, mais do que noutros, os elementos do relevo encontram-se inteiramente mascarados pelas linhas quebradas e irregulares das grandes construções urbanas. (AB'SABER, 2004, p. 94)

O Espigão Central, descrito por Ab'Saber, ao mesmo tempo que recebe grande parte das oportunidades de emprego da capital paulista, e portanto é destino da maior parte das viagens diárias da capital, possui flancos que na ocasião (AB'SABER, 2004) já estavam em “franco processo de verticalização”. Vale colocar também que o eixo formado pela cumeeira do Espigão Central, com pouca declividade, já foi ocupado por túneis das Linhas 1 e 2. Vale notar também que as áreas de planície já vêm de uma histórica ocupação por ferrovias, muitas consolidadas pela malha da CPTM e mesmo pela CMSP como no caso da vertente leste e no pequeno trecho centro/Barra Funda, conta com a Linha 4-Vermelha de metrô que compartilha a servidão do antigo leito ferroviário.

A Linha 5-Lilás em seu primeiro trecho fica restrita à área periférica de São Paulo, quase toda em via elevada, o que evitou o enfrentamento de maiores declividades em seu traçado. A Linha 4-Amarela, contudo, adentra o centro expandido de forma transversal ao Espigão Central, inaugurando uma fase de grandes trechos de linhas com estações profundas na cidade de São Paulo.

A prevalência do Espigão Central na área do centro expandido, onde se concentram os destinos dos movimentos pendulares, a ocupação previa da maior parte dos caminhos de menor declividade (planícies e cumeeira) deste mesmo espigão, aliada a presença de outras formações com topografia de grande declividade no centro expandido e em outras áreas da capital, notadamente a margem norte do rio Tietê, apontam para uma clara tendência de novas linhas com grandes trechos com túneis profundos, principalmente, mas não somente, nas áreas mais centrais.

No dia a dia de trabalho da CMSP é comum escutar dos engenheiros e técnicos mais antigos que no início da companhia era mais “fácil” fazer as obras devido à ausência de resistência por parte da população às mazelas das obras, inibidas pelo regime autoritário vigente. A resistência queixada se concentra sobretudo em questões ligadas a interdições de viário, desapropriações e aprovações em órgãos ambientais. Com exceção da aprovação ambiental, que requer projetos bastante desenvolvidos e controle das obras, as dificuldades se apresentam, portanto, na execução de valas e seus impactos diretos e indiretos, principalmente em áreas centrais e de maior densidade construtiva, o que também pode ser mitigado com as construções de estações em túneis.

A partir da análise os itens expostos acima podemos determinar três grupos principais de estações:

3.2.1.1 TRECHOS EM ÁREAS DE RELEVO MONTANHOSO, E/OU COM MAIOR DENSIDADE CONSTRUTIVA E ALTO VALOR IMOBILIÁRIO.

Conforme descrito anteriormente, motivado por características topográficas típicas da região visada para linhas de metrô em São Paulo aliada à limitação técnica do greide máximo admitido pela modal adotado como já exposto no capítulo 1 que fazem com que as vias fiquem profundas, e pelos custos envolvidos nas desapropriação e interdições em áreas de maior densidade construtiva, existe a tendência de aumento da participação de estações profundas nas linhas futuras.

Estes são os típicos casos onde se torna inadequado o uso de VCA para receber toda a extensão da plataforma, e que vem sendo tratados com uso de túnel NATM aliados à poços secantes e túnel de ligação para acesso de passageiros e funcionalidades necessárias, conforme esquema na Figura 17.do capítulo 2.

O esquema padrão poço (s) secante (s) /túnel de ligação/túnel de plataforma já experimentado, com algumas variações, em diversas estações da CMSP tem grande potencial para padronização.

Figura 19 – Croqui com alguns esquemas das estruturas subterrâneas principais de estações com plataforma em túnel NATM: à esquerda estação com centro do poço no eixo da via e à direita estação com poço deslocado lateralmente.

Fonte: elaborado pelo autor.

Dentre as variações encontradas para este tipo de estação a principal se refere a posição dos poços secantes em relação ao túnel de plataforma, que tem principalmente duas disposições principais como apresentado na Figura 19.

Em algumas estações, como Hospital São Paulo e Santa Cruz (linha 5-Lilás) este encontra-se deslocado lateralmente, geralmente em um arranjo em que o túnel de plataforma se encontra sob a projeção do viário e os poços em um lote limpeiro à respectiva rua, demandando um túnel transversal ao principal para acesso plataforma/poço.

Em outras estações, como Butantã, o centro do poço se encontra no mesmo eixo da via, formando uma intersecção direta entre o túnel da plataforma e o poço, dispensando assim o túnel de ligação.

O esquema de circulação subterrâneo apresentado é bastante enxuto, minimizando as escavações, exigindo que parte do programa de necessidades demande uma construção externa, onde se localizam salas técnicas e operacionais. Geralmente um alargamento raso da vala é feito para acolher bloqueios, bilheterias, SSO e reservatório de água e, algumas vezes, ventiladores principais.

O túnel NATM que recebe a plataforma conta sempre com um mezanino sobre a via, por onde é feita a distribuição dos passageiros para as duas plataformas, o mezanino é o que viabiliza a evacuação da plataforma no tempo previsto pela norma NFPA-130, que a CMSP segue em seus projetos. É importante observar que neste tipo de estação não é comum a plataforma central, pois os dois túneis de vias singelas necessários não são indicados para este tipo de estação uma vez que seu emboque entraria em conflito com a geometria do NATM, enquanto o túnel duplo único tem seu emboque centralizado na caverna. Uma alternativa para estações profundas com vias em túneis singelos é o uso dos túneis singelos como pilotos para a execução de uma abóboda central. Esta solução, todavia, apresenta como deficiência a dificuldade de atingir altura suficiente para instalação de mezanino de distribuição e consequente dificuldade na capacidade de evacuação rápida dos usuários da plataforma.

No comparativo feito no capítulo 2 é possível notar que a dimensão do túnel NATM da plataforma não varia muito drasticamente, exceto quando, devido a expectativa de demanda alta, são projetadas ampliações laterais para receber escadas rolantes transversalmente à via, liberando as plataformas para circulação, como na estação Santa Cruz (Linha 5-Lilás).

É frequente a crítica dos usuários com relação ao tempo consumido no percurso das escadas rolantes neste tipo de estação, onde para vencer o desnível que a profundidade impõe são necessários vários lances de escadas rolantes, que ainda que sejam as mais rápidas disponíveis no mercado, tem sua velocidade limitada para a segurança de seus usuários. Motivado pelo impacto que o tempo despendido nas viagens diárias representam na vida dos passageiros de movimentos pendulares, os deslocamentos urbanos são medidos cada dia mais frequentemente em tempo e não em distância e os projetos tanto das redes e sistemas de transportes como estações devem atentar para isso.

Figura 20 - Croquis do edifício Illinois.

Fonte: Wright (1961, p. 199).

Outros sistemas de metrô do mundo que se valem de sistemas com estações profundas costumam utilizar elevadores de grande capacidade para atender ao desnível em velocidade compatível aos anseios dos passageiros, o que ainda não foi aceito no âmbito da CMSP. Alguns dos questionamentos por parte dos técnicos da CMSP a este modo de acesso é relacionado à capacidade de carregamento deste meio para estações de lotações do nível operado em São Paulo. O questionamento, todavia, se mostra equivocado em seus termos, uma vez que os elevadores, assim como trens, operam em vias segregadas e são modais que podem assumir arranjos para trabalhar em grandes capacidades. Já em 1956 Frank Lloyd Wright já propôs em seu “A Testament” o edifício “Mile High Illinois”, um arranha céu, não construído, de 1730m de altura e 528 pavimentos, representado em croqui na Figura 20 e para os deslocamentos verticais previu elevadores de cinco pavimentos (WRIGHT, 1961), configurando algo similar a uma composição ferroviária vertical, ou a um funicular vertical. O conceito de elevador de dois pavimentos ou “double-deck” se tornou uma realidade nas últimas décadas visando viabilizar os arranha-céus que vem sendo construídos como previu Wright. A fabricante suíça de elevadores Shindler Elevator Ltd conta inclusive com uma linha deste produto, “Shindler 7000” com catálogo disponível em seu site (SCHINDLER, 2011).

Vide glossário

Figura 21 - Croqui de esquema de circulação em estação profunda, com plataforma com túnel escavado em NATM e por TBM, com elevador *Double-deck*.

Fonte: elaborado pelo autor.

A adoção do *double deck* para o acesso vertical de passageiros em estações profundas se mostra adequada por diversas características:

- Reduz drasticamente o tempo gasto pelo passageiro desde a entrada na estação até o embarque no trem;
- Duplica a capacidade de transporte por área ocupada por elevador, auxiliando na rápida evacuação da plataforma e reduzindo a área do poço a ser escavado;
- Permite velocidades bastante superiores em relação às escadas rolantes para superação do desnível pelos passageiros;

- É conveniente à padronização de estações, uma vez que é mais flexível às diferenças de nível a ser superado que escadas rolantes, permitindo que as estações sejam iguais desde a plataforma até o nível abaixo do térreo, restando o ajuste a ser feito na superfície;
- Seu embarque em dois níveis, como apresentado na Figura 21 é perfeitamente ajustado tanto para o arranjo de mezanino sobre a plataforma, adotado nas estações profundas mais recentes da CMSP como para as plataformas sobrepostas, conforme tendência que vem se consolidando para estações profundas, conforme será esclarecido a seguir;
- A divisão de nível de elevador para cada plataforma, apresentada na Figura 21, ao mesmo tempo em que duplica a área disponível para evacuação das plataformas (a área de espera dos elevadores), permite dividir os passageiros por destino logo após os bloqueios na entrada da estação.

A constatação já evidenciada no estudo de caso da Linha 5-Lilás de que a tipologia da estação assim como o padrão de profundidade da via em que se insere tende a se prolongar por um longo trecho, nos permite especular sobre como tirar proveito desta constante nas tipologias utilizadas ao longo destes trechos.

No caso de estações profundas podemos notar como padrão que vem sendo utilizado o de túnel NATM interligado por poço, com algumas variações, como apresentado na Figura 19.

O cenário das obras brasileiras, onde a mecanização da produção encontra empecilhos, como o baixo custo da mão de obra, a incipiente produção de maquinário nacional e a alta taxação nas importações destes bens, nos levam a acreditar que esta metodologia ainda deve perdurar por algum tempo para construção de estações da CMSP. Algumas alternativas, todavia, já vem sendo utilizadas para construção mais mecanizada de túneis para receber plataforma.

O Japão, país que se notabiliza por mecanizar seus processos construtivos trabalha com diversas formas de máquinas tuneladoras, dentre elas existem máquinas para aumentar o diâmetro de túneis, tornando o processo de construção de cavernas mais seguros e econômicos alargando túneis existentes de forma que se torna possível receber a plataforma da estação (HONDA, YUASA, SUZUKI, 1991). Outra metodologia adotada pelos japoneses é a de *Multifaced-shield* que consiste na associação de mais de uma tuneladoras resultando em túneis com seções circulares secantes, permitindo assim o alargamento para plataforma.

Outra metodologia foi adotada para construção de estações profundas no metrô da cidade de Barcelona. Em um trecho da linha 9 da capital catalã, foi adotado um túnel de 12m de diâmetro onde a distribuição das vias se dá em dois pavimentos, sobrando espaço ainda para a plataforma das estações. Desta forma a parte mais longa da estação, a área de plataformas, tem sua estrutura construída de forma

Figura 22 - Perspectiva eletrônica das plataformas sobrepostas no túnel escavado por TBM na Linha 9 do metrô de Barcelona.

Fonte: Gisa (2010, p. 31).

mecanizada, por meio de tuneladora TBM, como mostrado na Figura 22. Com a metodologia os túneis passam a ter uma seção maior que a necessária para a passagem dos trens ao longo de toda a via, o que abre possibilidade de instalação nos subterrâneos, ao lado das vias, uma série de funcionalidades, tais como estacionamento de trens, o que reduz a necessidade de área para pátios, salas técnicas, rotas de fuga compartimentadas etc. O espaço remanescente fora da área das estações também pode ser utilizado para outras demandas infra estruturais da cidade, independentes do sistema de metrô, abrindo muitas possibilidades.

É importante ressaltar que o metrô de Barcelona trabalha com um carregamento menor que o de São Paulo. As composições de carros daquela rede possuem 86 metros de comprimento, enquanto as que rodam pela rede de São Paulo possuem 130 metros. Se levarmos em conta que em São Paulo trabalhamos com *headways* menores e lotação maiores fica claro que as plataformas em São Paulo precisam ser mais largas, demandando assim um túnel de diâmetro maior. Ainda especulando sobre a aplicabilidade deste modelo no cenário paulista, é necessário levar em consideração que o mezanino sobre as plataformas é concebido também para exercer um papel importante na evacuação destas em caso de emergência.

Vide glossário

Os projetos de estações mais recentes elaborados pela CMSP, obedecem a rigorosa normativa americana NFPA-130, que preconiza algumas exigências para evacuação de plataforma.

Dentre as principais exigências temos:

- Tempo máximo para evacuação completa da plataforma 4 minutos: **“Platform Evacuation Time.** *There shall be sufficient egress capacity to evacuate the platform occupant load as defined in 5.3.2.5 from the station platform in 4 minutes or less*”¹¹ (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2014, p. 14);
- Tempo máximo até que os passageiros atinjam área segura 6 minutos: **“Evacuation Time to a Point of Safety.** *The station shall be designed to permit evacuation from most remote point on platform to a point of safety in 6 minutes or less.*”¹² (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2014, p.14);
- Ao menos dois meios de saída de cada plataforma distantes entre si **“Alternate egress.** *At least two means of egress remote from each other shall be provide from each station platform*”¹³ (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2014, p.14). Dentro da configuração atual das estações profundas o mezanino sobre a plataforma exerce função fundamental para atendimento destas exigências, uma vez que possuem diversas escadas até as plataformas que recebem os passageiros e, ao mesmo tempo em que propiciam meios de saída suficientes para que se evacuem os passageiros em 4 minutos além de possuir diversos meios de saída distantes entre si. Ainda no mezanino é prevista que sua totalidade ou um trecho reúna características que conferem a condição de área segura, propiciando também o atendimento da exigência de tempo máximo de 6 minutos para que todos os passageiros cheguem à área segura.

¹¹ **“Tempo de evacuação da plataforma.** Deverá haver meios de saída com capacidade suficiente para evacuação da carga total de ocupantes da plataforma conforme definida no item 5.3.2.5, em tempo igual ou menor que 4 minutos” (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2014, p.14, tradução do autor)

¹² **“Tempo de evacuação para uma área segura.** A estação deve ser projetada para permitir a evacuação desde o ponto mais remoto da plataforma até uma área segura em tempo igual ou menor a 6 minutos” (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2014, p.14, tradução do autor)

¹³ **Saídas alternativas.** Devem existir pelo menos dois meios de saída, distantes entre si para cada plataforma” (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2014, p.14, tradução do autor).

A adoção da metodologia de túnel de largura única para área de via e plataforma, obviamente passa por uma avaliação multidisciplinar, com ênfase para as questões geotécnicas e de custos, mas podemos fazer uma análise dos aspectos funcionais do sistema em caso de adoção deste método.

Em primeiro lugar é preciso pensar no aumento da largura da plataforma, necessário como já foi colocado, que acarreta no aumento do diâmetro do túnel. Já foram feitas máquinas tuneladoras de até 17,45m de diâmetro, o que resulta em diâmetro útil interno maior que 15 metros, viabilizando assim larguras de plataforma mais adequadas à realidade paulista. Se julgarmos os diâmetros já atingidos por tuneladoras como já citado é possível manter a distribuição atual, com mezanino sobre as plataformas laterais, mas isso implica em uso de túnel de diâmetro maior que o utilizado para plataformas sobrepostas, se mostrando, portanto, esta a solução mais adequada.

Uma vez mantido o padrão de Barcelona, com plataformas sobrepostas passamos a ter problemas com a evacuação da plataforma em caso de emergência, pois a saída única central tem limites como já colocado anteriormente, mas estes limites podem ser equacionados se tirarmos proveitos das novas condições disponíveis.

As condições necessárias para configuração de área segura na região do poço contíguo aos túneis não são difíceis de obter, pois como há um estrangulamento entre estas duas estruturas na região do túnel de ligação, podemos dotar de portas de fechamento automático em caso de incêndio que possibilita a compartimentação da área, que com controle de fumaça pode ser considerada uma área segura.

Uma vez que cada plataforma vai contar com um “saguão” dentro do poço, a obtenção de área para receber os passageiros, já em área segura é possível.

O problema do tempo de evacuação, todavia, persiste, assim como as alternativas de meio de saída, que segue sendo única pelo parâmetro considerado. Para equacionar estes dois problemas é possível usar dois recursos que a metodologia proposta propicia:

Figura 23 - Croqui de planta com indicação, em vermelho dos meios de saída da plataforma para caso de emergência em estações de plataforma sobreposta.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- a. A metodologia de plataformas sobrepostas permite a compartimentação total entre os níveis de plataforma. Isso abre a possibilidade de usar, em caso de incêndio ou emergência, a plataforma do sentido contrário como rota de fuga e área segura. Para isso, é necessário que nas extremidades das plataformas sejam previstas escadas de ligação compartimentadas e pressurizadas, evitando assim entrada de fumaça, como apresentado na Figura 23. Estas escadas teriam as portas liberadas em caso de incêndio e criariam meios de saídas alternativos à saída central;

- b. No trecho de via, fora da área de plataforma, teremos uma área residual que como já foi dito pode assumir novos usos. Como se sabe, no trecho de via é necessário contar, além da via, com área para passarela de emergência e bandejamento para cabos. Em alguns sistemas onde não é possível dotar a via de saída de emergência intermediária entre as estações (um caso clássico é o túnel sob o Canal da Mancha), para segurança dos passageiros é previsto um caminho compartimentado, para onde passageiros provenientes de um eventual sinistro possa fugir de uma situação de incêndio em trem na via, ficando livres de contaminação. Propõe-se, em trechos entre estações onde a implantação de VSE não seja conveniente, que se utilize a área remanescente do túnel para execução de um corredor compartimentado, como apresentado na Figura 24, que sirva de meio de saída em caso de sinistro na via, para que o passageiro possa ir até a estação mais próxima e longe de riscos. Este corredor, que deve ser pressurizado para evitar contaminação por fumaça, também pode ser utilizado como saída de emergência das plataformas das estações adjacentes, produzindo assim mais um meio de saída para caso de incêndio na estação.

Figura 24 – Croqui de corte de esquema de túnel de via com corredor compartimentado para saída de emergência.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Vide glossário

A solução proposta de criação de corredor compartimentado paralelo à via rende, portanto, mais uma utilidade que pode auxiliar o equilíbrio de custos do túnel feito em maior diâmetro para acolher a plataforma, evitando desapropriações que podem ser caras e complexas para construção de VSEs. É importante lembrar que os VSEs têm o propósito de ventilação e saída de emergência, sendo o corredor uma forma de substituir a função de saída de emergência, que é o que determina a distância entre eles. Embora este não seja o foco deste trabalho, deve-se mencionar que a ventilação deve contar com estruturas de ventilação ligadas ao ambiente externo. Quando um VSE precisa ser suprimido, costuma-

se colocar jato-ventiladores paralelos às vias para potencializar o efeito do deslocamento de ar dos VSEs remanescentes, possibilitando que haja a troca de ar esmo com que os dutos de conexão externa estejam distantes entre si.

Outros programas que devem ser incorporados à área remanescente destes túneis são:

- Salas técnicas das estações: com exceção de usos onde a necessidade de ventilação direta com o meio externo é mais sensível, tais como GGD, que necessita de tomada de ar frio livre de risco de contaminação por fumaça e saída de escapamento e sala de baterias, que na sua composição contém materiais tóxicos voláteis e merece cuidados especiais para ventilação. Os transformadores, por sua dimensão e área circundante necessária, também merecem estudo aprofundado para verificar a viabilidade da instalação no túnel. Os demais equipamentos, por sua vez podem ser instalados em linha, sendo que uma continuação do porão de cabos da plataforma pode avançar ao longo do túnel alimentando diretamente estes equipamentos por baixo, reduzindo caminhamento de cabos, assim como eram projetadas a maior parte das salas técnicas na Linha 1-Azul;
- Estacionamento de trens: como já citado anteriormente, este uso irá evitar a construção de unidades construtivas inteiras que sempre precisam ser planejadas ao longo das linhas, além de poder reduzir a área de pátio, que a cada dia representa um problema mais sensível devido à escassez de áreas de dimensões necessárias para este uso. O uso como estacionamento irá impactar, portanto, na redução de desapropriações e também na redução de unidades construtivas.

Motivado por todos os aspectos elencados anteriormente, as estações profundas tendem a se tornar cada vez mais frequentes nas novas linhas de metrô de São Paulo, tendo trechos inteiros feitos neste sistema, sobretudo na área do centro expandido, o que, aliado à tendência de mecanização das obras, deverá justificar a adoção de túneis de via escavados com TBM largos o suficiente para receberem as plataformas das estações.

As estações feitas com plataforma em túnel podem, portanto, serem padronizadas, acrescentando confiabilidade em qualidade de projeto e, consequentemente, em custos e prazos, permitindo o projeto de trechos inteiros com a metodologia de TBM para via e plataforma, além de usos paralelos como mencionado. A metodologia de NATM para construção da caverna da plataforma não deixará de ser adotada, sendo lembrada em situações específicas, como estação profunda isolada em meio a trecho de estações rasas e para casos especiais de estação de conexão de linha e de grande capacidade. O ajuste de ambas soluções à trama urbana se dará na no nível da rua e dois níveis abaixo.

3.2.1.2 TRECHOS EM ÁREAS DE RELEVO MAIS PLANO E COM MENOR DENSIDADE CONSTRUTIVA.

São as áreas onde se viabilizam as estações em VCA, como no exemplo do trecho principal da expansão da Linha 5-Lilás.

A grande incidência de zonas estritamente residenciais e bolsões de menor densidade no centro expandido de São Paulo, assim como áreas periféricas, muitas vezes atravessados por planos de novas linhas propiciam situações como esta. Vale lembrar que há a tendência para o adensamento destas áreas após a construção da infraestrutura de transporte e a área sobre a vala é um importante estoque tanto para equipamentos públicos como praças para atendimento da comunidade do entorno.

A menor densidade indica maior distância entre as estações e sugere que o tratamento do trecho seja o tradicional túnel/VSE/estação.

O túnel, que já possui tratamento padronizado e, uma vez que adotamos a premissa de padronização do modal, evitando a necessidade de alteração de seu diâmetro, poderemos adotar uma padronização de suas estruturas internas: via permanente, passarela de emergência, bandejamento, iluminação e sistema de combate à incêndio.

O VSE Também poderá receber tratamento padrão de projeto, uma vez que as diferenças de distância do eixo e do poço e eixo do túnel alteram apenas a extensão do túnel de ligação e a profundidade do poço variável altera o número de lances de escada. Uma variação é necessária quando o poço se encontra no eixo do túnel de via, e este se engarrafa para derivação das circulações verticais para os dois lados da via

A situação de estação em VCA disposta em meio a túnel de via escavado por tuneladoras é encontrada em diversas estações da expansão da Linha 5-Lilás como apresentado no capítulo 2 e de onde podemos colher informações visando parametrizar projetos com estas características e de onde podemos tirar exemplos que amparam os parâmetros aqui colocados.

Nos últimos projetos de estações com plataforma em VCA, sobretudo na própria extensão da Linha 5-Lilas, se consolidaram duas matrizes geométricas principais para o sistema de contenção: retangular e de cinco poços secantes, que são usados conforme as condições do sítio. Como já verificado no capítulo 2, o sistema de poços secantes, devido à geometria que forma uma sucessão de arcos dispostos na horizontal permite maiores extensões de parede sem escoramento. Uma vez que a modulação dos ecoramentos por estroncas significam um importante definidor para o layout das estações, pois determina, principalmente posição e dimensão de escadas rolantes, entendemos que o distaciamento das estroncas deve ser uniformizado em todas as estações, viabilizando assim a padronização

do layout. Para definição do distanciamento entre eixos das estroncas sugere-se que se utilize metade da distância dos eixos de estroncas de estação de cinco poços secantes, como apresentado na Figura 25, que resulta em distancia levemente maior que a que costuma ser praticada nas estações de vala regular (ver Tabela 2 no capítulo 2). Desta forma, além de contemplar ambas geometrias, favorecendo a busca por layout padrão, cria-se uma modulação adequada as escadas rolantes. A tímida variação apresentada na Tabela 2 do capítulo 2 nos faz perceber que a padronização proposta é factível.

Figura 25 - Croqui de planta esquemática de estações em vala com geometria retangular e de cinco poços secantes. Modulação dos eixos das estroncas com múltiplos similares para as duas geometrias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra característica, abordada no capítulo 2 para as estações feitas nesta metodologia construtiva é a localização das salas técnicas, no subterrâneo ou em edifício cujo propósito exclusivo é receber este programa. A análise feita naquele capítulo elenca diversas vantagens para a locação das salas técnicas dentro da vala, desde o aproveitamento do espaço já escavado até a lógica de distribuição de cabos, feita de maneira mais direta quando as salas técnicas ficam mais próximas dos túneis de via, de onde a maioria dos cabos vem e vão. As salas técnicas no subsolo ainda preconizam o uso da via para transporte dos dispositivos que a equipam, colaborando com a filosofia de evitar o suporte rodoviário para a logística do metrô sempre que possível, proposta neste trabalho. Os argumentos para a implantação das salas técnicas em edifício externo são, portanto, superados pelos contrários e passamos a considerar a incorporação destas salas no programa subterrâneo das estações em VCA como diretriz para projeto e programa das estações padronizadas propostas.

Desta forma temos um conjunto de diretrizes para estações que permite desenvolver um projeto de estação padrão em VCA que pode atender trechos onde esta se mostre a alternativa mais adequada econômica e tecnicamente, sendo a

interface com o exterior- posição de acessos, último lance de circulação vertical (para ajuste da profundidade), saídas de ventilações, paisagismo e urbanização -os pontos a serem customizados conforme o sítio.

3.2.1.3 ESTAÇÕES DE CONEXÃO E/OU DE GRANDE DEMANDA

Estações de grande demanda, em especial as que contam com conexão com outras linhas, possuem necessidades particulares para suas circulações, para que atendam às exigências legais e para que sejam providas de conforto para seus usuários. Tais especificidades impedem que recebam o mesmo tratamento proposto para as estações padronizadas.

Deverão ser elaborados, portanto, projetos específicos que se aprofundam em características da relação entre a (s) Linha (s) e todo o entorno, propiciando conforto nas conexões. No caso de estações antigas que passem a fazer parte dos planos de integração com novas linhas, o projeto deve avaliar a necessidade de contar com a ampliação de plataformas e meios saída e conexão não previstos em seu projeto inicial, mas necessários com o aumento de demanda projetado.

A tendência é que a maior parte das estações com estas características se localize na região do centro expandido, que, seguindo a estratégia colocada nesta dissertação, também tem maior vocação para receber trechos de túnel com vias sobrepostas, o que oferece a vantagem de permitir plataformas bilaterais, desejáveis para situações em que se espera grande movimentação de embarque e desembarque, permitindo maior rapidez na parada dos trens e organização nos fluxos de passageiros em conexão.

3.2.2 HIERARQUIZAÇÃO E SEPARAÇÃO DOS ELEMENTOS QUE COMPÕE AS ESTAÇÕES.

O projeto de uma estação de metrô é composto de diversas disciplinas que se entrelaçam para resultar em uma edificação operativa dentro de um sistema de transporte. A soma de seus elementos resulta em uma trama bastante complexa, que torna seu projeto e sua obra algo que requer muita interação entre diferentes equipes, especialistas em variados temas.

As iniciativas que trazem a independência entre os elementos construtivos e disciplinas que a compõem são bem-vindas e possuem potencial para simplificar e consequentemente baratear projeto e obra. Os elementos que compõem as estações diferem entre si em muitas características que, a longo prazo se mostram incompatíveis.

As experiências pregressas adquiridas na operação das estações construídas em São Paulo ao longo de mais de 40 anos mostram que algumas interações previstas em projeto tornam a atualização, pressuposta em um organismo dinâmico como é o sistema de metrô, difícil e algumas vezes impraticável. Estes conceitos

ficam claros quando observamos as escultóricas lajes de cobertura projetadas pelo Arquiteto Marcello Fragelli na Linha 1-Azul, cobertas por conduítes metálicos, correndo em todas as direções. Se evidencia ali que apesar da estrutura de concreto que deve continuar recebendo a função de estação por muito tempo, outros elementos, como comunicação visual, acabamento, iluminação e outros sistemas tem vida útil menor e entram cada um, em prazos diferentes, em obsolescência. Ross (2010) em seu *“Railway Stations – Planning, design and management”* inicia o seu livro com o seguinte paragrafo:

Stations are permanent assets, and often survive into old age. On the London Underground network, Some 12 per cent of the 247 stations operated are over 100 years old and 37 per cent over 50 years old. The assets of main-line companies may be even older.”¹⁴(ROSS, 2000, p. 3)

¹⁴ “Estações são estruturas permanentes e, frequentemente, sobrevivem por muito tempo. Na rede de metrô de Londres, cerca de 12% das 247 estações em operação tem mais de 100 anos e 37% tem mais de 50 anos. Estruturas de empresas de trem podem ser ainda mais antigas” (tradução do autor).

Ross (2000, p. 6) sugere a aplicação de um conceito elaborado pelo arquiteto britânico Frank Duffy, que propõe uma divisão das obras em 6 camadas, cada um com um diferente período de vida, e as denominou de “6 Ss”, cada “s” representando uma camada, que cito em ordem decrescente de longevidade: *Site* (lugar), representando a localização geográfica, de caráter eterno; *Structure*, a estrutura); *Skin*, pele – incluem-se cobertura e fechamentos externos; *Services*, tubos, cabos e dutos; *Space plan*, que podemos chamar de layout, incluem-se paredes internas, bilheterias etc; e *Stuff* os mobiliários, equipamentos e estruturas avulsas, com menor expectativa de duração. A divisão proposta, embora seja moldada para a realidade britânica, nos traz referências para uma proposta voltada para a realidade de São Paulo.

Visando evitar conflitos, tanto em projeto e obra, como na vida útil da estação, propomos a busca da independência entre elementos, permitindo flexibilidade, como descrito a seguir.

3.2.2.1 ESTRUTURA DE CONTENÇÃO

Como ponto de partida para a hierarquização dos elementos, propõe-se tornar o mais independente possível a estrutura de contenção. Esta parte da construção é o que deve ter a vida útil mais longa e seu entrelaçamento com as demais estruturas deve se restringir ao mínimo. A redução da dependência deste elemento dos demais pode, ainda, confirmar uma distinção existente no escopo civil entre obra bruta e obra de estruturas internas e acabamento.

A obra bruta, composta pelas estruturas de contenção, por sua natureza atrelada a parâmetros geotécnicos que são bastante variáveis e com previsibilidade restrita, oferecem variações de custo e prazo de obras, cujo isolamento dos demais é conveniente para a gestão transparente do empreendimento. É comum em palestras e encontros de geotécnicos a discussão acerca da inadequação do regime de contratação por licitação e sua respectiva legislação para as obras de geotecnia, por suas variáveis não contempladas nas premissas das leis vigentes.

Alguns engenheiros deste ramo trazem informações sobre regimes especiais de contratação voltados para este tipo de obra nas legislações vigentes de outros países. Na prática das construções de linhas, quando encontradas adversidades que resultem em maiores custos para obra, uma das soluções encontradas é a realização de nova licitação para contratação das demais obras para finalização do empreendimento, o que poderia ser feito desde o planejamento inicial.

Para reduzir a interdependência deste elemento com os demais, propomos que as estruturas de contenção sejam divididas em profundas, onde a interferência deve ser mínima ou nenhuma, e rasa onde há a necessidade de ajustes na volumetria interna caso a caso para adequação às condições da trama urbana local e de condições específicas de cada estação.

As estruturas profundas são as que recebem maior esforço de empuxo e representam a maior parte da estrutura de contenção.

Em consonância com a proposta de padronização das estações, propõem-se que as estruturas de contenção tenham seu lado interno à estação, em sua porção profunda com dimensões e proporções padronizadas e sem reentrâncias, tendo como exceção eventuais emboques de túneis para eventuais acessos secundários.

Para absorver as variações de esforços oferecidas pelas características do solo local, as variações das paredes de contenção devem ser calculadas com este parâmetro e suas variações dimensionais devem ficar restritas ao lado externo da estação, mantendo a volumetria destinada aos arranjos de layout sem alterações.

As estroncas, outro conjunto de elementos que pode sofrer variações devido aos diferentes esforços a que as paredes de contenção são submetidas conforme as características do local em que se inserem, devem possuir dimensão máxima padronizada, adequada às necessidades de pé direito e devem possuir toda a sua zona neutra vazada por furos em toda sua extensão, com distanciamento padronizado, dispostos de forma a permitir as mais variadas combinações de passagem

Figura 26 – Croqui de corte esquemático para definição das estruturas de contenção rasas e profundas nas estações em VCA e nas estações profundas. A linha tracejada vermelha limita as áreas rasas e profundas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

de cabos e dutos, evitando a necessidade de estudo específico para passagem de dutos e tornando o volume formado entre as vigas útil para a distribuição de dutos e cabos. Os furos regulares e constantes nestas estruturas fazem com que sejam incorporados ao desenho de suas fôrmas independentemente da configuração do projeto de sistemas o que torna simples o projeto e flexível sua utilização

O cálculo destas estruturas sempre será individualizado, para que possa levar em consideração as características locais levantadas em sondagens e as cargas advindas das estruturas de contenção rasas e laje de cobertura, que podem variar. Deve ser considerado para o cálculo destas estruturas, de forma padronizada, a carga de laje sobre as estroncas, além das cargas de estruturas internas a serem executadas e cargas incidentes provenientes do material rodante.

As estruturas de contenção rasas, por sua vez, deverão fazer os ajustes necessários para a adequação do layout das estações às características locais da topografia, terrenos disponíveis, possibilidades de aberturas de ventilação, acesso e trama urbana presente, conforme divisão proposta em croqui ilustrado na Figura 26. Os espaços internos às estruturas rasas terão, portanto, arquitetura própria e individualizada.

3.2.2.2 ESTRUTURAS INTERNAS

As estruturas internas da estação, embora tenham mais possibilidade de alteração ao longo do tempo, também são projetadas para possuir uma vida útil longa, ultrapassando um século. Por possuir expectativa de duração tão longa e estar em contato mais próximo dos demais elementos construtivos e usos das estações deverá ser projetada de forma a oferecer maleabilidade e adaptabilidade que permitam mudanças previsíveis nas estações ao longo do tempo.

As estruturas internas, que serão suporte para modelos de estação padrão, deverão funcionar como chassis que permitam a instalação, ou não de equipamentos e estruturas menores conforme a necessidade que a estação apresentar em seu lugar e época.

Um exemplo deste conceito são as estações da CMSP que foram projetadas com suas estruturas preparadas para receber novas escadas rolantes caso a demanda de passageiros passe a justificar isso em algum momento.

As estações são projetadas a partir de dados oriundos de pesquisas feitas pela CMSP que estimam a demanda de passageiros que devem usar cada estação. Estes dados, porém, são dinâmicos e sensíveis a variáveis que estão fora do controle do planejamento da CMSP, tais como alterações em leis de zoneamento, gerando maior ou menor densidade, instalação de equipamentos geradores de demanda, cenário econômico, preço de bilhete etc. A previsão de aumento do número de usuários é prudente e deve ser adotado, principalmente para a concepção de modelos de estação padrão a serem utilizados em variados locais.

Outra situação identificada que as estruturas internas devem permitir maleabilidade são os furos em laje entre áreas de salas técnicas e porão de cabos. Os porões de cabos exercem a função de ambiente para distribuição de cabos para que estes cheguem por baixo nos respectivos equipamentos nas salas técnicas. Os equipamentos presentes nas salas técnicas variam em quantidade e dimensão, conforme a estação e conforme a geração dos mesmos. A compatibilização destes furos em laje sempre é um desafio no momento da elaboração do projeto de formas e armação. A proposta é que sejam feitas valas ao longo de toda a sala no alinhamento onde se pretende colocar os equipamentos, de forma que estas valas sejam cobertas por equipamentos, e por placas modulares retiráveis (que devem ser resistente ao fogo para compartimentação e não condutoras) onde não houver necessidade de passagem de cabos. Esta metodologia pode resolver a passagem de cabos na maioria das salas, com exceção da sala do GGD, Trafos e baterias, que contam com características próprias com demandas específicas.

O trecho de ajuste entre subterrâneo e parte afluída da estação também necessitará de maleabilidade e as estruturas internas deverão contar com previsão desta transição.

3.2.2.3 ACABAMENTOS DA ESTAÇÃO

Depois de tratar as estruturas, de contenção e internas, devemos passar para os elementos que fazem a interface direta com os usuários, a distribuição dos espaços, materializada pelos vãos e acabamentos. Diferente das estruturas, esta categoria de elementos pode passar por renovações e adequações em prazos menos longos. A distribuição de espaços determinará todo o funcionamento da estação e é impossível tratar dos elementos que compõe a estação sem levar em consideração o contexto de projeto em que é colocado. A principal função exercida pelos vãos é acabamento é a de fazer com que a interface da estação com o passageiro se dê de forma segura, agradável e confortável. As características buscadas para estes elementos devem visar exercer bom desempenho nestas três qualidades, além de qualidades indiretas, como facilidade de operação e manutenção, para atingir a excelência em suas qualidades diretas.

A maior parte das características necessárias para o desempenho direto dos acabamentos já consta dos manuais e especificações técnicas da CMSP, além da legislação e normas vigentes, bastante rigorosas para questões de segurança e acessibilidade.

Alguns novos parâmetros, porém, podem ser acrescentados para que o projeto considere a assimetria de vida útil de seus diferentes componentes e possibilite renovações futuras assegurando uma maleabilidade que também permitirá a padronização do projeto das estações. O suporte aos sistemas envolvidos no projeto das estações, tanto cabos e dutos como equipamentos, também é um papel desempenhado em parte pelos acabamentos. Os elementos de sistemas,

por sua vez, possuem um período de validade, e necessidade de acesso para manutenção que demanda uma atenção por parte dos elementos nos quais se apoiam ou são instalados.

Como já colocado nesta dissertação, entendemos que devem ser evitados furos e embutidos em concreto, com exceção daqueles que componham a padronização da estrutura, os vedos e acabamentos podem assumir parte da função de garantir a passagem de cabos, eletrodutos e tubos hidráulicos, de forma a possibilitar fácil acesso de manutenção e segurança aos passageiros que embarcam e desembarcam na estação e dos funcionários que ali trabalham.

Mais do que uma escolha de material, a boa distribuição de cabos e tubos é fruto de uma estratégia projetual que leva em consideração os sistemas envolvidos e suas necessidades desde a distribuição do programa de necessidades até o desenho dos elementos que viabilizam de forma otimizada caminhamentos de dutos, tubos e cabos.

A distribuição de cabos de uma estação pode ser dividida em dois percursos principais:

- O percurso túnel/salas técnicas: é a interligação da estação com a rede, por ali passam cabos de alimentação, comunicação, etc. São ligações robustas, que necessitam poucos, mas grandes caminhamentos;
- O percurso salas técnicas/equipamentos: são as ligações internas da estação. Conta com ligações robustas, como a ligação até SSO ou escadas rolantes, mas também conta com todas as ligações mais ramificadas, distribuindo de energia e diversos tipos de sinais por toda a estação.

A estratégia de aproximar as salas técnicas do porão de cabos da plataforma, como proposto anteriormente para as estações tipo, ao mesmo tempo em que otimiza a ligação das salas com a rede, aproxima o centro de distribuição de cabos aos equipamentos, reduzindo também este percurso, e sua adoção, sempre que houver espaço disponível, é positiva.

Como resposta às demandas de passagens de cabos e tubos para que estes saiam da área de salas técnicas e cheguem até seus destinos finais nas estações, propomos a definição de elementos padrão que provenham a estações de planos paralelos às lajes e às paredes principais das estações, com mesmo raciocínio funcional de um porão de cabos, interligados verticalmente por prumadas verticais, sempre oferecendo acesso para manutenção. Estas ligações, desde que desenhadas também com este intuito, possuem potencial de desempenhar a função de distribuição hidráulica, para água fria, rede de hidrantes e esgoto.

Uma vez que as circulações devem ter preferência nas decisões de projeto de uma estação, as prumadas verticais devem concentrar em seu entorno os con-

troles de equipamentos e terminais de sistemas necessários nas áreas públicas, tais como hidrantes e quadros de controle de escadas rolantes, de forma a liberar as passagens ao redor.

Devem ser previstos, portanto, elementos padrão de prumadas de ligação do porão de cabos da plataforma até porão de cabos das salas técnicas, para ligação entre túnel e estação. Para as demais ligações, devem ser previstos acabamentos removíveis padrão nas paredes até a altura que impeça o contato direto dos usuários com os dutos, tais como existente nas estações da Linha 1-Azul, forros de fácil acesso nas áreas de passagens de cabos e prumadas para passagens verticais. Nas estações em VCA, onde as estroncas representam importante obstáculos para as passagens longitudinais, devem ser previstas prumadas padrão para utilização nos vãos entre elas, que deverão contar com subdivisão para acondicionamento também de utilidades hidráulicas que em alguns casos operam com a gravidade, caso dos dutos de esgoto até o respectivo poço, e não devem percorrer grandes distâncias horizontais.

Para o melhor desempenho, a ocupação dos pavimentos também deve levar em consideração a distribuição das utilidades de sistemas. Algumas peculiaridades devem ser consideradas:

- Devem ser evitadas situações passíveis de manutenção diretamente acima da via permanente e plataforma, por sua dificuldade de acesso. Devem ser evitados, portanto, áreas molhadas nestas regiões. O mesmo vale para áreas acima de escadas, escadas rolantes e pés direitos muito altos, a não ser que seja provido de passarela de manutenção;
- Deve ser avaliada a necessidade de pés direitos altos e, quando adotados, o projeto de arquitetura deve prever solução para instalações de iluminação, comunicação visual e demais utilidades necessárias de forma a permitir a manutenção de forma segura atendendo legislação trabalhista vigente.

A avaliação do tempo de vida que deve cumprir na estação deve ser aplicada para os mais diversos elementos, visando a facilidade na substituição ou eliminação futura.

Um bom exemplo da dinâmica e mutação de usos ao longo do tempo são as bilheterias. Sempre presentes nos projetos, ao longo do tempo elas foram se modificando: em determinado momento, passaram a ser blindadas, o que obrigou uma reforma em diversas estações existentes para adequação, quando foram adotadas bilheterias construídas em concreto armado e com frente de aço e vidro blindado. Com o advento do bilhete único, as estações passaram a receber novas bilheterias, montadas em containers e operadas por empresas terceirizadas, que convivem com as tradicionais, que só vendem bilhetes de papel. Surgiram também as máquinas de autoatendimento para recarga de bilhetes e terminais de consulta, e para todos estes equipamentos foi necessário providen-

ciar a infraestrutura, inexistente inicialmente. As novas bilheterias, de empresas terceirizadas, oferecem bem menos conforto aos seus funcionários, o que além de ser um problema por si só, gera uma assimetria entre os trabalhadores que convivem. Existe uma tendência que aponta para virtualização dos pagamentos, o que tornaria toda a estrutura obsoleta. Este caso ilustra a necessidade da avaliação do tempo de vida que cada elemento deve cumprir e a responsabilidade do projetista em propor soluções que permita a dinâmica de mudanças para as estruturas acessórias.

Para os elementos isolados e estruturas acessórias o uso sistemático de projetos padronizados permite além da facilidade de execução e também maior facilidade de manutenção. A preferência por elementos que permitam a sua “desinstalação” futura também é importante, prevendo assim sua manutenção e eventual manutenção. Isso é válido para uma gama variada de elementos como bancos, luminárias, hidrantes, bilheterias, etc.

3.3 INDUSTRIALIZAÇÃO NA EXECUÇÃO E LOGÍSTICA DA CONSTRUÇÃO DA REDE DE METRÔ EM SÃO PAULO

A execução de um sistema industrializado para construção de uma rede vasta como se almeja para o metrô de São Paulo, demanda além de medidas de projeto dos elementos e unidades construtivas, medidas de logística, afinal a abrangência e a natureza da obra fazem com que a cidade toda se torne o canteiro, ou uma indústria.

O suporte rodoviário, cujas fraquezas apontadas para o transporte de passageiros também pode se transformar em um empecilho para o sucesso da empreitada ao mesmo tempo que o transporte de carga por meio de caminhões pode representar um grande impacto negativo para a vida urbana.

3.3.1 A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

Estudando obras urbanas de grande escala pelo mundo encontramos exemplos bem-sucedidos de segregação da logística envolvida na obra com das demais atividades urbanas, geralmente por meio alternativo ao rodoviário, como fluvial ou ferroviário, oferecendo assim melhor desempenho energético e maior capacidade de transporte.

Um caso emblemático é o da reconstrução da *Potzdamer Platz* em Berlim (1993-1998), feita como parte da reunificação da cidade após o período de guerra fria.

A reconstrução da *Potzdamer Platz* foi um projeto de reabilitação urbana incluindo a construção de uma série de edifícios ao redor de uma praça, a construção de uma estação subterrânea de trem e um túnel ferroviário, tudo a poucos metros do portão de Brandemburgo no coração de Berlim totalizando um orçamento de 5,6 bilhões de dólares à época, entre os anos de 1993 e 1998. Considerado “maior canteiro de obras intraurbano da Europa” (MAIER, 1997), o sucesso da

empreitada, que envolvia tantas construções ao mesmo tempo em meio a uma região já densamente construída, dependia diretamente da logística. Wilhelm Maier, diretor do centro de logística implantado para conduzir a obra, afirma:

So many projects being built so near to each other, above and below ground, creates more than merely technical problems. The logistical side of Europe's biggest inner-city construction site also requires considerable attention. Truly huge quantities of excavated soil, concrete and construction materials have to be transported from or to the site in the heart of the city. Conventional transport by trucks would inevitably cause a total traffic breakdown in central Berlin.¹⁵ (MAIER, 1997, p. 233)

¹⁵ “Muitos projetos sendo construídos tão perto um do outro, acima e abaixo do solo, criam mais do que simples problemas técnicos. O lado logístico do maior canteiro de obras intraurbano da Europa também requer especial atenção. Enorme quantidade de solo escavado, concreto e materiais de construção precisam ser transportados desde o coração da cidade ou até ele. Transporte convencional por caminhões causariam inevitavelmente o total colapso no trânsito do centro de Berlin” (MAIER, 1997, p. 233, tradução nossa)

Figura 27 - distribuição do canteiro de obras da Potsdamer Platz com estrada interna e centro de logística.

Fonte: Maier (1997, p. 234).

Para equacionar o problema, foi erguido um centro de logística único, conforme a Figura 27, por onde entrava e saía o material relativo à construção através de uma ferrovia e uma hidrovia, que conectavam o sítio da obra até os arredores da cidade: *“The construction sites at Potsdamer Platz can only be accessed via the logistics centre. Like an island. It is almost exclusively connected to the outside world by rail and water.”*¹⁶ (MAIER, 1997, p. 234). A partir deste centro de logística, foi feita uma estrada interna e exclusiva à obra de 2,5km, que incluía pontes para não interferir no trânsito das vias existentes e com acesso a todas as construções. A logística percorria, portanto, o caminho: hidrovia ou Ferrovia/ centro de logística / edifício ou túnel ou estação em construção e a logística reversa seguia o caminho contrário. Para a retirada de terra escavada, a hidrovia carregava 600 toneladas por hora, o que significa de 3000 a 4000 toneladas por dia.

¹⁶ “Os canteiros de obra da Potsdamer Platz só podiam ser acessados pelo Centro de Logística. Como uma ilha. Era quase exclusivamente conectado com o mundo exterior por via férrea ou aquática” (MAIER, 1997, p. 234, tradução nossa)

O projeto Crossrail em Londres, atualmente em construção, que visa integrar os sistemas de trens periféricos da região metropolitana londrina através de uma rede de 42km de túneis singelos que cruzarão a área central da cidade buscou estratégia semelhante e fez a maior parte de sua logística reversa por meio fluvial ou ferroviário: *“[...] 80% of excavated material has been transported by rail or water significantly reducing lorry journeys in the streets of London”* (CROSSRAIL, 2016).

A adoção de alternativas não rodoviárias, sobretudo para a solução da logística reversa para obras subterrâneas como as citadas, traz consigo a redução de um dos principais componentes do custo desta natureza de construção, o transporte de terra. A otimização da logística, portanto, permite alterar a perspectiva pela qual se concebem sistemas subterrâneos, tornando mais acessíveis soluções com volumes escavados maiores, como túneis de maior diâmetro.

3.3.2 O CRUZAMENTO DE PLANOS PARA SÃO PAULO

O órgão governamental responsável pelo transporte de cargas da RMSP é a Secretaria de Logística e Transportes do Estado de São Paulo (SLTSP). Os estudos desta secretária diagnosticam que, assim como ocorre no âmbito de transporte pendular de passageiros, o transporte de cargas por meio rodoviário na região também está próximo do colapso.

A Macro metrópole Paulista, formada pela RMSP e demais regiões metropolitanas do estado (Baixada Santista, Campinas e Vale do Paraíba), concentra 50% da circulação das cargas do estado de São Paulo (SECRETARIA DOS TRANSPORTES DE SÃO PAULO, 2002), conforme demonstra a Figura 28.

Dentre as ações previstas no planejamento futuro da SLTSP está a construção de uma série de obras, tais como eclusas e represas que permitam a navegabilidade dos rios Tietê, Pinheiros e outros corpos d'água contíguos a estes, viabilizando o transporte de cargas urbanas por via fluvial. Este plano é denominado Hidroanel Metropolitano.

Figura 28 – Demanda atual de transporte – polarização na Macrometrópole.

Fonte: Secretaria dos Transportes de São Paulo (2002, p. 23).

Figura 29 - Mapa dos Municípios da RMSP beneficiados pelo Hidroanel.

Fonte: Grupo Metrôpole Fluvial (2012, p. 9).

A configuração geográfica do Hidroanel Metropolitano (Figura 29) tem um importante aspecto em comum já estudado neste capítulo: a convergência de seus dois principais rios, Tietê e Pinheiros, formam a maior parte do contorno do centro expandido, por onde passam a maior parte das linhas nos diversos planos já apresentados. O limite representado pelo contorno do centro expandido também representa em muitos casos a alteração de densidade e topografia, que justifica a troca de metodologia para construção de estações e túneis, como já proposto anteriormente neste capítulo.

Diante do caráter linear das obras de túneis por *Shield*, propomos que, sempre que as condições geológicas permitirem este tipo de planejamento, as novas linhas de metrô tenham seus túneis embocados a partir de pontos junto aos principais rios de forma que a terra proveniente de suas escavações, que percorrem o trecho já feito do túnel através das esteiras rolantes, passem a ser transportadas por via fluvial.

Figura 30 - Diagrama do Hidroanel na RMSP e a divisão de três sub-sistemas.

Fonte: Grupo Metrôpole Fluvial (2012, p. 41).

O planejamento do Hidroanel Metropolitano, como apresentado na Figura 30 prevê uma subdivisão em três subsistemas, cada qual com uma plataforma logística multimodal, denominada Triporto, em um cruzamento entre rodovia, ferrovia e hidrovia, garantindo flexibilidade no transporte das cargas. O Triporto Carapicuíba, localizado no subsistema Carapicuíba, que deve ser o primeiro trecho a atingir a navegabilidade, coincide com a área de descarte de terra proveniente das obras atuais de escavação de túneis de metrô de São Paulo, a cava de Carapicuíba. Atualmente, portanto, a terra escavada dos túneis sai dos canteiros da CMSP e segue até esta região embarcada em caminhões.

A estratégia de localizar os emboques no limite do centro expandido traz ainda a possibilidade do uso das ferrovias para escoamento de terra e chegada de material para a obra, uma vez que, como já foi tratado nesta dissertação, a área de várzea dos rios, por sua característica de planície, recebeu as ferrovias que atendem a capital paulista.

A redução do custo de transporte e a redução do impacto ambiental proporcionado pela alteração da matriz de transporte permite ainda planejar, de forma economicamente sustentável, a reutilização da terra proveniente da escavação. Situações de manejo ambiental ou sua utilização como insumo para produção de bens, como blocos para construção civil, se tornam possíveis, uma vez que seria possível chegar a pontos mais distantes sem o alto custo do transporte rodoviário. As experiências do projeto Crossrail e da remodelação da *Potsdamer Platz*, que deram este tipo de destinação para sua terra nos prova ser possível.

A criação de um viário segregado para transporte de carga com acesso direto para ao poço de ataque dos túneis escavados por *Shield*, e com capacidade de transportar grandes volumes, como representam a hidrovia e a ferrovia, torna possível ainda a criação de um retro-canteiro de obras permanente, com instalações de fábrica de pré-moldados, depósito, centro de logística etc. O retro-canteiro permite conferir a característica de indústria para a construção da infraestrutura de metrô, tendo sua linha de montagem ao longo de toda a metrópole e, graças ao sistema de logística previsto, com o impacto sobre a vida urbana mitigado.

Propomos que parte da área do Triporto Carapicuíba seja destinada a este uso.

Figura 31 - Diagrama de logística e logística reversa proposto (São Paulo, SP).

Fonte: Gabarra (2014, p. 25).

Em trabalho anterior Gabarra (2014), **já** especulava sobre sistema que buscava a sinergia entre os planejamentos de transporte de passageiros e de cargas na RMSP, como apresentado na Figura 31. As propostas e parâmetros projetuais para estações e **túneis de via, apresentados** neste capítulo, ampliam as vantagens do alinhamento da implantação destas infraestruturas de transporte. A seguir temos alguns aspectos onde isso ocorre:

- Como já citado, a via segregada para o transporte de carga nos rios Tietê e Pinheiros concorda geograficamente com a situação diagnosticada neste capítulo onde costuma ocorrer mudança de densidade construtiva e de relevo e, portanto, onde se propõe mudança de tipologia de estação/túnel de via de trecho de linha. Desta forma configura-se local ideal para emboque de máquinas tuneladoras para escavação nos dois sentidos (centro/periferia) cada uma com diferente característica;
- A proposta de utilização de túneis de diâmetro maior, como preconizado para as áreas mais densas, tem seus custos mitigados com a troca de modal para logística reversa da terra escavada;
- A utilização de túneis largos para via e plataforma nas áreas mais densas reduzem a retirada de terra descentralizada ao longo dos canteiros, restringindo a influência do canteiro local à escavação do poço e túnel de ligação, deixando menos caminhões circularem nas áreas mais centrais da cidade;
- Ampliação de padronização, permitindo que mais partes da construção sejam pré-fabricadas, usufruindo da fábrica de pré-moldados fixa.

O sistema de produção e logística fecha, dessa forma o ciclo de produção industrializada pretendida.

4 CONCLUSÃO

O histórico de projeto traçado no capítulo 1 demonstrou diversos métodos construtivos para execução das estações e do suporte das vias de metrô da CMSP e suas consequências no espaço urbano. O esgotamento das condições para construção de vias em superfície, elevada ou subterrânea construída com método destrutivo na área do centro expandido, onde há a maior demanda por novas linhas apontaram para o uso de túneis, sobretudo escavados por máquinas tuneladoras, o que foi constatado na análise da evolução da proporção deste método ao longo das linhas.

A análise da evolução das inaugurações de estações ao longo dos anos de existência da CMSP, todavia, mostraram que as tentativas de construção de longos trechos de sistema de Metrô subterrâneo em São Paulo, com exceção da Linha 1-Azul (feita sua maior parte em método destrutivo), falhou. O trabalho demonstrou também que as dificuldades de lograr sucesso se concentraram na construção de estações, pois as vias, feitas ao longo de túneis construídos por meio de tuneladoras que imprimem ritmo industrial na obra, muitas vezes ficam prontos e chegam a operar trechos com poucas estações prontas, como vimos na Linha 4-Amarela.

O panorama extraído do estudo de caso da Linha 5-Lilás demonstra que as dificuldades no projeto e construção de grande quantidade de estações subterrâneas concomitantes são advindas principalmente da complexidade intrínseca do seu programa de necessidades. Boa parte deste trabalho é de viabilização e

compatibilização com outras disciplinas, pois uma estação de Metrô é como parte de uma máquina, e a tentativa de fazer cada uma delas como uma engrenagem específica, em detrimento da sua padronização, multiplica as demandas de compatibilização. Ao mesmo tempo, contudo, este estudo demonstrou a similaridade de situações entre estações e a possibilidade de padronização quase total que permitiria a adoção de projetos padrão para estações de não conexão em dois ou três tipos típicos a serem replicados, com ajustes para as realidades locais, para expansão da rede. O estudo da Linha 5-Lilás identificou ainda a possibilidade de adoção de padrões de estação e túnel por trecho, indicando um método de projeto mais adequado à escala de trabalho exigida pela natureza do programa.

A pesquisa demonstrou, portanto, a necessidade de uma atualização dos desafios a serem enfrentados na concepção da expansão da rede de Metrô.

O principal desafio diz respeito à escala a ser trabalhada: o artesanato configurado pelo tratamento dado individualmente à cada estação gera uma multiplicação de erros. A escala da metrópole paulista e sua necessidade de transporte exigem que sejam concebidas peças padrão (estações tipo, túneis tipo etc) que permitam a configuração de uma rede eficiente com abrangência condizente à demanda e cuja construção seja industrializada no sentido da rapidez, custo e confiabilidade. Outro conceito a ser atualizado é o de redução de tempo percorrido por usuários dentro do sistema, que repercute na discussão dos percursos obrigatórios internos às estações.

O trabalho propõe uma estrutura de projeto e construção compatível com a escala almejada, partindo de peças padrão tais como estação tipo, passando por sua produção industrializada e contando com uma integração com os demais planos de transporte de escala metropolitana para viabilizar a produção da expansão por completo. A resposta projetual dada no capítulo 3 busca produzir o conhecimento dentro do repertório da área de concentração e linha de pesquisa em que se insere, “Projeto de Arquitetura – Produção da Arquitetura”.

Conclui-se, portanto, ser possível, nas condições existentes da RMSP, o desenvolvimento de um processo de expansão da rede de metrô de forma padronizada e industrial, permitindo redução de custos e prazos construtivos, eliminando os paradoxos atuais da alta demanda paralela à lenta construção da infraestrutura.

REFERÊNCIAS

AB’SABER, A. N. **São Paulo: ensaios e entreveros**. São Paulo: Edusp / Universidade de São Paulo / Imprensa Oficial, 2014.

ALMEIDA, A. G. M.; FIORANELLI, R. T.; NUNES, N. L. As estruturas do Metrô de São Paulo ao longo dos 40 anos de sua existência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2010.

ALOUCHE, P. Metrô de São Paulo: paradigma para engenharia nacional. **Revista Engenharia**, São Paulo, v. 71, n. 617, 2013.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **15 anos da Companhia do Metropolitano de São Paulo - 1983**. São Paulo: Metrô, 1983. 96 p.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **A nova Paulista**. São Paulo: Metrô, 1989.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Busca de estações / Terminais**. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/>>. Acesso em: 2 fev. 2016.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Linha 5 – Lilás – Trecho Largo Treze – Chácara Klabin- Projeto Funcional- Consolidação do traçado e Posicionamento das Estações..** São Paulo, 2008. (RT-5.00.00.00/1F1-004-A).

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Linha 5 – Lilás Esquema Unifilar**. São Paulo: Metrô, 2010.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Metrô – Companhia do Metropolitano de São Paulo**. São Paulo: Metrô, 2014. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br>>. Acesso em: 3 out. 2014

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Projetos executivos da instituição**. São Paulo: Metrô, 2012-2015.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Trecho Largo Treze- Chácara Klabin e Pátio Guido Caloi**. São Paulo: Metro, 2011. (Painel).

CROSSRAIL. **Material and Waste**. Disponível em: <<http://www.crossrail.co.uk/sustainability/environmental-sustainability/materials-and-waste>>. Acesso em: 16 fev. 2016.

FRAGELLI, M. **Quarenta anos de prancheta**. São Paulo: Romano Guerra, 2010. 448 p.

GABARRA, M. M. A Sinergia entre o hidroanel metropolitano e expansão da rede de trilhos paulistana. In: SEMANA DE TECNOLOGIA E METROFERR, 20., 2014, São Paulo. **Anais Eletrônicos...** São Paulo: AEAMESP, 2014. 32 p.

GARCIA, M. Z. **Rede de transporte de massa e espaço urbano – um ensaio de traçado para São Paulo à luz das experiências de Londres e Paris**. 2014. 274 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

GISA. **Gran Proyecto de Infraestructura “Metrô de Barcelona”: La Linea 9 del metro de Barcelona, um cocepto inovador**. Bogotá: Camara Colombiana de la Infraestructura, 2010.

GRUPO METROPOLE FLUVIAL. **Articulação arquitetônica e urbanística dos estudos de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental do hidroanel metropolitano de São Paulo - Memorial Descritivo**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / Universidade de São Paulo, 2012.

HERRENKNECHT. **Screw conveyor speed and TBM advances rate regulate the pressure conditions**. Disponível em: <<https://www.herrenknecht.com/en/products/core-products/tunnelling/epb-shield.html>>. Acesso em: 14 fev. 2016

HONDA, M.; YUASA, Y.; SUZUKI, A. **Underground shield tunnel enlargement work**. Tokyo: Mitsui Construction, 1991.

LAGONEGRO, M. A. **Metrópole sem Metrô**. 2003. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MAC FADDEN, R. **Décadas de Metrô: depoimento**. Realizada em São Paulo, 28 out. 2014. Entrevista concedida à Murilo Macedo Gabarra.

MAC FADDEN, R.; VIÉGAS M. Estação Adolfo Pinheiro. **ArchDaily Brasil**, 24 jul. 2014. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/624426/estacao-adolfo-pinheiro-roberto-mac-fadden-e-mariana-viegas>>. Acesso em: 14 fev. 2016.

MAIER, W. Construction Logistics for Potsdamer Platz. **Structural Engineering International**, v. 7, n. 4, p. 233-235, 1997.

MENDONÇA, D. X. Aos vencedores as Batatas. **Vitruvius**, Minha Cidade, São Paulo, v. 2, jun. 2002. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/02.023/2060>>. Acesso em: 20 nov. 2014

MUNIZ, C. **A cidade e os trilhos: o Metrô de São Paulo como desenho urbano**. 2005. 271 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems**. Quincy: NFPA, 2014.

NOVAES, M. Metrô de SP: falhas e lotação ameaçam 'lua de mel' com a linha 4. **Notícias Terra**, 10 mar. 2012. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/brasil/metro-de-sp-falhas-e-lotacao-ameacam-lua-de-mel-com-a-linha-4,6cb8e-7948c1da310VgnCLD20000obbceboaRCRD.html>>. Acesso em: 14 fev. 2016.

OLLIVIER, G.; SONDHI, J.; ZHOU, N. High-speed railways in China: a look at construction costs. Beijing: World Bank Office, 2014. (China Transport Topics nº 9)

OVANDO JUNIOR, A. **Praça da Sé: reformada ou deformada pelas obras do Metrô?!**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ROSS, J. **Railway stations: planning, design and management**. Oxford: Architectural Press, 2000.

SCHINDLER. **Shindler 7000: Double-deck elevators**. Ebikon: Schindler, 2011. (Catálogo de produto).

SECRETARIA DOS TRANSPORTES DE SÃO PAULO. Desenvolvimento Rodoviário S/A. **PDDT-Vivo 2000/2020**. São Paulo: STSP, 2002.

SPTRANS. **Cronologia do transporte coletivo de São Paulo – 1865-2006**. São Paulo: SPTrans, 2010. Disponível em: <http://www.sptrans.com.br/museu/Cronologia_Transporte.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2016

VALLE, C. Linha 4 muda gargalos do metrô em São Paulo. **Exame**, 26 out. 2014. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/geral/noticias/linha-4-muda-os-gargalos-do-metro-em-sao-paulo.%202014>>. Acesso em: 14 fev. 2016.

WRIGHT, F. L. **Testamento**. Buenos Aires: Companhia General Fabril Editora, 1961.

GLOSSÁRIO

Aduela: Cada uma das peças de concreto que compõe o anel do túnel

AMV: Sigla de “Aparelho de Mudança de Via”, estrutura de peças móveis usada para permitir que o material rodante possa transitar entre diferentes vias

Anel do túnel: Elemento usado para revestimento do túnel escavado por tuneladoras, costumava ser feito de aço, atualmente na cidade de São Paulo é feito em concreto pré-moldado, constituído do contorno completo da circunferência, possui comprimento variável.

Bandejamento: Conjunto de bandejas, geralmente sobrepostas, usadas para acomodar cabos.

Bitola: Distância entre os trilhos, medida a partir da parte interna dos boletos.

Catenária: Sistema de cabos ou hastes rígidas eletrificados dispostos acima da altura dos trens para sua alimentação elétrica. Recebe este nome devido à sua geometria quando feita em material maleável, que se acomoda com a gravidade.

Cut-and-cover: Expressão de origem inglesa que significa cortar e cobrir (traduzido pelo autor), designa método construtivo que consiste no corte do terreno em forma de trincheira, construção de paredes laterais de concreto para posterior cobertura por meio de laje.

Double deck: Expressão da língua inglesa que designa tipo de vagão que, para dobrar sua capacidade de transporte, conta com dois andares. Termo também usado para elevador com a mesma disposição.

Headway: Intervalo de tempo entre paradas de composições consecutivas em uma mesma estação.

Enfilagem: Injeções de calda de cimento por tubos para reforço do maciço.

Poço Engarrafado: poço cuja seção mais superficial é mais estreita que a mais profunda, ou seja, em algum ponto o poço alarga (engarrafa), no sentido da decida.

EPB: Sigla para o termo da língua inglesa “*Earth Pressure Balance*”, ou pressão de terra balanceada (tradução do autor). Usado para designar modalidade de *Shield* em que há uma câmara de terra logo após a roda de corte que balanceia a pressão interna com a externa através da retirada controlada da terra da câmara por meio de uma rosca sem fim e da pressão dos macacos de avanço da máquina. Com este sistema é possível mitigar os efeitos das escavações no entorno (reduzindo recalques) e é possível escavar abaixo do nível de água do lençol freático.

Estronca: Viga (definitiva ou provisória) que desempenha a função de escorar paredes de contenção, recebendo esforços da terra e empuxo de eventual lençol freático. “Mantem a vala aberta” a despeito dos esforços laterais.

GGD: Sigla para “Grupo Gerador Diesel”. Acionado em estações de Metrô em situações de emergência para funções que permitam a segura evacuação da estação.

Invert: O preenchimento do arco invertido do túnel para tornar seu piso plano e, conseqüentemente, adequado para acomodar via permanente e outros usos.

Material rodante: A parte móvel do sistema que corre sobre os trilhos: carros, trens, vagões etc.

NATM: Sigla em língua inglesa para Novo Método Austríaco de Tunelagem (tradução do autor para *New Austrian Tunneling Method*). É um método de escavação de túneis que conta com o maciço circundante como parte do sistema de suporte. Para atingir este objetivo é necessário sólido conhecimento do solo em que se insere (e, eventualmente, tratamento deste) e rígido controle de instrumentação durante a construção. Dependendo das condições do solo, pode permitir flexibilidade na geometria da seção resultante.

Pantógrafo: Elemento articulado para contato entre o material rodante e o seu sistema de alimentação elétrica.

Poços secantes: Poços circulares interseccionados cuja soma resulta em uma única grande vala.

Porão de cabos: Espaço cujo programa é a distribuição organizada de cabos para ambiente(s) vizinho(s). Nas estações encontram-se geralmente abaixo das plata-

formas, distribuindo cabos para ambientes de toda a estação ou abaixo de salas técnicas, distribuindo cabos para os equipamentos destas.

PP: Abreviatura de Projeto Padrão, são projetos de elementos, geralmente de acabamento, para serem usados em projetos de toda a rede

PPP: Sigla para Parceria Público Privada. Empreendimento com investimento compartilhado pelo governo e pela iniciativa privada.

Salas operacionais: Salas nas estações para uso dos funcionários, tais como escritórios, vestiários e copas.

Salas técnicas: São salas nas estações destinadas a acomodar equipamentos estacionários necessários para o funcionamento do sistema de Metrô.

Shield: Equipamento para escavar túneis com couraça para suporte do terreno durante a operação de montagem do revestimento.

TBM: Sigla para *Tunnel Boring Machine* ou Máquina Tuneladora (traduzido pelo autor), sinônimo de *Shield*.

Terceiro trilho: Trilho eletrificado, geralmente localizado lateralmente ao material rodante, destinado a alimentação elétrica deste.

Tirante: Cabo tensionado ancorado no solo para manter a estabilidade de parede de contenção por meio de tração. Geralmente é usado durante a execução da obra e desativado (cortado) após sua conclusão, quando vigas e lajes definitivas desempenham a função de escorar as paredes.

Topo do boleto: Nível exatamente acima do trilho.

Trafo: Sinônimo de transformador elétrico. Reduz a voltagem para seu uso.

Trilho: Elemento onde o material rodante faz sua tração. Formado por patim (base), alma (parte vertical), e boleto (de formato boleado, área de contato com a roda).

Túnel duplo: Túnel com seção larga o suficiente para passagem de duas vias

Túnel singelo: Túnel cuja seção é suficiente para passagem de uma via.

VCA: Sigla para Vala a Céu Aberto. Designa método construtivo

VSE: Ventilação e saída de emergência. São saídas de túneis intermediárias entre estações que tem a dupla utilidade de propiciar saída em caso de emergência dentro dos túneis e fazer a ventilação do sistema.