

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

TRABALHO DE FORMATURA

ANÁLISE DA ESTAÇÃO TAMANDUATEÍ E ESTUDO DO
TRECHO ELEVADO ENTRE A ESTAÇÃO TAMANDUATEÍ E A
ESTAÇÃO VILA PRUDENTE

PROFESSOR ORIENTADOR: FERNANDO REBOUÇAS STUCCHI

GRUPO:

BRUNO BARRETO ROSE	5434841
GUSTAVO AGUIAR	5434431
HÉLIO DE SOUSA CUNHA	5607019
PATRÍCIA GONÇALVES LAUREANO HIPÓLITO	5437114
WILIAN CARVALHO SAMPAIO	5140635

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias e amigos por todo o apoio e incentivo durante esses anos árduos na Escola Politécnica.

Ao professor Fernando Stucchi pela orientação e sugestões durante o desenvolvimento deste projeto.

À Companhia do Metropolitano de São Paulo por permitir a elaboração do projeto e fornecer informações que permitiram seu desenvolvimento.

RESUMO

Com o crescente investimento dos governos municipal e estadual no Metrô de São Paulo, evidenciado especialmente pelo Plano de Expansão, verificou-se um aumento no número de obras de grande porte, envolvendo a concepção de poços, valas, túneis e elevados.

Juntamente com o crescimento das obras, percebeu-se um aumento na demanda por projetos bem elaborados, definidores de soluções econômicas e tecnicamente viáveis que se mostrem compatíveis com o desejo do cliente.

É neste cenário de ampliação da malha metroviária que este documento é elaborado, tendo por intuito estudar e analisar de forma crítica o projeto e a obra do Elevado Tamanduateí pertencente à Linha 2 – Verde da Companhia do Metropolitano de São Paulo.

A partir de informações coletadas em visita técnica à obra, ao Metrô de São Paulo e ao escritório de Engenharia responsável pelo projeto do citado elevado, fez-se um estudo aprofundado dos possíveis métodos construtivos que poderiam ser empregados nesta ponte metroviária, verificando-se se o método construtivo adotado na obra (método dos Consolos Sucessivos) apresentava-se, de fato, como a melhor solução.

Após elaboração de matrizes de decisão que indicaram a maior adequação do método de Lançamento Progressivo para as condições locais de obra, procedeu-se ao detalhamento deste método construtivo, realizando-se análises e modelagens estruturais, cálculos de protensão, dimensionamento de estacas, planejamento da obra, projeto de canteiros de obra, dentre outros itens concernentes ao projeto de um elevado.

Além dos estudos voltados ao Lançamento Progressivo como solução para o Elevado Tamanduateí, complementou-se a análise apresentada com tópicos que envolvem desde o processo de definição da implantação de uma estação do Metrô até a entrega da obra.

Sendo assim, foram estudados, também, os impactos ambientais provocados pelo Metrô, a ferramenta de Pesquisa Origem e Destino, as vantagens e desvantagens do sistema de transporte sobre trilhos, a inserção do Metrô no Plano Diretor da Cidade de São Paulo.

Abordando-se todos estes temas, procurou-se fornecer uma visão ampla e completa, capaz de indicar todo o encadeamento de conceitos, de estudos, de análises e de planejamento que resulta em uma linha metroviária.

Índice

1.	A Engenharia e seu papel na sociedade	14
2.	Identificando o problema: o transporte e o trânsito na cidade de São Paulo	16
2.1.	Dados do trânsito e do transporte público na cidade de São Paulo	16
2.2.	O Metrô na cidade de São Paulo	25
2.3.	O Transporte no âmbito do Plano Diretor	31
2.3.1.	Plano Diretor	31
2.3.2.	Plano Diretor de São Paulo e sua abordagem sobre Transportes	32
2.3.3.	Planos Regionais das Subprefeituras de Ipiranga e Vila Prudente/Sapopemba	36
3.	Ajudando a resolver o Problema: o Metrô e sua integração	39
3.1.	O Metrô como solução	39
3.2.	Planejamento do Metrô	42
3.2.1.	Plano de Expansão	43
4.	Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP)	52
4.1.	Descrição da CMSP	52
4.1.1.	Histórico	52
4.1.2.	Organograma da CMSP	53
4.2.	Integração dos transportes da cidade de São Paulo	57
4.2.1.	Plano Integrado de Transportes Urbanos - PITU 2025	60
5.	Estudo de Oferta e Demanda	70
5.1.	Pesquisa Origem e Destino	70
5.2.	Modelos de projeção de oferta e demanda	73
5.3.	Metodologia de análise de dados	74
5.4.	Apresentação de Dados	76
6.	Arquitetura da Estação Tamanduateí do Metrô.	83
6.1.	Influências na Arquitetura	83
6.2.	Diretrizes do Projeto de Arquitetura	83
6.3.	A Estação Tamanduateí do Metrô	87
7.	Estudo do Trecho Elevado entre a Estação Tamanduateí e a Estação Vila Prudente	90
7.1.	Descrição das Características da Obra em Execução	90
7.2.	O porquê do Trecho Elevado	93
7.2.1.	Metrô subterrâneo	94

7.2.2.	Metrô de superfície	95
7.2.3.	Metrô elevado	95
7.2.4.	Trecho elevado do metrô entre as estações Tamanduateí e Vila Prudente .	97
8.	Estudo de Alternativas de Métodos Construtivos para o Elevado Tamanduateí.....	100
8.1.	Apresentação da Matriz de Decisão	100
8.1.1.	Caracterização dos Trechos I, II e III.....	103
8.1.2.	Descrição dos Critérios de Decisão adotados	108
8.1.3.	Modelos da Matriz de Decisão para o Estudo de Alternativas do Elevado Tamanduateí	112
8.2.	Preenchimento da Matriz de Decisão	116
8.2.1.	Uso de Indicadores de Consumo na Engenharia.....	116
8.2.2.	Atribuição de Notas para as alternativas de Métodos Construtivos	117
8.2.3.	Matrizes de Decisão preenchidas	132
8.3.	Resultado do Estudo de Alternativas de Métodos Construtivos para o Elevado Tamanduateí.....	136
9.	O Método de Lançamentos Progressivos	137
9.1.	Definição	137
9.2.	Histórico	138
9.3.	Vantagens e Problemas associados às Obras Empurradas	139
9.4.	Seqüência Construtiva.....	140
9.5.	Canteiro	154
10.	Estudo do Material Rodante e da Superestrutura Ferroviária.....	156
10.1.	Características dos Veículos.....	157
10.2.	A Via Permanente	161
10.3.	Sugestão de Fôrmas.....	164
11.	Levantamento Preliminar de Dados	168
11.1.	Sondagens.....	170
12.	Impactos Ambientais associados ao Metrô	172
12.1.	Definição de Impacto Ambiental	172
12.2.	O Metrô e seus principais impactos ambientais	173
12.3.	Estudos e Relatórios de Impactos Ambientais	178
12.3.1.	Definições	178

12.3.2. EIA/RIMA da Linha 2 – Verde da Companhia do Metropolitano de São Paulo	182
12.4. Ruídos e Vibrações: Causas, Efeitos e Sistemas de Atenuação	193
12.4.1. Sistemas de Atenuação de Vibrações e de Ruídos para o Elevado Tamanduateí	211
13. Conceção Estrutural Inicial do Elevado Tamanduateí	213
13.1. Influência do Trilho Longo Soldado na Conceção Estrutural de Elevados ...	213
14. Dimensionamento da Superestrutura	Erro! Indicador não definido.
14.1. Obra Pronta	221
14.1.1. Aspectos Geométricos	221
14.1.2. Carregamento Atuante	233
14.2. Obra Provisória	236
14.2.1. Aspectos Geométricos	236
14.2.2. Carregamento Atuante	240
14.3. Esforços Solicitantes	242
14.4. Dimensionamento e Detalhamento da Armadura Ativa	242
14.4.1. Dimensionamento - Obra Provisória	244
14.4.2. Dimensionamento - Obra Pronta	245
14.4.3. Detalhamento da Armadura Ativa	246
15. Dimensionamento das Fundações do Elevado Tamanduateí	221
15.1. Cálculo do Comprimento dos Estações	251
15.1.1. Método de Aoki & Velloso	252
15.1.2. Aplicação de Aoki & Velloso ao Elevado Tamanduateí	255
15.2. Análise dos Estações submetidos a Esforços Especiais	261
15.2.1. Método de Matlock & Reese	261
15.2.2. Aplicação do Método de Matlock & Reese aos Estações do Elevado Tamanduateí	266
15.3. Definição da Armação dos Estações	273
16. Canteiro de Obra	276
16.1. Canteiro de Produção	276
16.2. Canteiro de Áreas de Vivência	280
17. Lançamento das Aduelas do Elevado Tamanduateí	284
18. Planejamento da Obra	287

18.1.	Organograma da Obra	287
18.2.	Planejamento da Obra	293
18.2.1.	Programação	294
19.	Mesoestrutura e Infraestrutura: Métodos Construtivos.....	302
19.1.	Fundações do Elevado Tamanduateí.....	302
19.1.1.	Objetivo do Serviço	302
19.1.2.	Equipamentos Requeridos	302
19.1.3.	Seqüência Construtiva	308
19.2.	Pilares do Elevado Tamanduateí.....	315
19.2.1.	Objetivo do Serviço	315
19.2.2.	Equipamentos Requeridos	315
19.2.3.	Seqüência Construtiva	317
20.	Conclusão.....	319
21.	Referências Bibliográficas	Erro! Indicador não definido.
21.1.	Livros, Teses e Documentos	320
21.2.	Sites	321
21.3.	Revistas	321
21.4.	Documentos internos da CMSP	322
21.5.	Normas	323

Índice de Figuras:

Figura 1: A Engenharia como ponte entre um problema e sua solução	14
Figura 2: Região Metropolitana de São Paulo	16
Figura 3: Linhas do Metrô e da CPTM	25
Figura 4: Planejamento da Rede Viária de Transporte Público na Subprefeitura de Vila Prudente/Sapopemba	37
Figura 5: Concepção do Sistema de Transportes (Sistemas Local e Estrutural) – Fonte: [SPTRANS, 2006].....	42
Figura 6: Rede do Metrô Atual – Plano Anterior (sem a Estação Vila Prudente) – Fonte: Metrô	44
Figura 7: Rede do Metrô em 2012 – Plano Anterior (sem a Estação Vila Prudente) – Fonte: Metrô.....	44
Figura 8: Expansão da Rede – Fonte: Metrô.....	50
Figura 9: Tipo de integração por estação	57
Figura 10: Bilhetes Edmonson – Por Dentro da Operação 2008	58
Figura 11: Bilhete único, com destaque para a presença das empresas do Metrô, da CPTM e da SPTrans.....	59
Figura 12: Fluxograma do processo de planejamento – Fonte: PITU 2025.....	61
Figura 13: Estratégia Mínima e identificação de Problemas Futuros – Fonte: PITU 2025.....	62
Figura 14: Uso de Problemas Futuros para se chegar à Estratégia Preferida – Fonte PITU 2025.....	63
Figura 15: RMSP – Densidade populacional das zonas de 1997 – Área urbanizada – Fonte: PITU 2025.....	64
Figura 16: Áreas de adensamento sugeridas – Fonte: PITU 2025	64
Figura 17: Centralidades sugeridas – Fonte: PITU 2025	65
Figura 18: Áreas de adensamento e centralidades sugeridas – Fonte: PITU 2025	66
Figura 19: Viagens atendidas pela rede de transporte coletivo de alta e média capacidade – Fonte: PITU 2025.....	67
Figura 20: Viagens não atendidas pela rede de transporte coletivo de alta e média capacidade prevista – Fonte: PITU 2025	68
Figura 21: Viagens para a pesquisa de 1997	71
Figura 22: Viagens para a pesquisa de 2002	71

Figura 23: Viagens atendidas (em marrom) e não tendidas (em azul) pelo transporte urbano na RMSP	72
Figura 24: Fluxo de Informações	76
Figura 25: <i>Concepção arquitetônica da estação Tamanduateí do Metrô e sua Implantação Local – Fonte: Metrô</i>	88
Figura 26: Execução da estação Tamanduateí do Metrô – Fonte: Metrô.....	88
Figura 27: Configuração Geral do Elevado Tamanduateí.....	90
Figura 28: Pilar P1 em destaque.....	91
Figura 29: Tipos de métodos construtivos utilizados nas obras do metrô – Fonte: Metrô	97
Figura 30: Topografia e greide da linha do metrô.....	98
Figura 31: Esquema ilustrativo do método de Lançamento Progressivo	101
Figura 32: Esquema ilustrativo do método de Vigas Pré-Moldadas.....	102
Figura 33: <i>Esquema ilustrativo do método de Consolos Sucessivos moldados in loco</i> ...	102
Figura 34: Esquema ilustrativo do método de Cimbramento Fixo	102
Figura 35: Visão Geral dos Trechos I, II e III do Elevado Tamanduateí – Fonte: Google Earth (consulta realizada em 26 de maio de 2009)	103
Figura 36: Detalhe do Trecho I do Elevado Tamanduateí – Fonte: Google Earth (consulta realizada em 26 de maio de 2009).....	104
Figura 37: Detalhe do Trecho II do Elevado Tamanduateí – Fonte: Google Earth (consulta realizada em 26 de maio de 2009).....	106
Figura 38: Estacionamento do shopping Central Plaza e sua interferência com a obra...	106
Figura 39: Detalhe do Trecho III do Elevado Tamanduateí – Fonte: Google Earth (consulta realizada em 26 de maio de 2009)	108
Figura 40: Comparação de Vãos atendidos por diferentes Métodos Construtivos – Fonte: [MATHIVAT, 1980].....	127
Figura 41: Exemplo de Ponte Empurrada Reta – Ponte do Tamarindo, Santa Catarina – Fonte: [WAIMBERG, 2002].....	137
Figura 42: <i>Exemplo de Ponte Empurrada Curva – Caguanas River Bridge, Porto Rico – Fonte: [Bridge Construction Partner]</i>	138
Figura 43: Configuração Geral da Seqüência Construtiva de Pontes Empurradas	141
Figura 44: Seção Caixão Unicelular.....	142
Figura 45: <i>Ponte Executada com Concretagem em duas etapas e sistema de fôrma única – Fonte: [WAIMBERG, 2002]</i>	143

Figura 46: <i>Ponte Empurrada com concretagem em duas etapas e sistema de fôrmas dupla defasadas no espaço</i> – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	144
Figura 47: Cronograma para sistema único de fôrmas – Fonte: [WAIMBERG, 2002]...	144
Figura 48: Cronograma para sistema duplo de fôrmas defasadas no espaço – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	145
Figura 49: Equipamento de Lançamento – Fonte: [Revista Técnica]	146
Figura 50: Macaco Hidráulico do Equipamento de Lançamento – Fonte: [WAIMBERG, 2002].....	146
Figura 51: Perfil Metálico do Equipamento de Lançamento – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	147
Figura 52: Guias Laterais – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	148
Figura 53: Guia Lateral em Detalhe	148
Figura 54: Berço de Deslizamento e Apoios Provisórios – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	149
Figura 55: <i>Placa de Neo-flon em detalhe</i> – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	149
Figura 56: Berço de Deslizamento e Placas de Neo-flon.....	150
Figura 57: Exemplo de Berço de Deslizamento – Fonte: [WAIMBERG, 2002].....	150
Figura 58: Esforços Solicitantes no Período Construtivo – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	151
Figura 59: Envoltória de Momentos Fletores – Fonte: [WAIMBERG, 2002].....	152
Figura 60: Bico Metálico em Detalhe – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	152
Figura 61: Extremidade em Esqui de Bicos Metálicos – Fonte: [WAIMBERG, 2002]..	153
Figura 62: Ligação do Bico Metálico com a Estrutura de Concreto – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	154
Figura 63: Canteiro de Pontes Empurradas – Fonte: [SCHMID, 2005]	154
Figura 64: Armação sobre Roletes – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	155
Figura 65: Canteiro com Áreas Cobertas – Fonte: [WAIMBERG, 2002]	155
Figura 66: Novo trem da Linha 2- Verde.....	157
Figura 67: Frota do Metrô de São Paulo.	158
Figura 68: Gabarito Estático Longitudinal do Carro.....	159
Figura 69: Superestrutura da Via Permanente – Fixação Direta.....	162
Figura 70: Passagem de Emergência (Desenho fora de escala).	164
Figura 71: Sugestão de Seção Caixa de Almas Verticais.....	166

Figura 72: Sugestão de Seção Caixão de Almas Inclinadas 1H:5V.....	166
Figura 73: Seção Caixão Final – Almas Inclinadas.	167
Figura 74: Linha da Eletropaulo.....	169
Figura 75: Emboque do túnel.....	169
Figura 76: Reclamações da Vizinhança durante fase construtiva da Estação Chácara Klabin – Fonte: [CÔRREA, 2008].....	176
Figura 77: Contato Roda-Trilho – Fonte: [METRÔ, 2007].....	194
Figura 78: Origem e Propagação de Vibrações e de Ruídos Secundários – Fonte: [METRÔ, 2007].....	196
Figura 79: Via com Barreiras Acústicas Laterais.....	202
Figura 80: Suspensão de Carros Metroviários – Fonte: [LUZ, 2008].....	203
Figura 81: Molas de Suspensão.....	204
Figura 82: Níveis de Intervenção na Via Permanente para Atenuação de Vibrações.....	205
Figura 83: Placas Resilientes – Fonte: [METRÔ, 2007].....	205
Figura 84: Configurações de Sistemas Massa-Mola – Fonte: [METRÔ, 2007].....	206
Figura 85: Configurações de Sistemas Massa-Mola – Fonte: [Revista Engenharia 587 de 2008].....	206
Figura 86: Seqüência de Montagem de Isoamortecedores.....	207
Figura 87: Processo de Concepção de Vias Permanentes – Fonte: [METRÔ, 2007].....	208
Figura 88: Esquema de Realização de Ensaios de Impacto – Fonte: Adaptado de [METRÔ, 2007].....	209
Figura 89: Ensaios de Protótipos com Sistema Massa-Mola composto por Isoamortecedor – Fonte: [METRÔ, 2007].....	210
Figura 90: Ensaios em Placas Resilientes para Fixação de Trilhos – Fonte: [METRÔ, 2007].....	210
Figura 91: Ensaios de Sistemas de Atenuação em Campo – Fonte: [METRÔ, 2007].....	211
Figura 92: Possível Configuração de Seção Transversal com Barreira Acústica e Manta Elastomérica.....	212
Figura 93: Forças Normais em Trilhos Longos Soldados – Fonte: [MAUBERTEC, 1996].....	214
Figura 94: Fixação Landis em Planta – Fonte: [MAUBERTEC, 1996].....	215
Figura 95: Diagrama de Esforços em TLS (valores máximos nas juntas) – Fonte: [MAUBERTEC, 1996].....	215

Figura 96: Gráfico para Obtenção de Espaçamentos Admissíveis entre Juntas – Fonte: [MAUBERTEC, 1996].....	216
Figura 97: Gráfico de Espaçamento entre Juntas para Elevados semelhantes ao Elevado Tamanduateí – Fonte: [MAUBERTEC, 1996]	217
Figura 98: Esforços em TLS – Fonte: [MAUBERTEC, 1996].....	217
Figura 99: Esquema de Juntas nos Trilhos Longos Soldados do Elevado Tamanduateí.	218
Figura 100: Trilhos TR-57 – Fonte: [MAUBERTEC, 1996].....	219
Figura 101: Detalhe da Locação dos Pilares junto ao Rio Tamanduateí.	222
Figura 102: Detalhe da Locação dos Pilares na Região do Emboque.....	223
Figura 103: Dimensão Usual dos Blocos de Fundação em Função do Diâmetro Φ da Estaca.	227
Figura 104: Ângulação da Biela de Concreto.	227
Figura 105: Representação do Aparelho de Apoio Metálico no Modelo Computacional.	229
Figura 106: Ilustração do Conjunto da Meso e Superestrutura do Elevado.....	231
Figura 107: Esquema Geral do Modelo Longitudinal Representativo da Obra Pronta. ..	233
Figura 108: Posicionamento da Superestrutura que Conduz ao Máximo Momento Positivo.....	237
Figura 109: Posicionamento da Superestrutura que Conduz ao Máximo Momento Negativo.	238
Figura 110: Perfil I Ilustrativo com Espessura de 20 mm.....	239
Figura 111: Valores de Excentricidade para a Protensão.....	244
Figura 112: Trecho Representativo da Disposição Longitudinal dos Cabos	247
Figura 113: Disposição dos Cabos de Protensão na Seção Transversal.	247
Figura 114: Detalhe Longitudinal do Nicho de Protensão.	248
Figura 115: Detalhe Transversal do Nicho de Protensão.	248
Figura 116: Sondagem de Referência	256
Figura 117: Simplificação da Sondagem de Referência	257
Figura 118: Características Gerais do Estação	259
Figura 119: Modelo de Viga (Estaca) sobre Apoio Elástico (Solo).....	262
Figura 120: Diagramas Característicos de Matlock & Reese para Estacas Flexíveis – Fonte: [HACHICH, 1998].....	263
Figura 121: Variação de K_s com a Profundidade	265

Figura 122: Ábacos de Matlock & Reese para Estacas Rígidas	265
Figura 123: Ábacos de Matlock & Reese para Estacas Flexíveis	266
Figura 124: Perfil de Deslocamento Horizontal dos Estações do Elevado Tamanduateí para a Fase Construtiva	270
Figura 125: Diagrama de Momentos Fletores dos Estações do Elevado Tamanduateí para a Fase Construtiva	271
Figura 126: Perfil de Deslocamento Horizontal dos Estações do Elevado Tamanduateí para a Fase de Operação.....	272
Figura 127: Diagrama de Momentos Fletores dos Estações do Elevado Tamanduateí para a Fase de Operação.....	273
Figura 128: Planta do canteiro de produção.....	278
Figura 129: Corte da área de produção do canteiro.	279
Figura 130: Exemplo do posicionamento das fôrmas no segmento.....	280
Figura 131: Corte indicando a posição do macaco e do tirante	285
Figura 132: Martelete	303
Figura 133: Central de Lama Bentonítica	304
Figura 134: Central de Lama Bentonítica	304
Figura 135: Perfuratriz Hidráulica	305
Figura 136: Extremidade Superior do Tubo Tremonha	306
Figura 137: Caminhão Betoneira	307
Figura 138: Desarenador em Operação	308
Figura 139: Perfuração e Adição de Lama Bentonítica	310
Figura 140: Características Ideais de Lama Bentonítica.....	310
Figura 141: Colocação de Armação	311
Figura 142: Seqüência de Execução de Estações.....	312
Figura 143: Seqüência de Execução de Estações – Fonte: [HACHICH, 1998].....	312
Figura 144: Pilares Executados com Fôrma Trepante	316
Figura 145: Fôrma Trepante em Detalhe	316
Figura 146: Seqüência de Montagem de Fôrmas Trepantes	318

1. A Engenharia e seu papel na sociedade

É de conhecimento geral que a sociedade atual possui inúmeros problemas associados a diferentes áreas, tais como transportes, saúde, educação, habitação, dentre outros. Dentro deste contexto, é imprescindível que os engenheiros tenham conhecimento de sua importância na solução de tais problemas, contribuindo não apenas com idéias, mas, também, com a execução destas, transformando projetos em realidade.

Muitas das necessidades sociais podem ser supridas por obras para as quais a presença de um engenheiro é fundamental. Assim, caso se foque, por exemplo, em obras de infraestrutura, fica evidente a atuação social do engenheiro, pois, através desta, investimentos resultam em melhorias na qualidade de vida de cidadãos e em melhores condições a empresas (transporte e energia são exemplos claros de tal fato), estruturando cidades e países para demandas presentes e, principalmente, futuras.

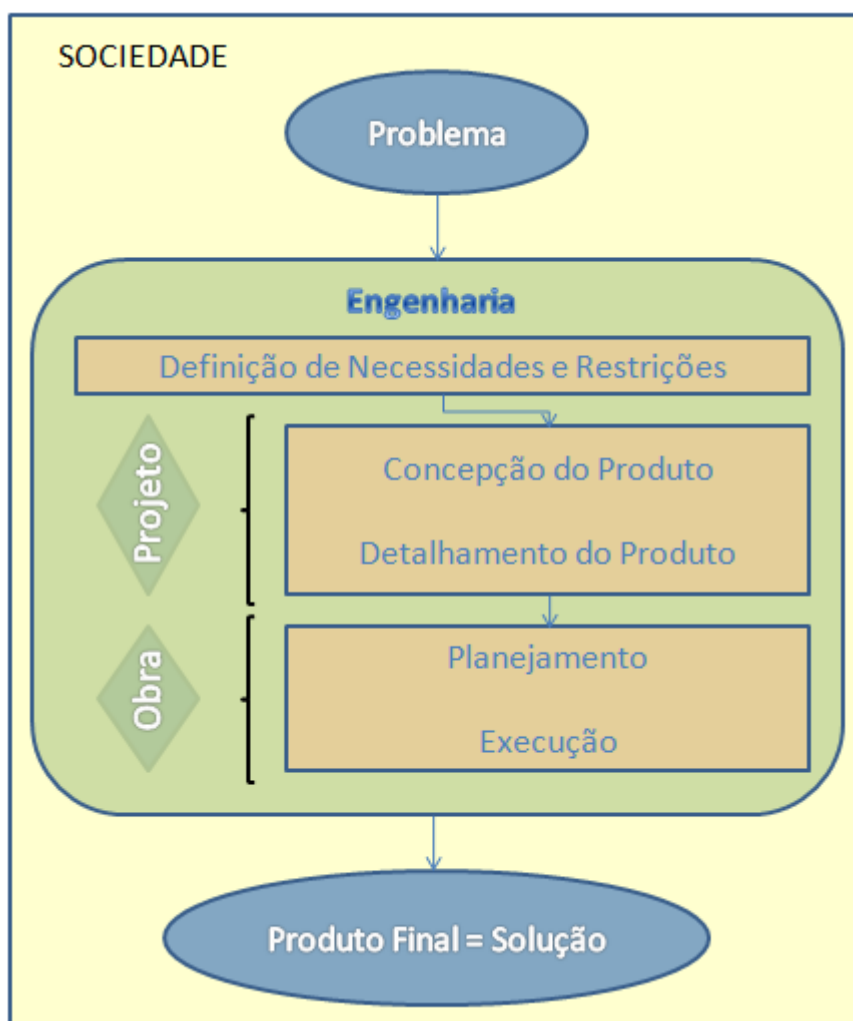


Figura 1: A Engenharia como ponte entre um problema e sua solução

Considerando-se tais aspectos, busca-se neste documento, conforme esquema anterior indicado na Figura 1, inserir um projeto de Engenharia, com todas as suas nuances (como planejamento de obra, definição de método construtivo, organização de canteiro, dentre outros), entre o problema que o originou e a solução dentro do qual se encaixa. Especificamente, considerando-se o tema deste Trabalho de Formatura (a Estação Tamanduateí do Metrô e o Elevado Tamanduateí), deseja-se mostrar, além da obra e de seu projeto propriamente ditos, que sua necessidade provém do problema correspondente ao transporte na cidade de São Paulo e que parte da solução para o mesmo envolve o Metrô e, conseqüentemente, suas obras de estações, de trechos elevados e de túneis.

Para fazer uma Metrópole como esta funcionar, propiciando circulação para pessoas e cargas, a cidade de São Paulo conta com uma rede de transportes composta por ônibus, trens e Metrô, além de haver a presença de automóveis e motos particulares.

O cenário atual da cidade de São Paulo envolve um sistema viário de 17267 km, com 4365 km sendo utilizados, em conjunto com outros veículos, por linhas municipais de ônibus. Ainda em relação aos ônibus, verifica-se que os mesmos são compostos por uma frota de 14759 veículos, responsáveis por um transporte médio de 234,6 milhões de passageiros por mês (caracterizados em termos de número de embarques mensais no período entre fevereiro de 2008 e fevereiro de 2009).

Em relação aos outros modos de transporte, tem-se, na cidade de São Paulo, uma rede metroferroviária de 184 km e 96 estações, dos quais 61,3 km e 55 estações correspondem ao Metrô e 122,7 km e 41 estações, aos trens metropolitanos.

Ônibus, metrô e trens, em conjunto com os demais modos de transporte oficiais, permitem um volume de viagens na capital paulista assim caracterizado ao longo do tempo:

Tabela 1: Viagens Diárias por Modo Principal – Fonte: São Paulo em Movimento - SMT

<u>Viagens Diárias por Modo Principal no Município de São Paulo</u>			
Modo de Transporte	1987	1997	2002
Ônibus	4.969.876	4.629.924	4.285.724
Ônibus Fretado	248.033	162.121	154.529
Escolar	232.622	244.475	471.616
Auto	5.699.106	6.132.516	7.533.023
Táxi	100.680	90.569	108.149
Lotação	17.905	142.550	494.835
Metrô	1.339.865	1.532.972	1.601.264
Trem	470.065	321.771	343.797
Moto	121.896	99.289	238.850
Bicicleta	45.167	54.370	130.431
A pé	6.663.998	6.158.283	8.051.719
Outros	115.251	45.710	30.036

Viagens Diárias por Modo Principal no Município de São Paulo

Total	20.024.462	19.614.550	23.443.972
-------	------------	------------	------------

Para gerenciar tal sistema de transportes, há a atuação conjunta do Estado de São Paulo e da Prefeitura Municipal de São Paulo através de quatro empresas estatais, a Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP ou Metrô), a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos (EMTU/SP), todas pertencentes ao Estado de São Paulo, e a São Paulo Transporte (SPTrans), empresa municipal.

Apesar da grandiosidade dos números apresentados, tais como a quantidade de ônibus que circulam pelas vias paulistanas, conclui-se que os mesmos não são suficientes para assegurar a mobilidade requerida pelos cidadãos de São Paulo.

Tal fato é comprovado por recente pesquisa do Instituto Datafolha divulgada em 07 de abril de 2008. Esta pesquisa apontou um índice de reprovação ao trânsito paulistano de 87%, valor recorde e que supera áreas sempre criticadas, como a Saúde, reprovada por 55% dos entrevistados. De modo semelhante, verifica-se uma reprovação de 44% no transporte coletivo existente na cidade de São Paulo.

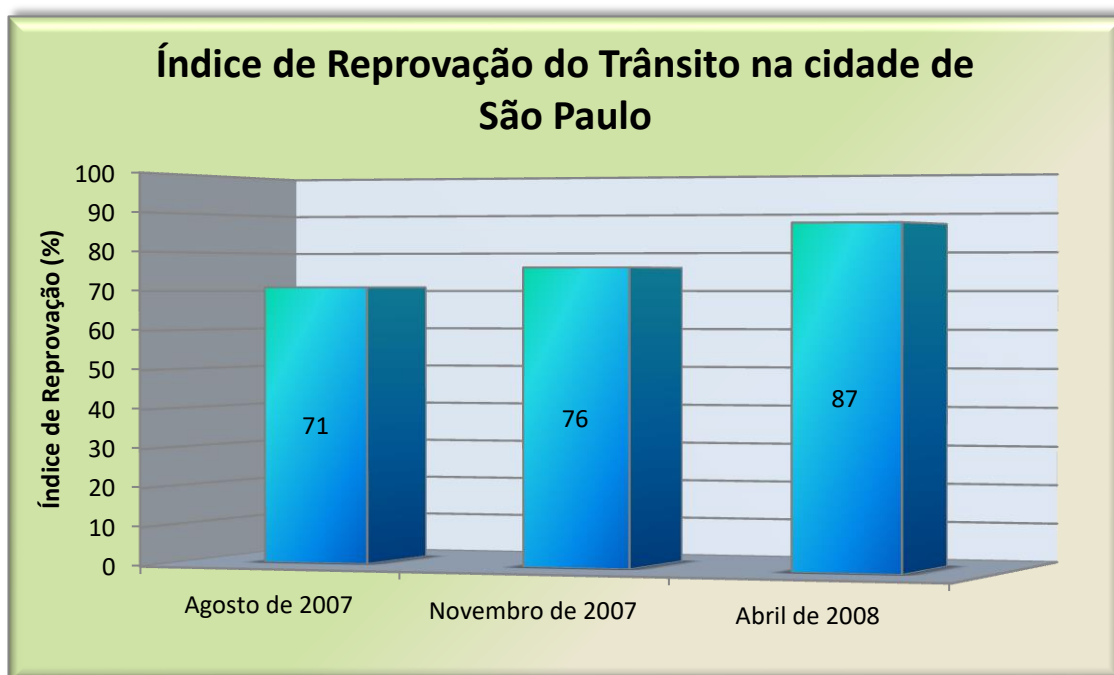


Gráfico 1: Índice de Reprovação do Trânsito na cidade de São Paulo

Ao mesmo tempo, a pesquisa citada indicou que, diante dos constantes congestionamentos que assolam São Paulo (em determinadas ocasiões 200 km de congestionamentos foram medidos), 55% dos entrevistados gastam mais de uma hora diária locomovendo-se pela cidade, com 73% afirmando que esse gasto de tempo é prejudicial.

Os dados fornecidos pela Prefeitura de São Paulo corroboram a avaliação pública dos transportes paulistanos pela presença de indicadores negativos, destacando-se os dados de congestionamentos médios em São Paulo, que apresentam uma tendência de crescimento, atingindo, em 2007, 85 km e 120 km nos picos da manhã e da tarde, respectivamente, e os dados de velocidade média no trânsito, que possuem comportamento decrescente, encontrando-se, em 2006, em 18,3 km/h e 16,8 km/h nos picos da manhã e da tarde, respectivamente. Os Gráfico 2 e Gráfico 3 evidenciam estes aspectos.

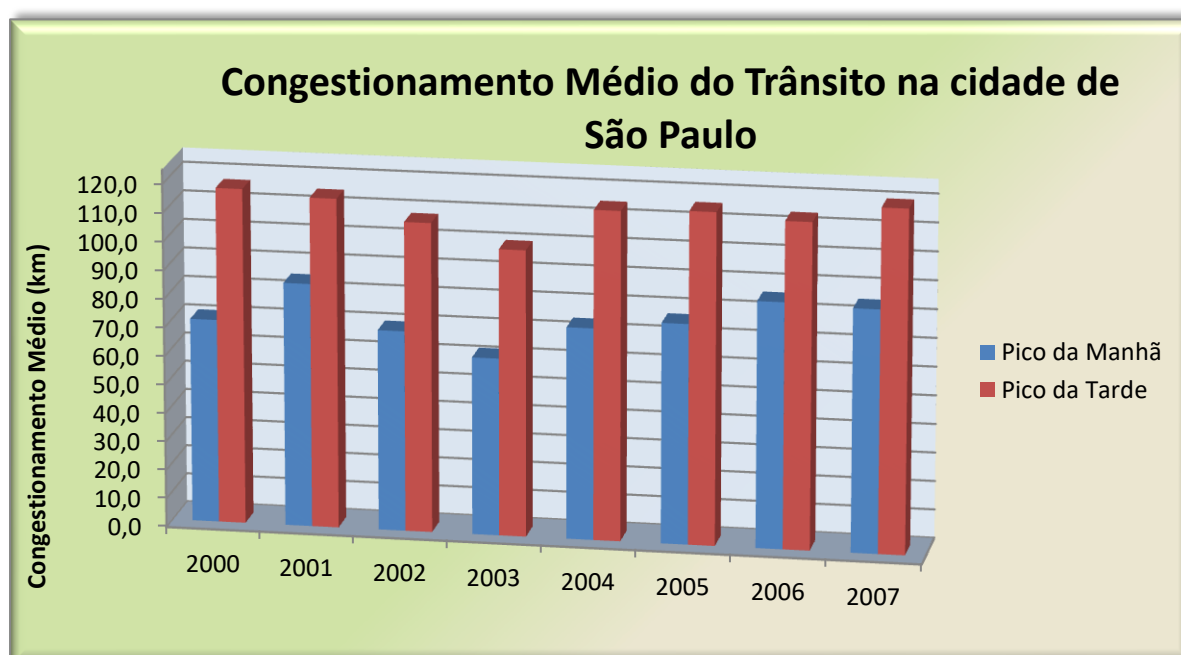


Gráfico 2: Congestionamento Médio do Trânsito na cidade de São Paulo

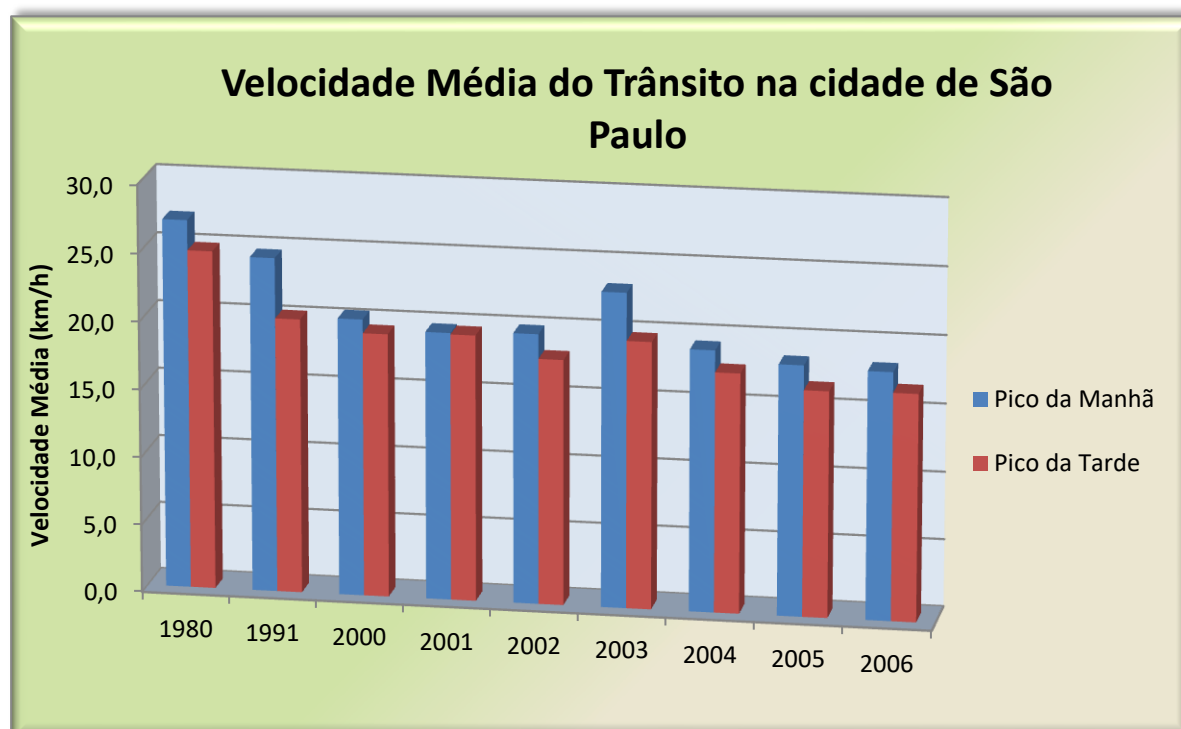


Gráfico 3: Velocidade Média do Trânsito na cidade de São Paulo

Esta situação de crise dos transportes (evidenciada por dados oficiais do trânsito e por pesquisas de opinião pública) é caracterizada por uma infra-estrutura de transporte sobre trilhos incompatível com a demanda existente e por uma falta de organização e estruturação no sistema de ônibus, frutos de políticas de total incentivo ao uso de automóveis, promovendo, em conjunto com estes, a degradação do ambiente urbano, especialmente quando se considera a poluição que os veículos provocam (estima-se que um passageiro de automóvel polua 20 a 40 vezes mais do que um passageiro de ônibus).

O histórico de investimentos públicos na área de transportes evidencia a prioridade destinada à ampliação da malha viária, com a construção de grandes avenidas, túneis e pontes que, mesmo sendo necessárias, não podem existir em detrimento do destino de recursos aos transportes coletivos. Sendo assim, o que se verifica atualmente é uma constante substituição do uso de transporte público (até mesmo por sua baixa qualidade em termos não apenas de conforto, mas, também, em termos de maior tempo de viagem em comparação com o transporte individual devido a baixas velocidade e frequência dos primeiros) por transporte particular, de tal forma, que, segundo pesquisas de Origem e Destino, em 1977, 61% das viagens motorizadas eram realizadas por transporte coletivo, número que caiu para 52,27% na última pesquisa realizada em 1997 e para 47,76% na aferição de 2002.

Tabela 2: Divisão Modal de Viagens Diárias Motorizadas – Fonte: São Paulo em Movimento - SMT

<u>Divisão Modal de Viagens Diárias no Município de São Paulo</u>			
Divisão Modal	1987	1997	2002
Transporte Coletivo	54,48%	52,27%	47,76%
Transporte Individual	45,52%	47,73%	52,24%
Total Motorizado	100%	100%	100%

Privilegiando-se a frota de automóveis (atualmente em 6,36 milhões de veículos), aumentam-se os congestionamentos, reforça-se a crise de mobilidade e diminui-se a eficiência de São Paulo, travando a cidade e comprometendo sua economia e seu ambiente.

Com isso, como será visto nos itens posteriores, deve-se investir em transporte coletivo de modo a se criar novas oportunidades de deslocamento, ampliar a acessibilidade de circulação e promover, através desta, a dinamização de atividades na capital paulista.

2.2.O Metrô na cidade de São Paulo

Após se apresentar os números que caracterizam o transporte na cidade, é importante descrever o Metrô na cidade de São Paulo, indicando a extensão de sua malha, as características de suas estações, dentre outros.

Sendo um sistema de grande capacidade de transporte, o Metrô de São Paulo apresenta números que o colocam entre os maiores do mundo. São 61,3 km de malha metroviária, dividida em 4 linhas (Linha 1 – Azul, Linha 2 – Verde, Linha 3 – Vermelha e Linha 5 – Lilás) e em 55 estações, dentre as quais destacam-se as estações Sé, Ana Rosa e Paraíso, que permitem integrações entre diferentes linhas do Metrô.

Com uma rede que se divide conforme indicado nas figuras a seguir, o Metrô de São Paulo transporta, diariamente, um volume de 3,3 milhões de pessoas, valor equivalente à população do Uruguai e que, convertido em entradas de passageiros por km de linha, coloca o Metrô em segundo lugar no mundo em tal quesito (apesar do fato de que, se analisarmos apenas a Linha 3 – Vermelha, a qual apresenta 12,8 milhões de entradas por ano e por km de linha, verificaríamos ser esta a linha mais densa do mundo, superando grandes metrô, como o de Londres, Paris e Nova Iorque).



Figura 3: Linhas do Metrô e da CPTM

Considerando-se especificamente suas linhas, verifica-se ser a Linha 3 – Vermelha a de maior número de entrada de passageiros, seguida da Linha 1 – Azul, da Linha 2 – Verde e da Linha 5 – Lilás, conforme atestam os dados apresentados pela Companhia do Metropolitano de São Paulo e indicados na tabela a seguir.

Tabela 3: Características das Estações atuais do Metrô de São Paulo

<u>Características das Estações existentes do Metrô de São Paulo</u>			
Linha 1 – Azul			
Estação	Entrada Média de Passageiros	Área Construída (m ²)	Capacidade (passageiros/hora-pico)
Jabaquara	81000	6850	30000
Conceição	34000	6840	20000
São Judas	22000	7360	20000
Saúde	33000	6250	20000
Praça da Árvore	22000	6225	20000
Santa Cruz	59000	6190	20000
Vila Mariana	28000	7190	20000
Ana Rosa	33000	15233	40000
Paraíso	31000	15765	40000
Vergueiro	26000	8980	20000
São Joaquim	39000	6415	20000
Liberdade	25000	6720	20000
Sé	34000	39925	100000
São Bento	73000	18150	40000
Luz	106000	18250	40000
Tiradentes	19000	9670	20000
Armênia	23000	5560	20000
Portuguesa-Tietê	52000	4800	20000
Carandiru	12000	6880	20000

Características das Estações existentes do Metrô de São Paulo

Santana	56000	8565	30000
Jardim São Paulo	12000	7355	20000
Parada Inglesa	15000	6635	20000
Tucuruvi	52000	8630	30000

Linha 2 – Verde

Estação	Entrada Média de Passageiros	Área Construída (m²)	Capacidade (passageiros/hora-pico)
Alto do Ipiranga	22000	8600	30000
Santos – Imigrantes	12000	6914,65	20000
Chácara Klabin	5000	13285	10000
Ana Rosa (Integração)	6000	-	-
Paraíso (Integração)	6000	-	-
Brigadeiro	42000	8790	20000
Trianon – Masp	39000	9290	20000
Consolação	56000	10270	20000
Clínicas	32000	9510	20000
Sumaré	11000	5330	20000
Vila Madalena	30000	9600	20000

Linha 3 – Vermelha

Estação	Entrada Média de Passageiros	Área Construída (m²)	Capacidade (passageiros/hora-pico)
Corinthians - Itaquera	101000	30435	60000
Artur Alvim	69000	14740	20000
Patriarca	24000	7525	20000

Características das Estações existentes do Metrô de São Paulo

Guilhermina – Esperança	24000	9795	20000
Vila Matilde	29000	8970	20000
Penha	36000	9540	20000
Carrão	47000	10170	20000
Tatuapé	65000	34680	60000
Belém	45000	9770	20000
Bresser – Moóca	32000	10375	20000
Brás	97000	23350	60000
Pedro II	22000	9535	20000
Sé (Integração)	45000	-	-
Anhangabaú	88000	11160	20000
República	59000	39050	80000
Santa Cecília	33000	10680	20000
Marechal Deodoro	36000	12580	20000
Palmeiras - Barra Funda	194000	61500	60000

Linha 5 – Lilás

Estação	Entrada Média de Passageiros	Área Construída (m ²)	Capacidade (passageiros/hora-pico)
Capão Redondo	32000	5209	22038
Campo Limpo	18000	4869,49	10872
Vila das Belezas	4000	4886,79	2213
Giovanni Gronchi	9000	4684,89	3897
Santo Amaro	33000	7128	25286
Largo Treze	21000	8750	8114

Outro aspecto importante para caracterizar a situação atual do Metrô na cidade de São Paulo envolve sua frota, sendo a mesma composta por 51 trens na Linha 1 – Azul, 12 trens na Linha 2 – Verde, 47 trens na Linha 3 – Vermelha e 8 trens na Linha 5 – Lilás, totalizando 118 trens, os quais são capazes de transportar uma grande quantidade de cidadãos, como indicam os movimentos de demanda observados no Metrô ao longo de 2008 e apresentados na seqüência:

Tabela 4: Demanda no Sistema de Metrô de São Paulo no ano de 2008

<u>Demanda no Sistema de Metrô de São Paulo no ano de 2008</u>					
Entrada de Passageiros	Linha 1 Azul	Linha 2 Verde	Linha 3 Vermelha	Linha 5 Lilás	Rede Completa
Entrada Total (em milhares)	264157	73759	312757	33696	684367
Entrada Média (em Dias Úteis)	885618	261169	1045665	118052	2310503
Entrada Máxima Diária	992377	288955	1157387	139469	2562460

Apesar dos números apresentados, ilustrativos de um grande sistema (tanto em extensão quanto em volume transportado de passageiros), verifica-se, atualmente, um decréscimo na situação do transporte metropolitano sobre trilhos, causado, basicamente, por um grande aumento de demanda para um cenário constante de frota, linhas e estações (aumento este ocasionado, dentre outros, pela integração entre ônibus e Metrô proporcionada pelo emprego do Bilhete Único, conforme descrito em itens posteriores). Apenas para se ter uma idéia, notou-se, entre novembro de 2005 e novembro de 2007, um aumento na média diária de passageiros no valor de 750000 passageiros, número correspondente, praticamente, à demanda média diária do Metrô do Rio de Janeiro, o que elevou o volume transportado diariamente para valores superiores a 3 milhões de pessoas (quando, em 2006, este volume situava-se em torno de 2,2 milhões de pessoas).

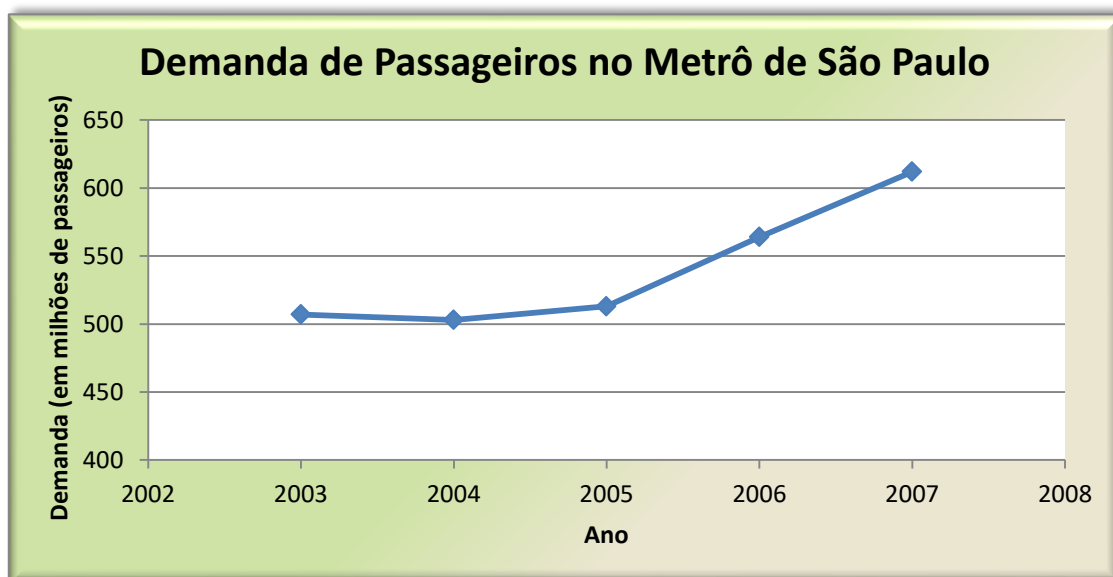


Gráfico 4: Demanda de Passageiros no Metrô de São Paulo no período de 2003 a 2007

Ao mesmo tempo em que a demanda no Metrô passa por uma tendência de crescimento, enfatizada pelo Gráfico 4, percebe-se um movimento contrário na avaliação do Metrô pelos seus usuários, conforme indicam diferentes pesquisas de satisfação. Como exemplo de tal fato, pode-se citar a pesquisa elaborada pelo próprio Metrô, a qual, apesar de indicar um índice satisfatório de 85% de aprovação de seus serviços pela população de São Paulo em 2007, permitiu a observação de uma queda neste índice, o qual se encontrava, em 2006, em 93%. Tal queda deve-se, prioritariamente, à superlotação de trens e estações.

Assim, tendo em vista a tendência de aumento na demanda, tornando ainda mais crítica a situação em trens e estações e contribuindo para a queda de satisfação dos usuários, fica evidente a necessidade de investimentos no Metrô, ampliando-se sua frota, suas linhas e suas estações. Conforme indicado em item específico acerca do Planejamento Atual do Metrô, é exatamente esta a visão atual, caracterizada por vultosos investimentos públicos em obras de Engenharia para expansão da malha metroviária.

2.3.O Transporte no âmbito do Plano Diretor

2.3.1. Plano Diretor

Tendo em vista a necessidade de planejamento das cidades, estabeleceu-se, na Constituição Federal de 1988, uma abordagem específica para a Política Urbana. Dentro deste tópico, deve-se destacar o Artigo 182 do conjunto nacional de leis, responsável pela definição de que a política de desenvolvimento urbano (política de responsabilidade do poder público municipal) tem por objetivo ordenar o desenvolvimento das funções sociais da cidade e da

propriedade, sendo estabelecido, ainda, como instrumento básico de tal política, o Plano Diretor.

Dessa forma, diante da importância do planejamento para a organização de ações governamentais de modo a se obter destas, resultados adequados aos anseios dos cidadãos, compreende-se o papel primordial que, atualmente, o Plano Diretor exerce.

Integrado ao orçamento anual e às diretrizes orçamentárias do Município ao qual se destina, o Plano Diretor atua como ferramenta de garantia do contínuo planejamento das cidades, permitindo alterações de estratégias e de prioridades compatíveis com o caráter dinâmico das cidades, mas de tal forma que todas as diretrizes que se julguem importantes pela população mantenham-se independentemente de eventuais trocas de governo.

Especificamente no âmbito dos transportes, verifica-se haver uma preocupação especial com tal tema, aspecto que se reflete na exigência do Estatuto da Cidade (definido na Lei Federal nº 10257 de 10 de julho de 2001) de se elaborar, separadamente ou em conjunto com o Plano Diretor, o Plano de Transporte Urbano Integrado para cidades com mais de 500 mil habitantes, definindo-se, neste plano, as diretrizes para a importante área de transporte urbano.

Assim, diante da relevância atual do instrumento de planejamento no qual se constitui o Plano Diretor, deve-se analisar como o mesmo aborda, na cidade de São Paulo, a temática dos transportes. A importância de tal análise reside no fato de que a identificação do tratamento destinado aos transportes no Plano Diretor, considerando a participação popular envolvida na elaboração do mesmo e manifestada através de, por exemplo, discussões públicas e formação de conselhos, mostra objetivamente como a população paulistana aborda a questão, caracterizando-a como fundamental, de modo a se justificar investimentos nesta área, como os existentes na execução de corredores de ônibus ou, como não poderia deixar de ser, na concepção de linhas e estações do Metrô, ou não a caracterizando como tal.

2.3.2. Plano Diretor de São Paulo e sua abordagem sobre Transportes

O Plano Diretor Estratégico da cidade de São Paulo foi elaborado durante a gestão da prefeita Marta Suplicy, tendo sido promulgado em caráter de lei em 13 de setembro de 2002 como a Lei nº 13430 do Município de São Paulo.

Complementado por planos e projetos regionais das Subprefeituras paulistanas, conforme descrito em item posterior, o Plano Diretor de São Paulo, em concordância com a definição de Plano Diretor apresentada anteriormente, determina diretrizes e prioridades a serem respeitadas por agentes públicos e privados e que visam subsidiar o planejamento da maior

metrópole brasileira (devendo tais diretrizes serem cumpridas, de acordo com o texto da lei, até o ano de 2012).

No corpo da lei do Plano Diretor de São Paulo, estabelece-se que o mesmo é responsável por definir e envolver os seguintes itens:

- 1) Política de Desenvolvimento urbano do Município;
- 2) A função social da propriedade urbana;
- 3) As políticas públicas do Município;
- 4) O plano urbanístico-ambiental;
- 5) A gestão democrática.

Destacando-se os itens 1 e 3 da lista anterior, convém identificar como as políticas públicas e de desenvolvimento abordam os Transportes.

Sendo assim, a simples leitura inicial do Plano Diretor já indica que os Transportes constituem elemento da agenda política da cidade e importante tópico para o desenvolvimento municipal, pois, dentro dos princípios que regem o Plano Diretor Estratégico, estabelece-se, dentre outros, o direito à Cidade para Todos, envolvendo o acesso a transportes, a universalização da mobilidade e acessibilidade, a priorização do transporte coletivo público, a elevação da qualidade de vida da população e a redução da desigualdade via melhorias, por exemplo, dos serviços urbanos e da infra-estrutura urbana (dos quais fazem parte, respectivamente, o transporte público e a malha viária da cidade), sendo todos estes itens claramente concernentes à questão dos transportes (em um dos seus artigos, inclusive, a importância dedicada a investimentos nessa área fica evidente por ser necessário “racionalizar o uso da infra-estrutura instalada, em particular a do sistema viário e de transportes, evitando sua sobrecarga ou ociosidade e completando sua rede básica”). Dessa forma, estabelece-se um compromisso público da Prefeitura visando complementar e aprimorar o transporte público e solucionar, ou, no mínimo, amenizar o problema dos transportes, já descrito anteriormente.

Havendo uma subseção da Lei específica para os mesmos (Subseção III – Da Circulação Viária e Transportes) e a definição de Planos de Circulação Viária e de Transportes complementares ao Plano Diretor, implementa-se a visão desta área como diretriz da Política Urbana da cidade de São Paulo, objetivando-se, dentre outros:

- 1) Garantir e melhorar a circulação e o transporte urbano, proporcionando deslocamentos intra e interurbanos que atendam às necessidades da população;
- 2) Priorizar o transporte coletivo ao transporte individual;

- 3) Tornar mais homogênea a acessibilidade em toda área urbanizada da cidade;
- 4) Aumentar a acessibilidade e mobilidade da população de baixa renda;
- 5) Tornar o sistema de transporte coletivo um provedor eficaz e democrático de mobilidade e acessibilidade urbanas;
- 6) Adequar o sistema viário, tornando-o mais abrangente e funcional, especialmente nas áreas de urbanização incompleta, visando a sua estruturação e ligação interbairros;
- 7) Garantir a universalidade do transporte público;
- 8) Reduzir a carga poluidora gerada pelo sistema de transporte, incluindo a implantação gradativa de ônibus movidos a fonte de energia limpa, de modo a respeitar os índices de qualidade ambiental;
- 9) Garantir e melhorar a ligação do Município de São Paulo com a região metropolitana, com o país e com o exterior.

Em alguns dos objetivos listados há pouco, percebe-se a inserção do Metrô (objetivo final deste documento) e da integração entre meios de transporte (importante tópico abordado posteriormente), especialmente quando se abordam a questão da redução da carga poluidora (pois, mesmo referida a ônibus movidos por energia limpa, é de conhecimento geral o fato de o Metrô ser um meio de transporte não poluente) e a questão da ligação do Município de São Paulo com a região metropolitana, ligação esta proporcionada, especialmente, pela integração da CPTM com, justamente, o Metrô. No caso da integração, inclusive, sua inclusão no Plano Diretor é explicitada em publicações da Prefeitura Municipal, de tal forma que, no livro “A Reconstrução da Mobilidade”, a Secretaria Municipal de Transportes (SMT) indica que seu plano de transportes foi abordado no Plano Diretor, definindo-se ações necessárias para a elaboração de uma rede única de transporte coletivo integrada ao sistema metropolitano.

As questões da poluição e da integração, além de outras importantes, voltam a ser abordadas no Plano Diretor, sendo consideradas diretrizes da política de Circulação Viária e de Transportes, conforme reproduzido abaixo:

“Art. 83 – São diretrizes para a política de Circulação Viária e de Transportes:

I – a articulação de todos os meios de transporte que operam no Município em uma rede única, de alcance metropolitano, integrada física e operacionalmente;

II – a priorização da circulação do transporte coletivo sobre o transporte individual na ordenação do sistema viário;

III – a adequação da oferta de transportes à demanda, compatibilizando seus efeitos indutores com os objetivos e diretrizes de uso e ocupação do solo, contribuindo, em especial, para a requalificação dos espaços urbanos e fortalecimento de centros de bairros;

(...)

VIII – o incentivo ao uso de tecnologias veiculares que reduzam a poluição ambiental e elevem as condições de conforto e segurança dos passageiros e transeuntes;

IX – a viabilidade econômica, financeira, jurídica e operacional da implantação de fonte alternativa de receita, que onere os proprietários de veículos automotores privados que circulam na cidade, vinculada à ampliação de rede de infra-estrutura viária de interesse para o transporte coletivo, e, especialmente, à rede metroviária prevista”

Sendo uma lei municipal, é natural o destaque ofertado aos ônibus, aos seus corredores e às suas operações, mas, mesmo diante de tal fato, estabelece-se, explicitamente, a necessidade de investir no Metrô, conforme evidencia o trecho a seguir:

“Art. 84 – São ações estratégicas da política de Circulação Viária e de Transportes:

(...)

XVII – participar da implantação das novas linhas do Metrô, bem como da revitalização das linhas ferroviárias para transporte de passageiros ajudando a viabilizar os investimentos com a definição de Operações Urbanas Consorciadas ou Áreas de Intervenção Urbana no entorno dos projetos”

Considerando os transportes como elemento de desenvolvimento da cidade de São Paulo e agente redutor de desigualdade (por permitirem a ligação de diferentes áreas, fornecendo acesso a, por exemplo, empregos e pela capacidade que os mesmos têm de induzir crescimento em regiões inicialmente desprovidas e desconectadas dos serviços urbanos e do aparelho público), o Plano Diretor divide a cidade em Macroáreas para as quais, de acordo com suas características, estabelecem-se diferentes ações na área de transportes. A título de exemplo, verifica-se nas Macroáreas de Urbanização em consolidação (regiões como Penha,

Pirituba, São Lucas, dentre outros) e na Macroárea de Urbanização e Qualificação (que inclui locais como Brasilândia, São Miguel, Sapopemba, Tremembé, Vila Medeiros, dentre outros), objetivos associados, especificamente, à ampliação e à consolidação do transporte coletivo.

Convém destacar, por último, que, para que as ações prioritárias para a cidade sejam executadas, o Plano Diretor cria o Fundo de Desenvolvimento Urbano – FUNDURB para apoiar os investimentos necessários, estando definido em lei que seus recursos (provenientes, por exemplo, de repasses ou dotações orçamentárias oriundas do Estado de São Paulo e da União) devem ser destinados, dentre outros, ao transporte coletivo público urbano. Assim, percebe-se que, mais do que planos e ações, o Plano Diretor indica meios para se atingir a plena eficácia dos transportes, o que comprova sua importância para a cidade.

2.3.3. Planos Regionais das Subprefeituras de Ipiranga e Vila Prudente/Sapopemba

De forma complementar ao Plano Diretor Estratégico da cidade de São Paulo, estabeleceu-se, em 25 de agosto de 2004, a Lei nº 13885, correspondente à Lei de Zoneamento de São Paulo, a qual aborda as questões de uso e ocupação do solo.

Em tal lei, estabelece-se a necessidade de que cada Subprefeitura elabore um Plano Regional (anexo à Lei de Zoneamento) vinculado às peculiaridades e necessidades de suas respectivas áreas de abrangência e responsável por estabelecer políticas específicas para sua região, havendo, dentro de tais planos, a definição de quais ações são prioritárias dentro do horizonte final do ano de 2012 (limite de aplicação do atual Plano Diretor). Em outras palavras, enquanto o Plano Diretor define ações genéricas, descrevendo temas que não podem ser desconsiderados no planejamento da cidade de São Paulo, os Planos Regionais operacionalizam tais diretrizes, tornando-as específicas (nos Planos Regionais, bairros e ruas são citados nominalmente de acordo com as alterações a que estarão sujeitos) e definindo aquelas que são mais relevantes no território sob sua responsabilidade.

Sendo assim, considerando o estudo da Estação Tamanduateí do Metrô, é fundamental analisar como as subprefeituras locais estudam o Metrô na região, sendo este, após a apresentação do Plano Diretor, o momento mais adequado para tal. Dessa forma, em primeiro lugar, destaca-se o fato de, dada sua localização e sua importância para a integração regional, a Estação Tamanduateí ser citada nos Planos de duas subprefeituras, correspondentes às Subprefeituras Ipiranga e Vila Prudente/Sapopemba.

No caso do Plano Regional da Subprefeitura Ipiranga, a Estação Tamanduateí é considerada elemento primordial na Rede Estrutural de Transporte, devendo-se viabilizá-la

para que haja, na região, uma integração entre Metrô e CPTM, como, ver-se-á em maiores detalhes posteriormente, ocorre na estação em análise.

Já nos Planos Regionais da Subprefeitura de Vila Prudente/Sapopemba, ocorre uma maior abordagem da questão de transporte coletivo, sendo sua ampliação (em termos de qualidade e oferta) uma das sete ações prioritárias na região. Dentro deste conceito, conforme indica a Figura 4 apresentada a seguir, a Estação Tamanduateí apresenta-se como elemento importante, pois não apenas melhora qualitativamente e quantitativamente o transporte local, como, também, atende outros propósitos do Plano Regional de Vila Prudente/Sapopemba, com destaque para a necessidade de integrar de forma mais eficiente a área desta Subprefeitura com a Região Metropolitana de São Paulo, mais especificamente, com as cidades de Santo André e São Caetano, o que, conforme descrito em itens posteriores, a Estação Tamanduateí executa.

Plano Regional Estratégico da Subprefeitura Vila Prudente/ Sapopemba - PRE - VP
QUADRO Nº 03 DO LIVRO XXIX - ANEXO À LEI Nº 13.885, de 25 de agosto de 2004
REDE VIÁRIA ESTRUTURAL DE TRANSPORTE PÚBLICO – 2006 e 2012

ITEM Nº	TIPO	LOCALIZAÇÃO	Ano Meta
VP - 01	Estação de Transferência	R. Ibitirama com R. do Orfanato	2006
VP - 02	Estação de Transferência	Orfanato com Vila Ema	2006
VP - 03	Estação de Transferência	Av Prof Luiz Ignacio de Anhaia Mello com Av Alberto Ramos	2006
VP - 04	Estação de Transferência	Av Prof Luiz Ignacio de Anhaia Mello com R Francisco Fett (	2006
VP - 05	Estação de Transferência	Av. Sapopemba com Est. Barreira Grande	2006
VP - 06	Estação de Transferência	Av Prof Luiz Ignacio de Anhaia Mello com Heráclito Odilon	2006
VP - 07	Estação de Transferência	Av Prof Luiz Ignacio de Anhaia Mello com R. José Antonio	2006
VP - 08	Estação de Transferência	Av. Sapopemba com Av. Vila Ema	2006
VP - 09	Estação de Transferência	Estr. Barreira Grande com Av. Inconfidência Mineira	2006
VP - 10	Estação de Transferência	Av do Oratório com Estr. Casa Grande	2006
VP - 11	Estação de Transferência	Av. Sapopemba com R. Dr Frederico Martins da Costa Carvalho	2006
VP - 12	Estação de Transferência	Av. Sapopemba com R. Luiz Juliani	2006
VP - 13	Estação de Transferência	R Ibitirama com Av. Dr. Luiz Ignácio de Anhaia Mello	2006
VP - 14	Estação de Transferência	Av. Sapopemba com R. Herwis	2012
VP - 15	Estação de Transferência	Av. Barreira Grande com Luis Mann dos Santos	2012
VP - 16	Estação de Transferência	Av. Sapopemba com R. Egidio Martins	2012

ITEM Nº	TIPO	Localização	Ano Meta
VP - 17	Terminal Intermodal	Av. Sapopemba com Av. Arquiteto Vilanova Artigas	2006
VP - 18	Terminal Intermodal	Área próxima à Av Prof Luiz Ignacio de Anhaia Mello com R. Emilio Jafet Filho	2012
VP - 19	Terminal Intermodal	(T-11 Área no fim da R Vermag e R Guamiranga, próxima à futura Estação Tamanduatei do Metro)	2012

VP-20	Estação de Metrô	R. Guamiranga - Estação Tamanduatei	2012
VP- 21	Passa Rápido	Av. Sapopemba	2006
VP- 22	Passa Rápido	Av. do Estado e Av Prof Luiz Ignacio de Anhaia Mello.	2006
VP- 23	Passa Rápido	Av Prof Luiz Ignacio de Anhaia Mello com Luis Antonio Fontes, R. Adutora de Rio Claro, Av Egidio Martins até R. Capitão Mor Pero de Góis.	2012

Figura 4: Planejamento da Rede Viária de Transporte Público na Subprefeitura de Vila Prudente/Sapopemba

Isto posto, verifica-se que a Estação Tamanduateí do Metrô encontra-se dentro do planejamento da cidade de São Paulo (tanto em termos genéricos por se tratar de transporte metroviário, alternativa de transporte público prevista no Plano Diretor, quanto em termos específicos por ser citada nominalmente em Planos Regionais), de modo que os itens posteriores buscam reforçar o porquê de se implementar redes metroviárias e justificar, em termos de oferta e demanda, a ampliação da Linha 2 – Verde e, conseqüentemente, a existência da Estação Tamanduateí (em outras palavras, busca-se mostrar o porquê de tal estação fazer parte do planejamento de São Paulo e qual sua importância para a dinâmica da cidade).

3. Ajudando a resolver o Problema: o Metrô e sua integração

Descrito o problema e verificada a abordagem que o planejamento municipal dedica aos transportes, incluindo a própria Estação Tamanduateí (objeto do estudo que aqui se apresenta), deve-se, dando continuidade ao que se considera ser função da Engenharia, propor soluções que, no mínimo, amortizem o problema. Sendo assim, faz-se, neste ponto, uma descrição do porquê de se implementar o Metrô como parte da solução para a falta de transportes e como tal solução vem sendo planejada.

3.1.O Metrô como solução

Visto como um meio de transporte de alta capacidade, o Metrô é constantemente considerado uma obra cara e que demanda grandes investimentos públicos, motivos estes nos quais seus críticos se apóiam para desacreditar o Metrô como solução viável para um país em desenvolvimento como o Brasil.

Apesar de uma obra do Metrô envolver, de fato, altos valores monetários, uma análise estritamente financeira de gastos em obras apresenta-se como uma postura equivocada, que desconsidera custos implícitos, como impactos ambientais, perdas econômicas vinculadas ao trânsito, gastos em saúde oriundos de problemas também associados ao trânsito, dentre outros.

Dentro desta ótica, o ex-secretário de Transportes do Estado de São Paulo, Adriano Murgel Branco, apresenta um valor, fruto de seus cálculos em conjunto com técnicos do Metrô e da CPTM, que mostra bem o custo da situação atual dos transportes. Considerando-se os custos embutidos nos problemas associados a poluentes, mortes no trânsito, aquecimento atmosférico, dificuldades no transporte de cargas, dentre outros, há um passivo social que pode chegar a 30 bilhões de reais por ano. Tal valor, comparado ao 1 bilhão de reais investidos recentemente pela Prefeitura Municipal de São Paulo, indica a viabilidade do Metrô como transporte de massa em São Paulo.

Estudos elaborados pela Companhia do Metropolitano de São Paulo e pela Fundação Instituto de Administração da USP (FIA/USP) comprovam a economia proporcionada por investimentos na malha metroviária e como tais investimentos retornam, após alguns anos, aos cofres públicos (segundo o engenheiro Plínio Assmann, ex-presidente do Metrô, apenas com os incrementos de IPTU originários da requalificação urbana local e a conseqüente valorização imobiliária nas regiões próximas a estações e linhas do Metrô, todo o

investimento municipal na Linha 1 – Azul foi recuperado em um prazo de 25 anos). Apesar de os estudos citados (cujos resultados são apresentados na sequência) não incluírem, por exemplo, custos secundários como a perda de produtividade na economia pelo tempo despendido no trânsito, motivo pelo qual os valores de economia proporcionados pelo Metrô não atingem a margem de 30 bilhões anuais citada anteriormente, verifica-se que as conclusões dos mesmos apontam para o Metrô como uma solução plausível e viável. Destacando-se apenas um dos dados levantados pelos estudos em questão, caso a rede metroviária existente em 2005 fosse inexistente, ter-se-ia em São Paulo um acréscimo de consumo anual de 170,5 milhões de litros de gasolina e de 84,4 milhões de litros de diesel. Já com a inclusão da rede prevista para 2025, a chamada Rede Essencial, haveria um acréscimo de economia de combustível de 372,6 milhões de litros por ano (valor conjunto de diesel e gasolina), o que representa cerca de 10% do consumo da cidade de São Paulo.

Outro ponto favorável à implementação do Metrô como solução corresponde ao fato de que se trata de um transporte que não afeta e que não é afetado pelas condições do trânsito. Em outras palavras, tem-se que o Metrô mantém sua capacidade independentemente de acidentes de automóveis, de problemas de semáforos e de outros motivos que complicam o tráfego em São Paulo, além de estabelecer-se separado do fluxo de automóveis, não prejudicando-o (ao contrário, o Metrô, ao colocar-se como alternativa ao uso de automóveis, substituindo parte deles, favorece o fluxo na malha viária pela diminuição no número de veículos circulantes).

Tabela 5: Benefícios gerados pelo Metrô

Benefícios gerados pelo Metrô							
Discriminação	Unidades	2006		2005		2004	
		Quantidades	Valor (em milhões de reais)	Quantidades	Valor (em milhões de reais)	Quantidades	Valor (em milhões de reais)
Redução da Emissão de Poluentes	ton/ano	707	130	748	150	976	223
Redução do Consumo de Combustível	litros/ano	273.166.260	609	254.879.168	526	311.941.727	542

Benefícios gerados pelo Metrô

Redução do Custo Operacional de Ônibus e Autos	km/ano	874.486.648	824	797.183.242	641	880.007.523	844
Redução do Custo de Manutenção e Operação das Vias	%	-	19	-	21		21
Redução do Tempo das Viagens	horas/ano	514.062.415	2065	463.442.416	2052	365.720.200	1603
Redução do Número de Acidentes	mil/ano	7,5	61	11,5	102	12,7	111
Total	-	-	3708	-	3491	-	3344
Variação em relação ao Ano Anterior	%	-	6,2	-	4,4	-	-

Mas, mais do que os aspectos econômico e de fluxo de veículos, o Metrô pode ser importante por permitir a redução dos tempos de viagem (veja Tabela 5), o que, de acordo com a Revista Engenharia nº 587 de 2008, proporciona benefícios sociais que se manifestam pelo aumento de tempo disponível para atividades de trabalho, cultura e lazer, elevando a qualidade de vida da população, item de difícil mensuração. Além disso, essa redução nos tempos de viagem desestimula o uso de automóveis, indo ao encontro das diretrizes do Plano Diretor de São Paulo explicitadas anteriormente.

Entretanto, não apenas quesitos econômicos e sociais favorecem o Metrô, pois uma simples análise racional da organização desejável para o sistema de transportes inclui a rede metroviária na malha urbana. Isto porque é consenso atual que um sistema de transportes eficiente, conforme destacam a [SMT, 2002], [SPTRANS, 2006] e a edição já citada da Revista Engenharia, deve ser concebido pela junção de duas malhas complementares entre si.

A primeira, chamada de malha (ou sistema) estrutural deve apresentar-se como uma espinha dorsal do sistema de transportes, possuindo alta capacidade de transporte. Já a segunda, denominada de malha capilar (ou sistema local), representa a parte complementar da malha estrutural, constituindo-se de um sistema com menor capacidade de transporte, mas de maior flexibilidade para atuar de modo a recolher demandas difusas, ou seja, de modo a propiciar conduções mais localizadas que a malha estrutural não é capaz de realizar.

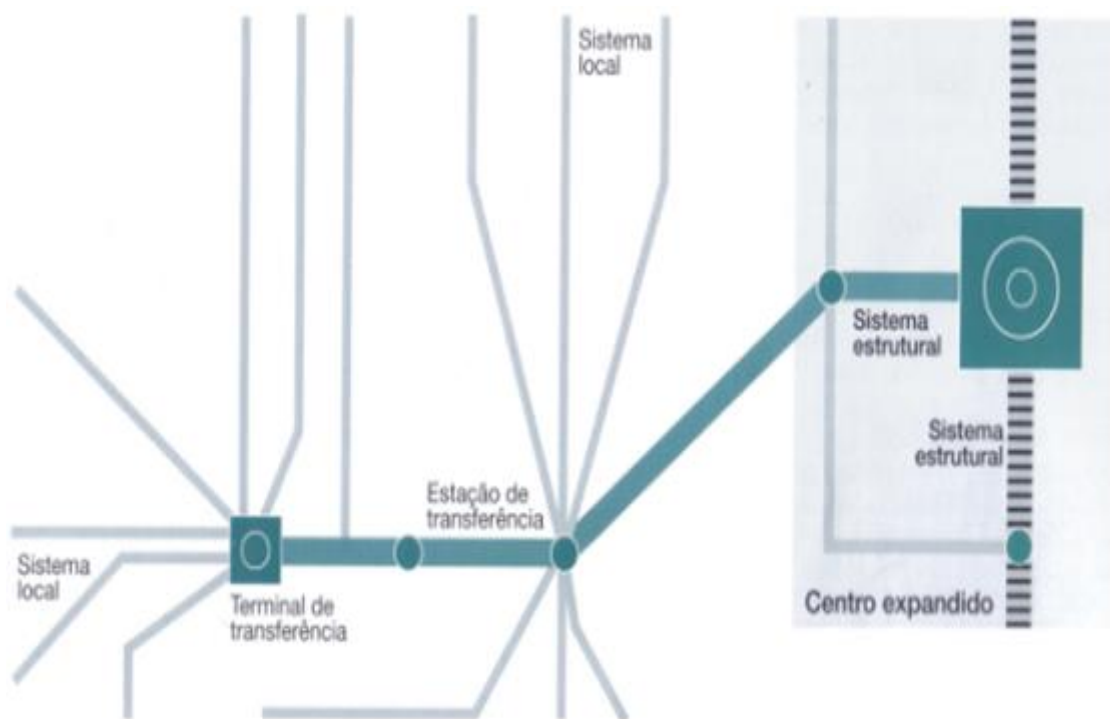


Figura 5: Concepção do Sistema de Transportes (Sistemas Local e Estrutural) – Fonte: [SPTRANS, 2006]

Dentro desse conceito, é evidente que os ônibus correspondem à malha capilar e que o transporte sobre trilhos (Metrô e CPTM) corresponde à malha estrutural.

Assim, mesmo que o Metrô não apresentasse retorno econômico (o que, na verdade, não ocorre, conforme já visto), sua existência seria imprescindível para a concepção de um sistema de transportes eficaz e eficiente, pois o Metrô é, de fato, parte da solução para este problema, justificando incrementos em suas estações e em sua rede de trilhos.

3.2. Planejamento do Metrô

Atualmente, considerando todos os aspectos levantados anteriormente (priorização do transporte público no Plano Diretor e em Planos Regionais, retorno econômico do Metrô e importância do transporte sobre trilhos para a organização do sistema de transportes), verifica-

se uma convergência para a ampliação do Metrô. Assim, resta analisar, antes de se aprofundar na Estação Tamanduateí e de se compreender o Metrô como empresa, qual o atual planejamento para esse sistema de transportes, verificando-se, principalmente, quais são os investimentos previstos, qual a extensão da rede que se pretende construir e quais as estações que se encontram na pauta de obras para a cidade de São Paulo.

Neste aspecto de planejamento do Metrô, destaca-se o Plano de Expansão (descrito em item específico), um projeto de transporte público que define os recursos que serão destinados ao Metrô, as linhas que serão construídas e as estações a serem criadas. Até mesmo a compra de novos trens é abordada no Plano de Expansão.

Estando tal plano detalhado a seguir, introduz-se, a título de exemplo, algumas ações nele previstas. Nesse caso, destacam-se a criação da Linha 6 – Laranja que, com 18,4 km de extensão e 17 estações, ligará Brasilândia e Vila Nova Cachoeirinha à atual Estação São Joaquim do Metrô, a criação da Linha 4 – Amarela, que incluirá estações como Butantã, Paulista e Faria Lima, além das ampliações das Linhas 2 – Verde (na qual se inclui a elaboração da Estação Tamanduateí) e Linha 5 – Lilás, a qual, com estações como Campo Belo, Ibirapuera e Moema, será, contrapondo-se a sua atual situação de isolamento na malha de transportes, integrada a corredores de ônibus, a outras linhas do Metrô e a trens metropolitanos.

Maiores detalhes deste planejamento que busca quadruplicar o número de linhas com qualidade de Metrô, chegando a 240 km (compostos por linhas de Metrô e por linhas da CPTM com características de Metrô), são apresentados na sequência.

3.2.1. Plano de Expansão

O Plano de Expansão do Transporte Metropolitano é o maior projeto de transporte público já realizado no Brasil. Até 2010, o Governo do Estado de São Paulo investirá R\$ 20 bilhões no Metrô, CPTM e EMTU/SP. Um dos principais objetivos será melhorar a qualidade dos trens já existentes da CPTM, com isso, dos atuais 61,3 km de linhas de metrô propriamente dito, passar-se-á para 240 km de linha com qualidade de metrô (o que inclui linhas de CPTM submetidas a melhorias).

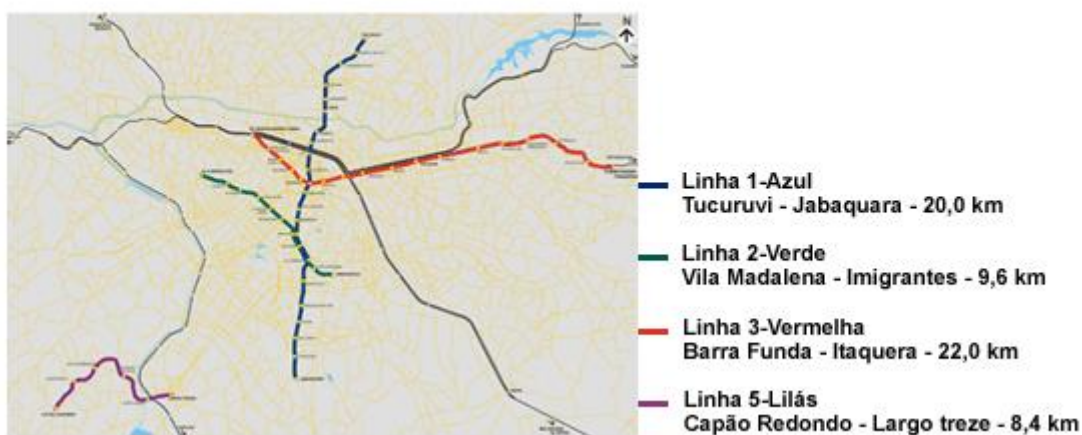
REDE ATUAL 2006
60,2 km de extensão

Figura 6: Rede do Metrô Atual – Plano Anterior (sem a Estação Vila Prudente) – Fonte: Metrô

Além da melhoria do sistema já existente da CPTM e construção de mais linhas de metrô, esse plano também vai inovar com a adoção do Metrô Leve, que é mais barato (cerca de 20%, considerando vias, estações e material rodante).

REDE CONSOLIDADA 2012
89,7 km de extensão

Figura 7: Rede do Metrô em 2012 – Plano Anterior (sem a Estação Vila Prudente) – Fonte: Metrô

Com o Plano consolidado, o número de pessoas que se deslocam pelo sistema metroferroviário, nas três regiões metropolitanas, aumentará em 55%. Além dos benefícios sócio-econômicos e ambientais, um dos ganhos mais expressivos será a diminuição do tempo

médio de viagem em 25%. Para se ter uma idéia, o passageiro que utiliza na ida e na volta o trecho entre Grajaú e Sé, ganhará mais de duas horas, diariamente, o que eleva a qualidade de vida dos cidadãos.

A partir de 2007 começou-se a aquisição de novos trens, de última geração, para o sistema metroferroviário. Com isso, serão mais 107 novas composições circulando nas linhas, sendo 60 trens para CPTM e 47 para o Metrô, com previsão de entrega para 2010. Além dos R\$ 20 bilhões investidos pelo governo, a CPTM prepara execução de uma PPP (Parceria Público-Privada) para a fabricação de 24 trens e modernização de 12 trens (trens série 5000) que renovarão as frotas atuais. Já o Metrô realizará uma licitação para a compra de 26 trens para a Linha 5-Lilás. Ainda estão previstos mais 15 trens para a 2ª fase da Linha 4-Amarela.

Além das construções de novas estações e ampliação das redes, o Plano de Expansão também está investindo em sistemas de sinalização do transporte sobre trilhos. As linhas serão modernizadas para permitir maior velocidade à circulação de trens, o que aumentará o número de viagens e, conseqüentemente, a oferta de lugares. Com os novos sistemas implantados, a distância segura entre os trens em circulação, que hoje é de 450 metros na CPTM e 150 metros no Metrô, irá cair para 15 metros em ambos. Metrô e CPTM também reforçaram os investimentos em manutenção. Juntas, as duas empresas receberão quase R\$ 1 bilhão para essa finalidade, o maior aporte de recursos do gênero já feito.

3.2.1.1.Andamento e investimentos futuros

Dos 240 km que terão qualidade de metrô, 160 km são linhas da CPTM. A Linha 9-Esmeralda (Osasco-Grajaú), por exemplo, que já ganhou 8,5 km de novas vias, quatro novas estações (Jurubatuba, Autódromo, Primavera-Interlagos e Grajaú) e 12 novos trens, hoje é uma das mais próximas desse nível de serviço.

A Linha 2-Verde do Metrô (foco do deste trabalho) se estendeu por mais 1,1 km com a inauguração da nova estação Alto do Ipiranga, em junho de 2007. Em 2010, o ramal será ampliado até a Vila Prudente com integração com a Linha 10-Turquesa (CPTM), na estação Tamanduateí, e com o Expresso Tiradentes, na futura Estação Sacomã. Até o final de 2009, 16 trens novos começarão a operar gradativamente na Linha 2-Verde. Os três primeiros trens já começaram a operar comercialmente a partir de março de 2009.

A primeira fase da Linha 4-Amarela do Metrô, com 12,8 km, entrará em operação até 2010, com as estações Luz, República, Paulista, Faria Lima, Pinheiros e Butantã. Inicialmente, 14 trens novos servirão a Linha 4-Amarela. Para a 2ª fase, serão adicionados mais 15 trens.

O Plano de Expansão ainda contempla a elaboração dos projetos visando à implantação da futura Linha 6-Laranja (Brasilândia/Vila Nova Cachoeirinha - São Joaquim). As obras devem iniciar até 2010.

Atualmente três estações da Linha 9-Esmeralda (Ceasa, Villa-Lobos-Jaguare e Cidade Universitária) passam por uma completa reforma, que proporcionará mais conforto e segurança aos usuários. Outras sete unidades dessa linha também acabaram de receber adaptações de acessibilidade, como corrimãos, pisos, rotas e sinalizações táteis.

Na CPTM, além da Linha 9-Esmeralda, Expresso Leste e Linha 12-Safira, a Linha 7 – Rubi (Luz-Francisco Morato) e o futuro Expresso ABC (Luz-Mauá), na Linha 10 – Turquesa (Luz-Rio Grande da Serra), também vão operar com padrão de serviço de metrô de superfície. Para a Linha 7 – Rubi, estão previstos 20 trens novos, substituição dos sistemas de sinalização para redução dos intervalos, além de obras civis de modernização e acessibilidade das estações. Já o Expresso ABC consiste em um serviço expresso – em vias independentes do tráfego dos trens que param em todas as estações – que faria o percurso a partir do centro de São Paulo, fazendo paradas na Luz e Brás, Tamanduateí, depois, somente em São Caetano e Santo André, prosseguindo até Mauá.

O Plano de Expansão também já trouxe melhorias significativas para a Linha 12 – Safira (Brás-Calmon Viana): cinco estações com qualidade de metrô (USP Leste, Comendador Ermelino, Jardim Helena-Vila Mara, Itaim Paulista e Jardim Romano) e 15 trens (o equivalente a toda a frota) totalmente reformados. No momento, a CPTM realiza a modernização dos sistemas de sinalização para aumentar a velocidade de circulação dos trens e reduzir seus intervalos para 4 minutos. Até 2010, 20 trens novos, já adquiridos, entrarão em operação. As demais estações também serão modernizadas e terão o mesmo padrão das recém-inauguradas.

Ao todo, a CPTM já entregou 28 trens reformados à população. O Metrô também prepara a contratação da reforma de 98 trens: 51 para a Linha 1-Azul e 47 para a Linha 3-Vermelha; desses, 8 serão entregues até 2010.

3.2.1.2.Metrô leve

O Metrô Leve será implantado na Baixada Santista, pela EMTU/SP, na ligação entre a Estação São Judas do Metrô e o aeroporto de Congonhas, pelo Metrô-SP e em um trecho de 22,3 km entre Vila Prudente e Cidade Tiradentes previsto no traçado do Expresso Tiradentes. O acesso ao aeroporto de Congonhas que será feito pelo Metrô Leve, partindo da Estação São Judas, na Linha 1-Azul, com 3,4 km de extensão na primeira fase, até 2010. O projeto completo, que atenderá Jabaquara, São Judas, Linha 5-Lilás (Capão Redondo-Brooklin/Campo Belo) e a Linha 9-Esmeralda da CPTM, na área de influência da Avenida Jornalista Roberto Marinho, está estimado em R\$ 1,2 bilhão, incluindo a compra dos trens.

Até 2010, será inaugurada uma parte do primeiro trecho do Metrô Leve que vai de Vila Prudente a Oratório. O trecho de Vila Prudente a São Mateus terá 12,8 quilômetros no total. O segundo trecho, de São Mateus a Cidade Tiradentes, terá 9,5 quilômetros. Até 2012, deverá estar concluído o percurso até Cidade Tiradentes. O metro leve terá capacidade de transportar 450 mil usuários por dia.

3.2.1.3.Ligação São Paulo - Guarulhos

O Plano de Expansão permitirá a ligação entre duas das maiores cidades do Estado de São Paulo pelo transporte sobre trilhos e por meio de um corredor de ônibus. A infra-estrutura da futura Linha 13-Jade da CPTM (Conjunto Habitacional Zezinho Magalhães / CECAP – Brás) será construída pelo concessionário vencedor da licitação para a implantação do Expresso Aeroporto, em cumprimento à obrigação contratual definida pelo Governo do Estado para a concessão dos serviços.

A Linha 13-Jade terá capacidade para atender a demanda diária inicial de mais de 100 mil usuários, ao longo de 20,8 quilômetros, saindo do CECAP e obedecendo parada nas seguintes estações da Linha 12-Safira: Engenheiro Goulart, que ganhará um novo prédio, Tatuapé e Brás, onde há acesso gratuito ao Metrô.

Já o Expresso Aeroporto será um serviço que ligará o centro de São Paulo ao Aeroporto Internacional de São Paulo “Governador André Franco Montoro”, em 20 minutos, em um trajeto de 28,3 km. O empreendimento se concretizará por meio de uma concessão, com prazo de 35 anos para explorar os serviços (3 para as obras). A estação central, que ficará em uma área entre as atuais estações Luz e Júlio Prestes, funcionará como terminal aeroportuário com

plataformas exclusivas e balcões das companhias aéreas, podendo realizar check-in de passageiros com entrega de cartão de embarque e despacho de bagagem. A economia com os tempos gastos nos deslocamentos poderá chegar a R\$ 71 milhões/ano.

Entre Guarulhos e São Paulo (Estação Tucuruvi do Metrô), será construído um corredor para atender principalmente o município de Guarulhos. Os projetos dos três trechos e elaboração dos projetos básico e executivo do trecho 1 foram licitados em janeiro de 2009. Investimentos da ordem de R\$ 400 milhões serão aplicados nos 31 km de extensão do corredor, que foi dividido em três trechos: Trecho 1 - do bairro Taboão a Tucuruvi; Trecho 2 - do Taboão a São João; e Trecho 3 - da Vila Endres à Penha.

3.2.1.4.Linha 2 Verde (Foco do Trabalho)

O Metrô de São Paulo concluiu com sucesso, em 2006, as obras civis da extensão da Linha 2-Verde, no trecho Ana Rosa – Santos-Imigrantes, com a inauguração das estações Santos-Imigrantes, em 30 de março, e Chácara Klabin, em 9 de maio, o que permitiu incorporar mais 2,6 km ao trecho em operação desta Linha, totalizando 9,6 km, para um incremento na demanda estimado em 30 mil passageiros/dia.

No dia 30 de junho de 2007, foi inaugurada a Estação Alto do Ipiranga, ampliando o trecho em operação para 10,7 km. A demanda da Linha 2-Verde do Metrô, que era de 320 mil passageiros diários, tende a crescer e deve atingir em breve a marca de 370 mil passageiros/dia. Na sequência, serão executadas as Estações Sacomã, Tamanduateí e Vila Prudente, de modo que a Linha 2-Verde terá continuidade e ligará a região de Ana Rosa à Vila Prudente, passando pelos bairros de Vila Mariana, Chácara Klabin, Ipiranga, Sacomã e Vila Prudente. Além de possuir integração com a Linha 1-Azul nas estações Paraíso e Ana Rosa, a Linha 2-Verde, em seu novo trecho, irá se integrar com a futura extensão da Linha 5-Lilás, na Estação Chácara Klabin.

Para chegar à Vila Prudente, serão necessários 16 novos trens - 96 carros – que já tiveram sua fabricação autorizada, num investimento de cerca de R\$ 500 milhões do Governo do Estado e que deverão ter sua entrega finalizada em novembro de 2009.

A previsão é de que em 2010, com a operação total da Linha 2-Verde, entre Vila Madalena e Vila Prudente, integrada na Estação Tamanduateí com a Linha "D" da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM e na Estação Sacomã com o Expresso Tiradentes, a demanda diária da linha chegará a 800 mil pessoas.

3.2.1.5. Rede essencial

EXPANSÃO DA REDE 2012 - 2025 73,6 km de extensão



Figura 8: Expansão da Rede – Fonte: Metrô

Com uma estrutura essencialmente radial, o sistema de ônibus sempre foi o principal modo de transporte em São Paulo, tendo se consolidado numa época em que a Zona Central concentrava grande parte das atividades econômicas da metrópole. Nos anos 70 e 80, essa configuração radial foi reforçada pela implantação das duas primeiras linhas do Metrô, a Linha 1-Azul e a Linha 3-Vermelha, ligando os extremos cardeais da cidade ao Centro Velho.

A implantação dos trechos complementares das Linhas 2 – Verde e 5 – Lilás, e a construção da Linha 4-Amarela, configuram a primeira etapa de uma verdadeira rede, interligando todas as linhas metroferroviárias existentes, proporcionando novas conexões entre bairros historicamente separados e beneficiando comunidades carentes de transporte público de massa.

A Rede Essencial do Metrô, proposta como um elemento estruturador e distribuidor das viagens mais internas da cidade, aparece como uma verdadeira rede interligando seus diversos setores, não mais de forma radial, mas oferecendo alternativas para uma melhor distribuição das demandas diárias de viagens, atenuando o número cada vez mais freqüente de transferências na área central.

Ao concentrar a rede metroviária nas regiões mais adensadas e onde ocorrem os maiores fluxos de viagens, além das vantagens proporcionadas aos usuários do sistema de transporte público com o aumento da acessibilidade a empregos e serviços urbanos, obtém-se um

benefício substancial na redução dos congestionamentos de trânsito e na diminuição do tempo médio das viagens, como indicam as tabelas a seguir:

Tabela 6: Evoluções da Rede de Metrô – Fonte: Metrô

**QUADRO COMPARATIVO
EVOLUÇÃO DA REDE DE METRÔ**

	Passageiro/Dia (x 1.000)	Incremento Passageiro/Dia (x 1.000)	Extensão Rede(km)	Incremento Extensão Rede (km)	Passageiro/Dia/ Extensão da Rede (x 1.000 km)	Incremento/Passageiro/Dia/ Incremento/Extensão Rede (x 1.000km)
Atual (2006)	2.700	---	60,2	---	45	---
Consolidada 2012	4.390	1.690	89,7	29,5	49	57
Essencial (2025)	7.200	2.810	163,3	73,6	44	38

Tabela 7: Evoluções da Rede Metroviária – Fonte: Metrô

**QUADRO COMPARATIVO
EVOLUÇÃO DA REDE DE METROFERROVIÁRIA**

REDE METROFERROVIÁRIA	Extensão (km)	Passageiros Transportados (MDU - Milhões)	Passageiros Transportados/ Extensão da Rede (x 1.000)	Tempo Médio de Viagem no Transporte Coletivo (min)	Participação no Transporte Coletivo (%)	Investimentos (US\$ Milhões)
Atual (2006)	330	4,1	12	40	22,7	---
Consolidada 2012	387,5	7,4	19	27	31,5	5.750
Essencial (2025)	459,6	10,4	23	25	43,0	7.500

4. Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP)

Compreendido o problema dos transportes na cidade de São Paulo e a atuação do Metrô como solução deste, passa-se, neste ponto, à análise do projeto da Estação Tamanduateí e do trecho elevado que a sucede, iniciando-se pela compreensão do cliente da obra: a Companhia do Metropolitano de São Paulo.

4.1. Descrição da CMSP

4.1.1. Histórico

O início dos estudos metroviários no Brasil se deu em 1966 quando foi criado, pelo prefeito Brigadeiro José Vicente Faria Lima (1965-1969), o GEM – Grupo Executivo Metropolitano, o qual era composto por Antonio Delfim Netto, Aziz Ab'Saber, Francisco de Paula Quintanilha Ribeiro e José Carlos de Figueiredo Ferraz (este último, por sua vez, viria a ter uma atuação decisiva na implantação da primeira linha em seu mandato como prefeito). O GEM é considerado o antecessor do Metrô de São Paulo, o qual surgiu em 24 de abril de 1968, o que significa dizer que, neste ano de 2009, o Metrô completa 41 anos de existência.

Tão fortes foram no Metrô a atitude e a ação do prefeito Figueiredo Ferraz, que além da construção e implantação da primeira linha, a Norte-Sul, deu-se então o início da segunda, a Linha Leste-Oeste, e da terceira linha, da Avenida Paulista.

Detalhando-se estas implantações, encontra-se, no histórico do Metrô, que, em 14/09/1974, foi inaugurada a primeira linha do metrô paulistano, a Linha 1 - Azul (Santana a Jabaquara), a qual teve seu traçado definido em função da inexistência de alternativas de transporte coletivo ferroviário para os moradores dos bairros de Santana e Jabaquara, assim como para aliviar o trânsito congestionado do centro de São Paulo.

Entretanto, antes mesmo da inauguração da Linha 1 – Azul, outras linhas encontravam-se em fase de planejamento. Assim, em 1972, encontrava-se em planejamento a Linha 3 – Vermelha que, inicialmente, deveria ligar a Casa Verde à Vila Maria. Todavia, devido a problemas técnicos e a necessidades identificadas em estudos, foi alterado o planejamento inicial desta linha, levando-a, conforme definição do ano de 1975, aos bairros a que atualmente atende. Planejada, a Linha 3 – Vermelha começou a ser executada em 1976, com o início de desapropriações e de demolições. Seu primeiro trecho, ligando a Praça da Sé ao Brás foi inaugurado em 1979, havendo sua conclusão em 1988.

Quanto à Linha 2 – Verde, tem-se que seu planejamento iniciou-se em 1973, quando estudos de viabilidade realizados pelo Metrô indicaram que o trecho Clínicas-Paraíso da Linha 2 - Verde deveria ser uma das prioridades para o transporte metropolitano sobre trilhos devido ao grande crescimento da Avenida Paulista como centro comercial. Entretanto, devido às construções da Linha 3 - Vermelha, a qual concentrava a maioria das discussões e atenções na época, definiu-se o traçado inicial da Linha 2 – Verde apenas em 1979, quando o desenvolvimento urbano e o conseqüente crescimento da demanda por transportes exigiram tal postura de aceleração da expansão do Metrô. O processo de desapropriação da Linha 2 - Verde teve início em 1982, sendo seguido, após a inclusão de duas novas estações ao projeto (Vila Madalena e Sumaré) em 1985, pelo início das obras em 30/11/1987 no Trecho Paulista, entre as estações Ana Rosa e Clínicas. No dia 25/01/1991 ocorreu a viagem inaugural do Trecho Paulista, sendo que as estações Sumaré e Vila Madalena (posteriores ao projeto inicial, conforme citado há pouco) só tiveram a sua inauguração em 21/11/1998. Seqüencialmente, foram inauguradas em 15/04/2006 e em 09/05/2006, as Estações Imigrantes e Chácara Klabin, respectivamente. Recentemente, ocorreu a inauguração da estação Alto do Ipiranga em 30/06/2007, estando previstas, como já abordada, novas estações, dentre as quais se destaca a Estação Tamanduateí, alvo deste documento.

No que tange à última linha atualmente existente, a Linha 5 – Lilás, ressalta-se o fato de que suas obras tiveram início em 1998, havendo a inauguração para operações comerciais em 20/10/2002.

Descrita de forma sucinta, é fundamental destacar que, à História da Companhia do Metropolitano de São Paulo, serão acrescentadas, ainda, novas estações e novas linhas compatíveis com as necessidades existentes em São Paulo.

4.1.2. Organograma da CMSP

Dando continuidade à idéia de se conhecer o cliente envolvido nos projetos da Estação Tamanduateí e do Elevado Tamanduateí, são apresentados, na seqüência, dois organogramas referentes à Companhia do Metropolitano de São Paulo.

O primeiro organograma mostra a estrutura geral do Metrô, com a indicação de todas as suas diretorias, departamentos e gerências. Já o segundo organograma detalha a Diretoria de Engenharia e Construções, por ser esta diretoria a de maior interesse a este documento, dada sua explícita relação com os projetos e as obras em estudo.

A análise de tais organogramas é importante por permitir a identificação de interessantes aspectos concernentes à organização do Metrô de São Paulo. Assim, a enorme e diversificada gama de diretorias e departamentos presentes na estrutura organizacional do Metrô, tais como a Diretoria de Operações e a Diretoria de Assuntos Corporativos, são indícios claros da grandiosidade do Metrô como empresa e da complexidade de sua administração, associada não apenas à concepção de novas linhas, mas, também, à operação e manutenção de todo o sistema de transporte formado pelas linhas e estações atuais.

Além disso, a verificação dos departamentos existentes indica como as decisões são tomadas no Metrô e qual o foco de tal empresa. Neste caso, vale destacar a presença da Diretoria de Planejamento e Expansão dos Transportes Metropolitanos, liderada por Marcos Kassab, a qual, por envolver uma estrutura completa em torno da expansão do Metrô, mostra que, atualmente, este aspecto é de grande prioridade dentro dos objetivos do Metrô, como já havia ficado claro anteriormente quando da apresentação do Plano de Expansão.

Outro item de destaque a ser observado nos organogramas apresentados (e que ilustram como estes podem ser importantes para o estudo do Metrô) corresponde ao caráter dinâmico que a organização da Companhia do Metropolitano de São Paulo assume, havendo, diante do atual estágio de expansão do Metrô, a concepção de departamentos específicos e temporários para a gerência da construção de novas linhas, como a Linha 4, e da ampliação de linhas existentes, como as Linhas 2 e 5.

Por último, resta destacar que, independentemente da visão de organização do Metrô que os organogramas propiciam, a apresentação dos mesmos serve, especificamente em relação a este documento, para validar e indicar a relevância dos contatos no Metrô utilizados ao longo do desenvolvimento do estudo que aqui se apresenta. Neste caso, destacam-se Luiz Carlos Pereira Grillo, responsável pela já citada Diretoria de Engenharia e Construções, Argimiro Alvarez Ferreira, assistente da Diretoria de Engenharia e Construções, e Eduardo Maggi, responsável pelo Departamento de Construção Civil e Empreendimentos Associados, todos contatados para a realização das análises da Estação Tamanduateí e do Elevado Tamanduateí e presentes nos organogramas mostrados.

4.2. Integração dos transportes da cidade de São Paulo

A dimensão e multiplicidade dos deslocamentos da cidade de São Paulo exigem uma solução de integração entre os diferentes modos de transportes, capaz de suprir as necessidades da população de maneira rápida e eficaz, uma vez que a integração é o caminho mais curto para um ganho efetivo de qualidade dos transportes da cidade.

A integração atual do sistema de transporte metropolitano pode ser bem vista na Figura 9 que segue abaixo:

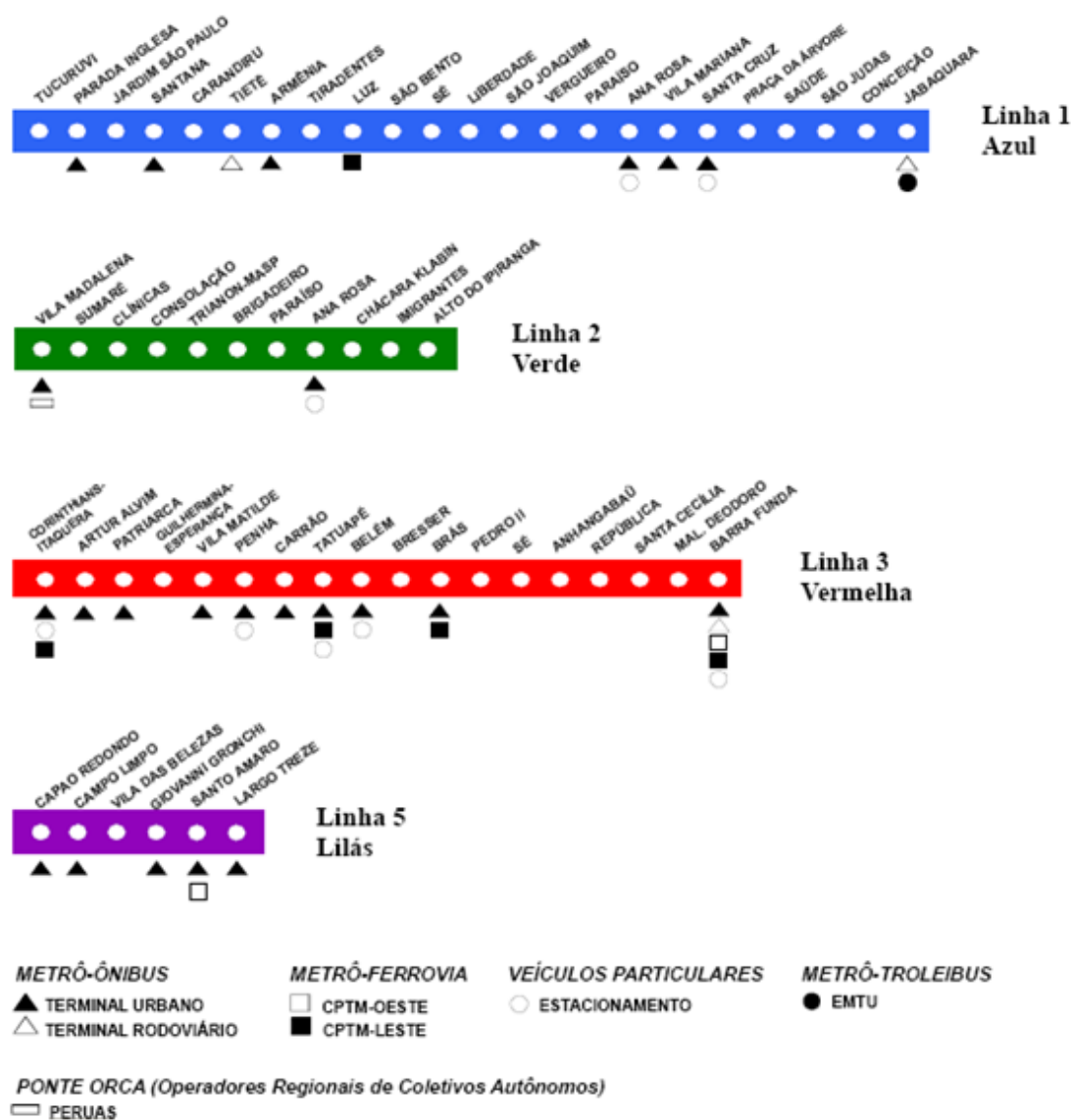


Figura 9: Tipo de integração por estação

O conceito de integração pode ser implantado com medidas físicas (terminais e estações) ou tecnológicas (sistema esquematizado de arrecadação). As integrações física e tarifária eram

realizadas exclusivamente nos terminais e estações de transferência, locais esses vistos como estratégicos. Com a implantação do Bilhete Único na cidade de São Paulo a integração tarifária pode hoje ser realizada em qualquer ponto da cidade, significando assim um avanço na integração dos transportes da cidade.

Na Figura 10, podemos observar os bilhetes Edmonson ainda utilizados pela companhia do Metrô, mas que vêm, a cada dia mais, perdendo espaço para o sistema de bilhetagem eletrônica (Figura 11), o qual é considerado uma evolução tecnológica, tanto na comercialização de viagens quanto nos controles de receita tarifária de transporte no sistema de transporte coletivo.



Figura 10: Bilhetes Edmonson – Por Dentro da Operação 2008



Figura 11: Bilhete único, com destaque para a presença das empresas do Metrô, da CPTM e da SPTrans

Definido tal modelo operacional e tarifário de integração entre os modais houve um aumento da demanda, ou seja, um incentivo ao uso do metrô o que significou para a população uma nova opção de viagem com a diminuição do seu tempo de viagem. Já para a Companhia do Metrô, tal integração significou, também, a diminuição da qualidade do sistema com a superlotação e a diminuição da qualidade do transporte, ampliando-se a necessidade de investimentos pesados na ampliação das linhas, na compra de novos trens, na capacitação de mão-de-obra e na melhoria do sistema de operação.

No modelo da Região Metropolitana de São Paulo, há um sistema bastante radial, ou seja, um sistema em que as pessoas se deslocam de suas casas localizadas nas regiões periféricas para regiões centrais onde se encontram o seu trabalho, estudo, lazer, dentre outros. Em um sistema marcadamente radial como encontramos na cidade, a melhor forma de se atingir o centro é por meio de um sistema estruturador de grande capacidade, como já abordado, dentre os quais destaca-se a presença do Metrô. Contudo, apenas sistemas estruturadores não são suficientes para atender as necessidades da população e, com isso, surgem os subsistemas que devem estar integrados de maneira satisfatória com os sistemas estruturadores para que, assim consiga-se suprir as necessidades de locomoção da população.

As atuais obras do metrô como no caso da Linha 2-Verde buscam fundamentalmente transformar o sistema atual radial em um sistema na forma de grade, o que facilitará em muito a interligação com as linhas da CPTM.

O sistema metroviário em São Paulo pode ser considerado atualmente um sistema acanhado e conseqüentemente deficitário frente à extensão de outros metrôs no mundo, mas no que tange a sua maneira de atuação frente às estratégias de implantação dentro de um

planejamento de transporte urbano, pode ser considerado um bom sistema, uma vez que opera normalmente com a captação da demanda nas pontas e distribuição na região central, ou seja, sua localização é normalmente em regiões geradoras de viagens com alto índice de urbanização e por isso a distância entre estações não deve ser de grande valor. Já as ferrovias, que trabalham de maneira distinta, devem possuir uma maior distância entre estações, pois a sua principal função é a busca de demanda em regiões menos urbanizadas como, por exemplo, em outros municípios.

A racionalização do sistema de transportes mostra que os ônibus possuem um papel muito importante no que se refere aos subsistemas, uma vez que seu uso em subsistemas locais completa a malha de ligações estruturais de maneira eficaz, atendendo os deslocamentos internos a cada região e conseqüentemente alimenta o sistema estrutural em sua volta.

A integração dos automóveis com os sistemas sobre trilhos é de fundamental importância para a diminuição do trânsito da cidade, e isso deve ocorrer com uma política coerente de estacionamentos.

4.2.1. Plano Integrado de Transportes Urbanos - PITU 2025

Como descrito há pouco, o aspecto de integração dos transportes públicos é um dos itens a ser considerado para que o problema de circulação seja minimizado ou resolvido. Com essa visão, órgãos municipais e estaduais passaram a elaborar, há alguns anos, os chamados Planos Integrados de Transportes Urbanos – PITU, havendo, como exemplos de tais planos, o PITU RMBS 2020, elaborado para a Região Metropolitana da Baixada Santista, o PITU RMC 2015, cujo foco é a Região Metropolitana de Campinas e o PITU RMSP 2025, para a Região Metropolitana de São Paulo. Em relação aos órgãos e empresas que compõem os grupos técnicos de elaboração dos citados planos, deve-se destacar a Secretaria dos Transportes Metropolitanos – STM, a Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM, a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo – EMTU, a Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. – Emplasa, a Diretoria de Planejamento Metropolitano e Territorial – DPTM, a Secretaria Estadual de Economia e Planejamento – SEP, a Secretaria Municipal de Transportes – SMT, a Companhia São Paulo Transportes – SPTRANS, a Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo – CET e a Secretaria Municipal de Planejamento – SEMPLA.

Trata-se, conforme definição própria encontrada nos planos, de um processo contínuo de planejamento, o qual, dada sua importância, será brevemente descrito nos subitens seguintes, com foco no PITU RMSP 2025.

4.2.1.1. Objetivos

O PITU 2025 visa, pela apresentação e caracterização do sistema de transportes coletivos em operação na Região Metropolitana de São Paulo existente no momento de sua elaboração (o início das discussões para o PITU 2025 deu-se em 2005), propiciar, através de suas propostas, o desenvolvimento deste sistema de transportes, e estabelecer diferentes estratégias para o sistema de transportes futuro, caracterizando e apresentando o sistema previsto para a data de referência (2025). Tais estratégias são caracterizadas por conjuntos integrados de proposições de investimento em infra-estrutura, gestão e preços de tarifas.

O objetivo da política de transportes visa fundamentalmente soluções que englobem aspectos como competitividade econômica, eficiência energética, segurança, articulações intermodais (integração) e abrangência geográfica da escolha.

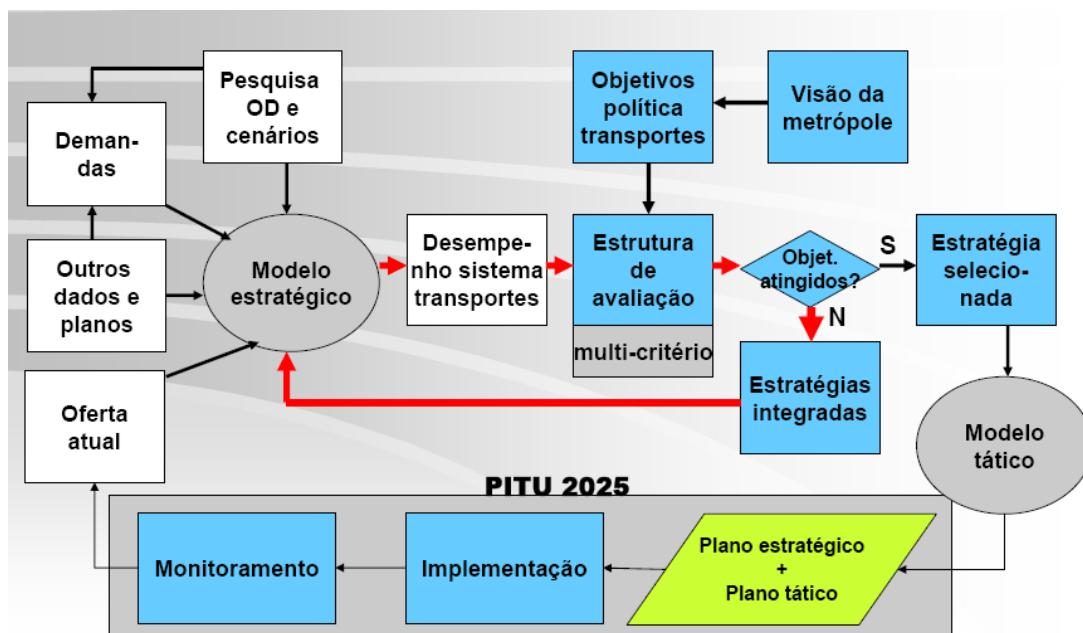


Figura 12: Fluxograma do processo de planejamento – Fonte: PITU 2025

A figura anterior indica o processo de planejamento que resulta no PITU. Parte de seus elementos são apresentados a seguir, havendo, também, a indicação dos métodos e dos parâmetros que foram utilizados no PITU 2025.

4.2.1.2.Estratégias

As estratégias são consideradas, dentro do PITU, como sendo as propostas tanto dos órgãos municipais e estaduais, quanto do próprio plano integrado a ser elaborado. Dessa forma, destacam-se, dentro do PITU, dois tipos de estratégia, correspondentes à Estratégia Mínima e à Estratégia Preferida.

A estratégia mínima refere-se às estratégias dos órgãos municipais e estaduais e que se processam independentemente da elaboração do Plano Integrado de Transporte Urbano.

Tendo por base a data de referência do PITU, verificam-se quais são os efeitos da estratégia mínima neste horizonte, identificando-se o quanto tais efeitos distam dos objetivos finais do PITU.

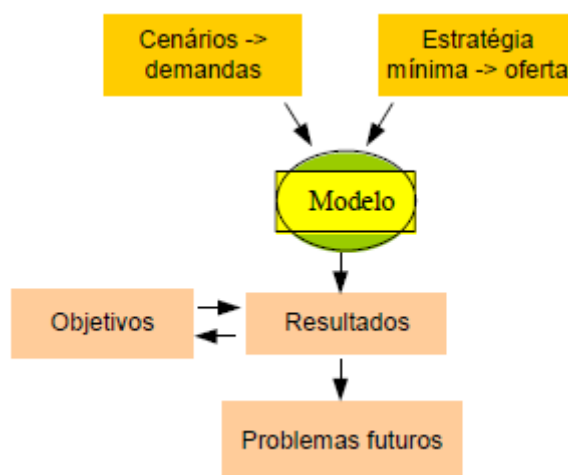


Figura 13: Estratégia Mínima e identificação de Problemas Futuros – Fonte: PITU 2025

Conhecidas estas diferenças, denominadas de problemas futuros de transporte, passa-se à elaboração de propostas integradas que eliminem estas discrepâncias entre objetivos desejados e resultados prováveis e que conduzam ao resultado final almejado pelo plano integrado. Utilizando o Modelo Tranus (descrito posteriormente), as propostas iniciais são analisadas até que se chegue a um desempenho adequado. A partir deste ponto, estas propostas são analisadas com o módulo de uso do solo do Tranus, que leva em consideração aspectos de uso do solo e sua ação recíproca nos transportes públicos, sendo aprovadas quando apresentarem compatibilidade entre os resultados indicados pelo Tranus e o cenário futuro traçado em termos de localização de atividades e geração de viagens. Neste momento, as citadas propostas passam a compor a estratégia preferida final.

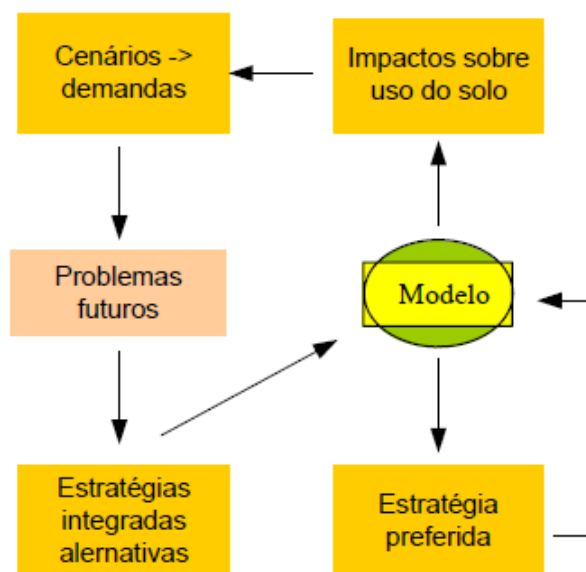


Figura 14: Uso de Problemas Futuros para se chegar à Estratégia Preferida – Fonte PITU 2025

Conforme texto do PITU 2025, “a estratégia preferida final conterá o conjunto de políticas que, adicionadas às da estratégia mínima, constituirá o Plano Integrado, ou seja, o PITU 2025”.

4.2.1.3. Definição de cenários

Para o ano horizonte de 2025 são apresentadas as projeções futuras dos dados sócio-econômicos para três diferentes cenários: Pessimista, Tendencial e Otimista.

O objetivo de tais cenários é estabelecer linhas mestras de perspectivas de desenvolvimento econômico e social para que então se possa estimar os parâmetros quantitativos de demanda de transportes para orientar a revisão de planos anteriores (no caso, o PITU 2020 para a Região Metropolitana de São Paulo).

4.2.1.4. Sugestões de uso e ocupação do solo

O uso e a ocupação do solo da cidade são fundamentais no processo de geração de viagens e por isso devem ser analisadas de maneira cuidadosa e eficaz, sendo importante fonte de informações para a elaboração de estratégias pelo PITU.

Para o PITU 2025, alguns aspectos de uso e ocupação do solo foram observados. Na Figura 15, podemos observar a densidade populacional das zonas da área urbanizada, a qual nos mostra a alta densidade populacional próximo ao centro da cidade. Na Figura 16 temos as áreas de adensamento sugeridas para a otimização populacional da cidade.

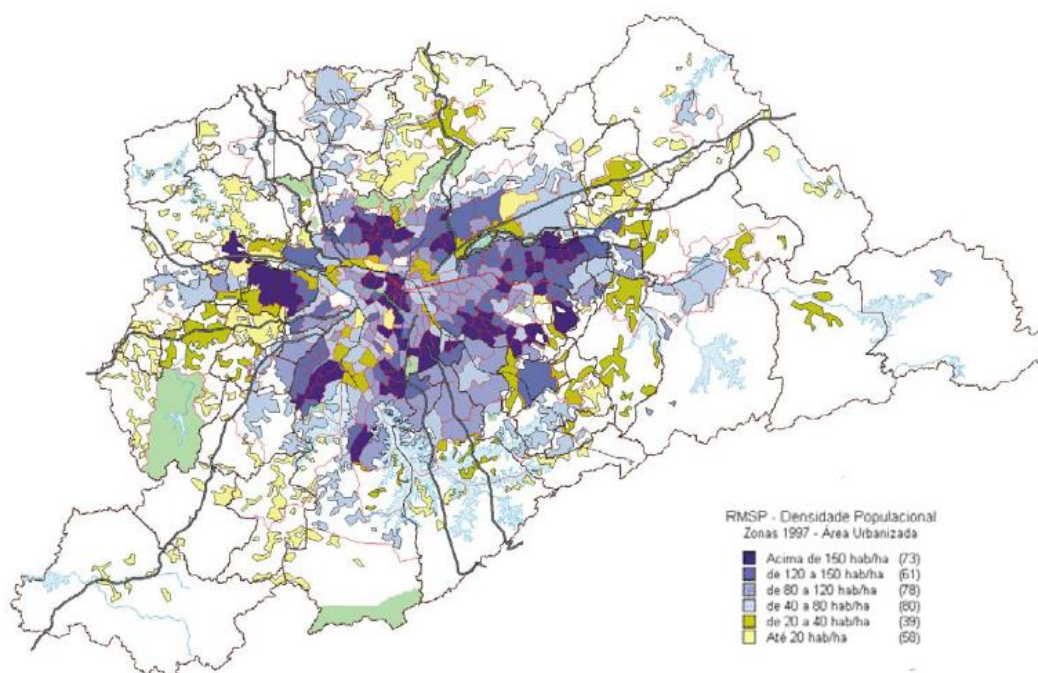


Figura 15: RMSP – Densidade populacional das zonas de 1997 – Área urbanizada – Fonte: PITU
2025

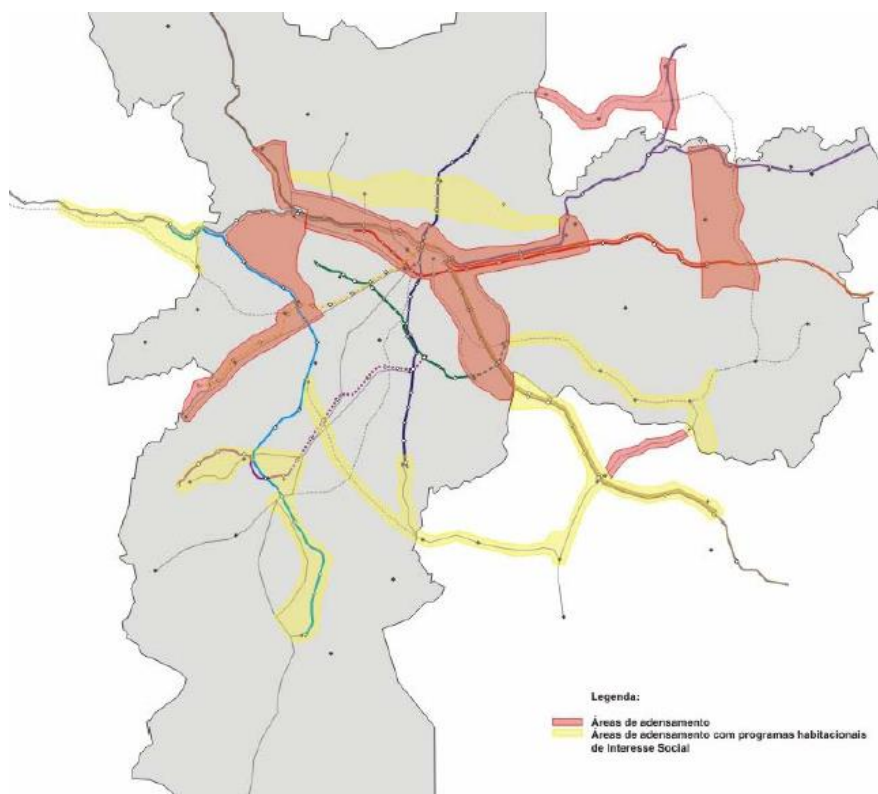


Figura 16: Áreas de adensamento sugeridas – Fonte: PITU 2025

4.2.1.5. Áreas de adensamento e centralidades

Dentro das áreas de adensamento da cidade é possível se atribuir para cada centro populacional o atributo de centralidade, a qual pode vir a se constituir em um centróide, ponto representativo de origens e destinos de viagens. Na Figura 17, temos um mapa da cidade com a localização das centralidades sugeridas dentro do PITU 2025. Já na Figura 18, além das centralidades, é possível também ver as áreas de adensamento sugeridas, e com isso temos uma noção da interface entre os centros populacionais atuais.

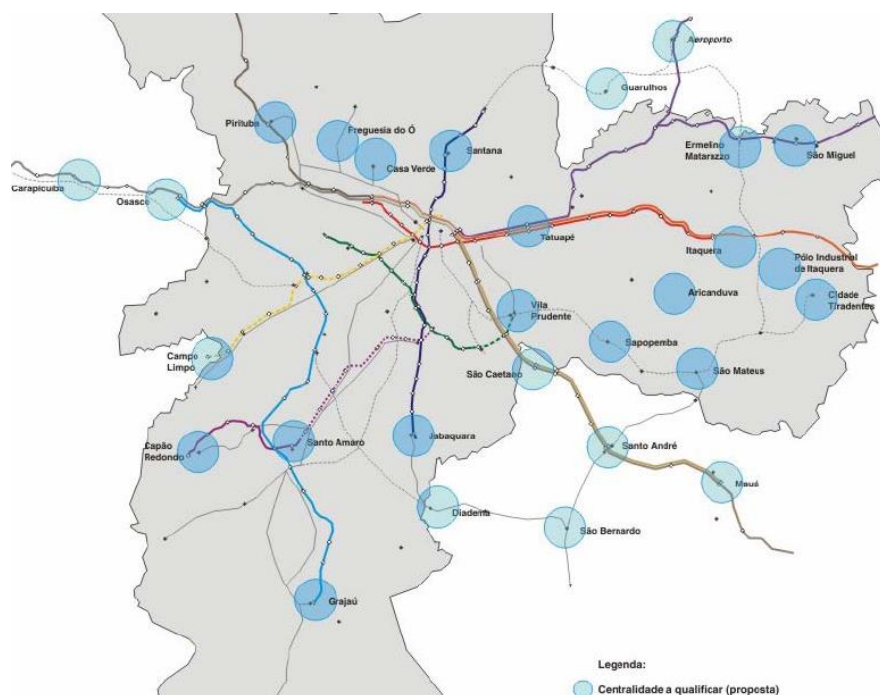


Figura 17: Centralidades sugeridas – Fonte: PITU 2025

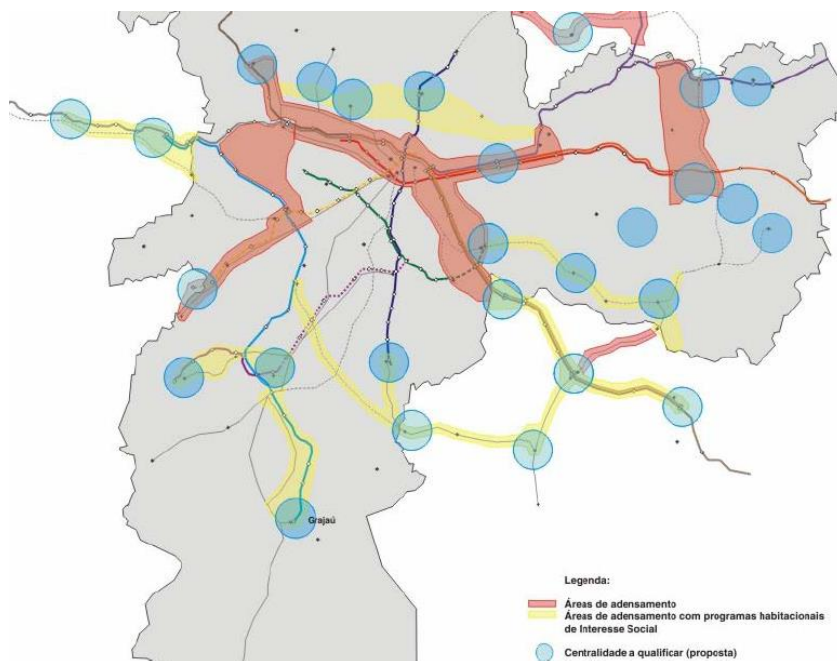


Figura 18: Áreas de adensamento e centralidades sugeridas – Fonte: PITU 2025

4.2.1.6. Viagens pela rede de transporte coletivo de alta e média capacidade

Com as áreas de adensamento e os centróides definidos, pode-se avaliar a situação atual dos transportes de alta e média capacidade através da verificação de opções de transporte entre os centróides inicialmente definidos e os novos centróides oriundos do adensamento. Na Figura 19 podemos observar as viagens atendidas pela rede de transporte coletivo de alta e média capacidade prevista na estratégia mínima. Na Figura 20, por sua vez, observamos as possíveis viagens que não são atendidas e que se constituem, dessa forma, em carências a serem supridas pelo sistema de transporte coletivo.

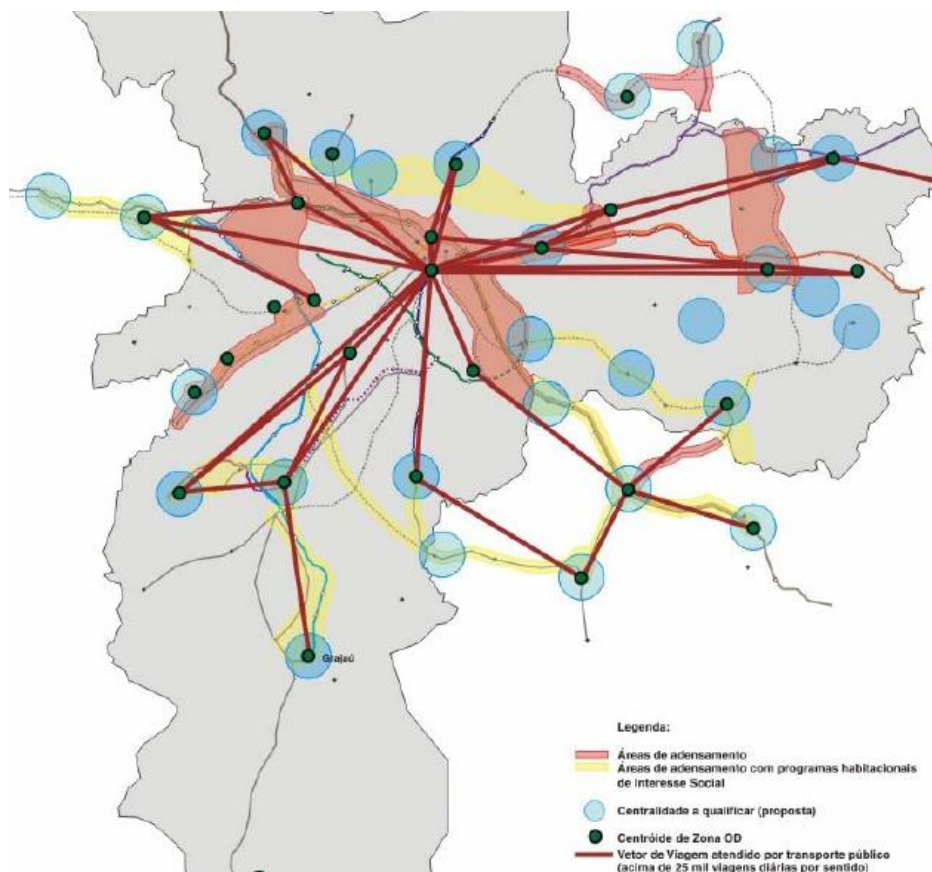


Figura 19: Viagens atendidas pela rede de transporte coletivo de alta e média capacidade –

Fonte: PITU 2025

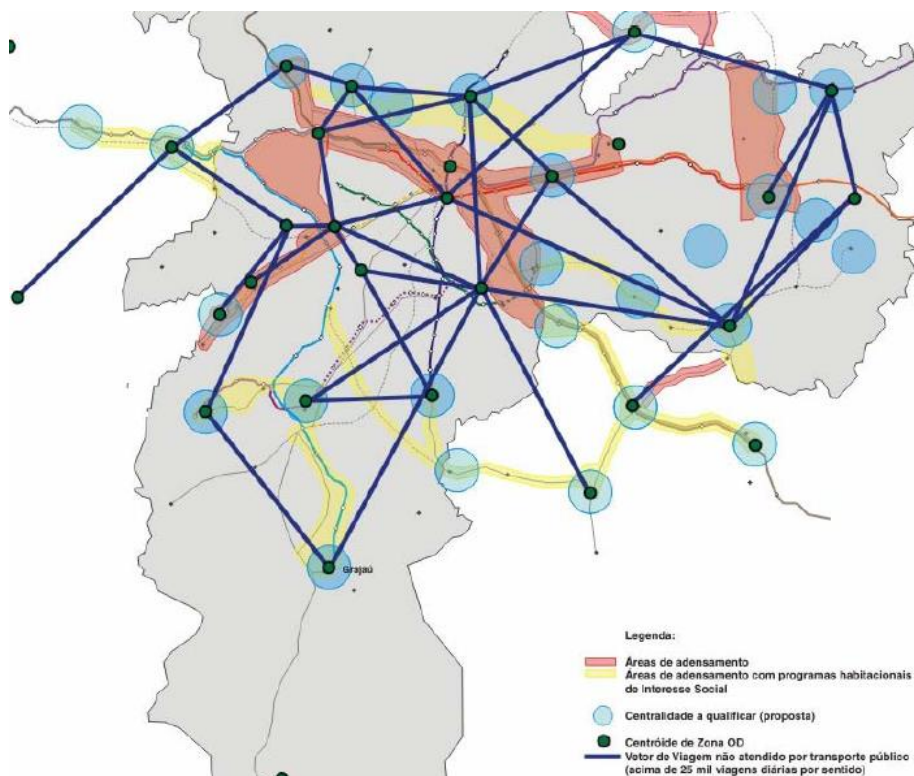


Figura 20: Viagens não atendidas pela rede de transporte coletivo de alta e média capacidade prevista – Fonte: PITU 2025

O conhecimento das viagens não atendidas embasa, conforme descrito nas estratégias mínima e preferida, as propostas do PITU 2025.

4.2.1.7. Modelo de desenvolvimento das diferentes estratégias

O método adotado no desenvolvimento de um plano de transportes na região metropolitana de São Paulo necessita de uma simulação das estratégias integradas para as diversas proposições, as quais visam contribuir para a solução dos problemas de transporte e para a abertura de novas perspectivas para a metrópole. Para tal simulação integrada, o corpo técnico de elaboração do PITU, faz uso do software Tranus, que permite a consideração simultânea dos aspectos ligados às atividades exercidas na metrópole, que geram deslocamentos de pessoas, que por sua vez precisam de sistemas de transporte, que altera o uso do solo, afetando novamente a demanda, e assim sucessivamente, em um processo cíclico. O Tranus é utilizado tanto para verificar o cenário futuro com a implementação apenas da estratégia mínima, quanto para verificar os efeitos futuros das estratégias preferidas sugeridas pelo PITU. Com o uso dessa nova ferramenta (o software Tranus), houve uma significativa ampliação da abrangência das informações e com isso estratégias integradas

passam a contemplar não só a interferência em sistemas de transportes, mas também políticas de desenvolvimento urbano que contribuam na obtenção de melhores resultados. Assim, as políticas adotadas e as recomendações do PITU podem, de fato, adquirir um caráter e integração não apenas com meios de transporte, mas, também, com outras políticas urbanas, como objetiva o PITU 2025.

A partir deste processo (traçado de estratégias, estudo de uso do solo, emprego de softwares como o Tranus, dentre outros), que apresenta semelhanças com o processo a ser descrito posteriormente ao se abordar os modelos de Oferta e Demanda do Metrô de São Paulo, faz-se o planejamento dos transportes coletivos das Regiões Metropolitanas de São Paulo, de Campinas e da Baixada Santista, havendo, como altamente recomendado, a consideração dos aspectos fundamentais de integração do meios de transporte por meio de um plano integrado, ou seja, “um plano de transportes urbanos que abrange todos os modos de transporte, individual e coletivo, bem como o sistema viário, o trânsito, as medidas de gestão e as políticas de preços, bem como recomendações para políticas de urbanismo”, conforme texto do PITU 2025.

5. Estudo de Oferta e Demanda

Dando continuidade à análise da Estação Tamanduateí, busca-se, neste ponto, compreender quais os estudos que indicam a necessidade de implantação de tal estação e quais os valores previstos de demanda que justificam a Estação Tamanduateí.

5.1. Pesquisa Origem e Destino

Para a realização dos estudos de oferta e demanda de transportes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) lança-se mão de uma ferramenta importante para a caracterização da demanda: a pesquisa Origem e Destino (O/D). Tal pesquisa fornece dados para o conhecimento da natureza dos deslocamentos da população em um aglomerado urbano, levando em consideração a situação socioeconômica desta, auxiliando no planejamento dos transportes.

A pesquisa Origem e Destino permite obter um padrão das viagens, distribuindo-as segundo as origens, os destinos, os modos de transporte, os motivos e os horários de realização. Além disso, podem ser estabelecidas relações quantitativas entre as viagens realizadas e outras variáveis, como características socioeconômicas da população e aspectos físicos de ocupação urbana.

Ao se mapear tais viagens, pode-se fazer uma comparação destes fluxos de viagem com a rede de linhas de transporte e a rede de vias existentes, de modo a identificar as carências no atendimento da demanda de transporte na RMSP. Com base nesta comparação é possível fundamentar propostas para ampliação das redes existentes, satisfazendo as projeções futuras de demanda de viagens.

A primeira Pesquisa Origem e Destino realizada na RMSP data de 1967, visando a obtenção de dados para a rede básica do Metrô a ser executada na década de 70. Desde então, tornou-se um instrumento fundamental para o planejamento urbano, sendo realizada a cada dez anos. Contudo, tal espaçamento não é suficiente dado a dinamicidade da RMSP. Assim, entre as pesquisas de 1997 e de 2007, em 2002, foi realizada uma Aferição da Pesquisa Origem e Destino, com o objetivo de verificar alterações no índice de mobilidade.

Abaixo serão apresentadas as viagens provenientes de estudos de O/D para 1997 e 2002. Com estas, é possível analisar a evolução da demanda de transportes na RMSP e sua distribuição. Pode-se perceber que aumentaram o número de viagens entre o ABC e a Zona Sul, entre Guarulhos e a Zona Leste e entre Taboão da Serra e Pinheiros. Ou seja, uma

tendência de haver viagens de municípios próximos a São Paulo e a zonas periféricas da cidade, e assim chegar ao centro da cidade.

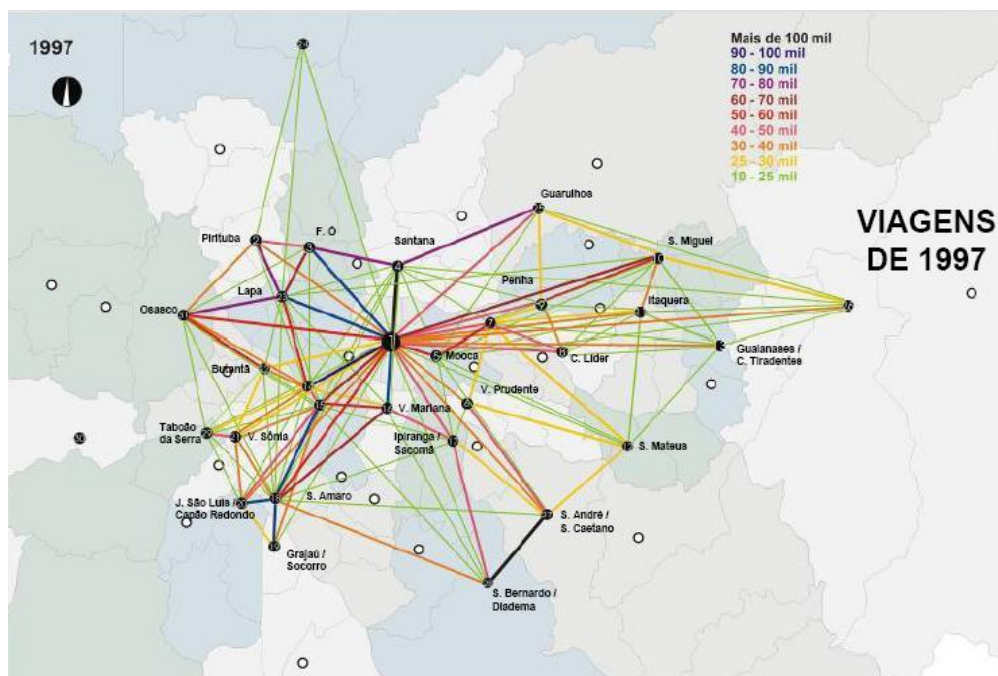


Figura 21: Viagens para a pesquisa de 1997

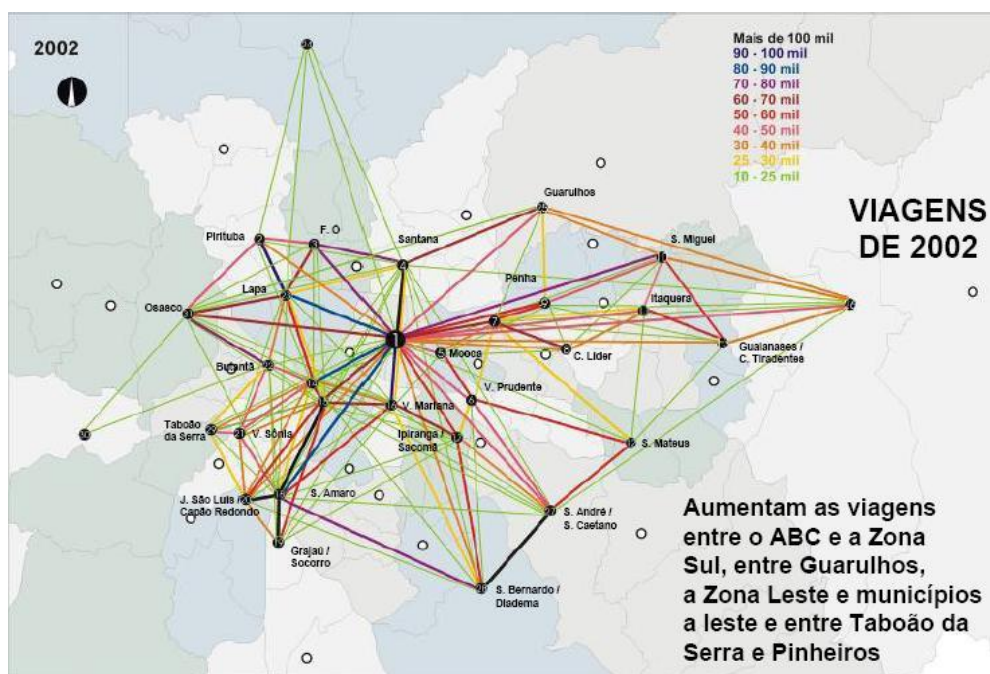


Figura 22: Viagens para a pesquisa de 2002

Os resultados para 2002 foram sobrepostos à rede já existente, de modo a facilitar a visualização dos pontos de carência da rede. A Figura 23 abaixo apresenta as viagens que são

atendidas pela rede metropolitana de transportes públicos e as viagens não atendidas pela mesma.

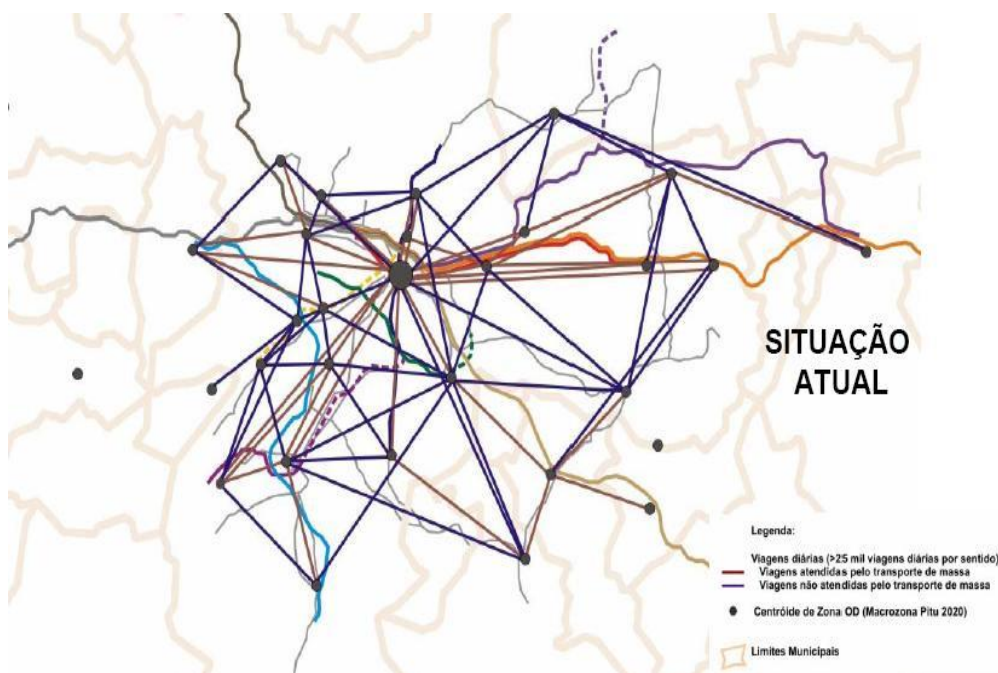


Figura 23: Viagens atendidas (em marrom) e não atendidas (em azul) pelo transporte urbano na RMSP

Com as figuras acima e os resultados da pesquisa O/D, é possível planejar construções de novas linhas de metrô e modernização das já existentes, além de integração destas com os transportes coletivos da RMSP. Em outros âmbitos além do metrô, tal pesquisa auxilia na melhoria do atendimento das linhas de ônibus, implantação de novos terminais e estratégias de redução dos congestionamentos.

A pesquisa O/D é um instrumento muito importante, porém possui algumas desvantagens, como o alto custo, que pode chegar à ordem de grandeza de milhões de reais, por causa da grande quantidade de dados que precisam ser coletados. Outro problema da pesquisa é a confiabilidade de dados fornecidos pelo entrevistado, que pode esquecer uma viagem atípica realizada ou então desconsiderar outros tipos de viagem que não estão relacionadas com emprego, como, por exemplo, fazer um desvio no caminho para ir à farmácia ou ao supermercado na volta do trabalho. A pesquisa pode considerar estes dados de forma incorreta ou simplesmente não capturá-los.

Para efeito deste documento, utilizou-se a Pesquisa Origem e Destino realizada em 1997 devido à impossibilidade de acesso à pesquisa O/D realizada em 2007, a qual até a presente data não havia sido publicada. A pesquisa de 1997 contemplou cerca de 120 mil pessoas em

30 mil domicílios, escolhidos aleatoriamente na RMSP, distribuídos em 389 zonas de pesquisa, as quais serviram de subdivisão da RMSP [METRÔ, 1997].

5.2. Modelos de projeção de oferta e demanda

Com auxílio dos dados da Pesquisa O/D, o Metrô é capaz de formular a entrada para os modelos matemáticos de previsão de demanda. Tais modelos buscam representar como as pessoas se deslocam no seu dia-a-dia e fornecerão como resultados o volume de passageiros que utilizará o serviço estudado. A modelagem matemática, essencial para prever as mudanças de fluxo e tráfego na RMSP e seus impactos, baseia-se na compreensão dos mecanismos de interação entre o sistema de transporte e o sistema socioeconômico.

O processo baseia-se em duas etapas. Na primeira etapa, utilizam-se como dados de entrada as matrizes de viagem provenientes da pesquisa O/D, as quais representam a situação atual dos deslocamentos na cidade através dos meios de transporte público urbano. Na segunda etapa, simula-se a situação futura do transporte urbano e se projetam as matrizes de viagem da demanda que se seguirá.

Dentre as técnicas de cálculo de demanda, a mais utilizada leva em consideração modelos de distribuição, geração e divisão modal. A partir destes se gera uma projeção da rede de tráfego e transporte público urbano, a qual representa a oferta futura deste. Portanto, é de suma importância uma base de dados confiável, principalmente que a Pesquisa O/D seja atualizada e abrangente, pois esta gerará a rede que servirá de base para estudar soluções de oferta de transporte, as quais serão confrontadas com a demanda esperada.

Historicamente, o Metrô trabalhava com modelos de demanda baseados em quatro etapas: geração, distribuição, divisão modal e atribuição. Na primeira etapa é definido o total de viagens produzidas e atraídas em cada zona da área de pesquisa. Na etapa de distribuição as viagens são organizadas em uma tabela de origem-destino. Na divisão modal são considerados tanto o transporte coletivo como o individual na separação das viagens. Por fim, na etapa de atribuição as viagens são alocadas na rede de transporte, a qual constituiria o modelo de oferta.

Utilizando dados atuais e projeções de dados futuros, como população, renda, emprego, entre outros, o modelo realiza uma rede de transportes futura. Contudo, no modelo quatro etapas as variáveis são consideradas independentes do modelo, de modo que dados futuros não levam em consideração as mudanças ocorridas no sistema de transporte ao longo do horizonte de previsão. Assim, a distribuição das atividades no futuro não reage com as

mudanças no sistema, de modo que apenas no final do período de estudo é possível avaliar com segurança as alterações causadas pela implementação da rede projetada.

Atualmente, nos modelos de demanda, são aplicadas técnicas estatísticas de análise de regressão para geração de viagens, modelos gravitacionais para a distribuição e modelos probabilísticos na divisão modal. Nos modelos de oferta, utiliza-se o software canadense EMME (Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium), composto por rotinas computacionais que simulam os sistemas de transportes identificando a quantidade de passageiros, veículos ao longo das vias, analisando a demanda atual e a previsão da demanda futura.

Tal mudança foi necessária principalmente, devido à implementação de um novo tipo de cobrança tarifária: o Bilhete Único (citado anteriormente). Em 2005, optou-se por melhorar os estudos de oferta, pois no modelo anteriormente utilizado, não era possível representar a integração com os demais meios de transporte que não o metrô. Assim, no modelo anterior, todos os embarques eram tarifados, de modo que o modelo não aceitava a situação de transferência de meios de transporte numa mesma viagem sem cobrar a tarifa respectiva.

5.3. Metodologia de análise de dados

Para a elaboração dos resultados dos estudos de demanda e da rede de transportes necessária, o Metrô desenvolve uma metodologia de análise e rotina de cálculo, facilitando o entendimento e a organização dos dados.

Primeiramente são definidas representações virtuais da realidade, a fim de poder passar a atual configuração dos transportes para o meio matemático. Neste âmbito, a oferta é representada como nós, links e linhas de transporte. Os links são ligações entre dois nós e os nós representam os pontos de origem ou de destino da viagem, ou ponto de transferência entre viagens.

Anteriormente, se adicionava a entrada da tarifa em cada nó, porém devido ao Bilhete Único, nem sempre as pessoas que demandam um meio de transporte pagarão a tarifa na entrada, podendo facilmente trocar de veículo sem ter que pagá-la. Atualmente o Metrô representa de outro modo a cobrança tarifária. A rede de simulação é agora feita em camadas, com uma complexa rede de interligações entre elas, de modo a representar corretamente as transferências tarifárias.

Com a rede de oferta atual já modelada, deve-se calibrar o modelo, a fim de que este seja válido para as demais simulações. Calibrar o modelo significa “fazer ajustes em seus

parâmetros de tal modo que os valores de demanda estimados para a situação atual, ou ano base do modelo, sejam próximos aos valores de demanda reais, fornecidos pela operação dos sistemas” [LAIZA, 2008]

Com o modelo já calibrado e com a pesquisa O/D mais atual possível, caracterizando o padrão de deslocamentos das pessoas, deve-se estabelecer relações entre as viagens realizadas e os motivos para tal, chegando ao modelo de previsão de viagens. A seguir, faz-se a projeção dos fatores que levaram às viagens a fim de gerar cenários prospectivos, e a partir destes chega-se aos deslocamentos futuros (matrizes de viagens futuras). Por fim, tais deslocamentos são alocados na rede proposta e deste tem-se a quantidade de demanda que poderá ser atendida por cada meio de transporte.

Atualmente são utilizados os resultados da Pesquisa O/D de 1997, pré-Bilhete Único, tal que a matriz de viagens é bem menor do que se considerasse a interligação promovida pelo Bilhete Único. A Pesquisa O/D de 2007 foi lançada em abril de 2009 e será de suma importância para balizar uma nova análise de dados, agora já provenientes de situações com o Bilhete Único, e que gerarão um novo modelo matemático.

É peça chave do modelo incluir na sua análise características socioeconômicas da população e da região, além de conforto dos passageiros e segurança. Tais informações são provenientes da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (Fundação Seade) e ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Assim, a matriz de demanda de viagens futura fica completa e apresenta não só características de transporte, mas, também, características sociais importantes, já que estas influenciam o movimento e a interatividade entre as pessoas e regiões da RMSP.

A Figura 24, indicada abaixo, apresenta um esquema de como tais informações são processadas e seus frutos:

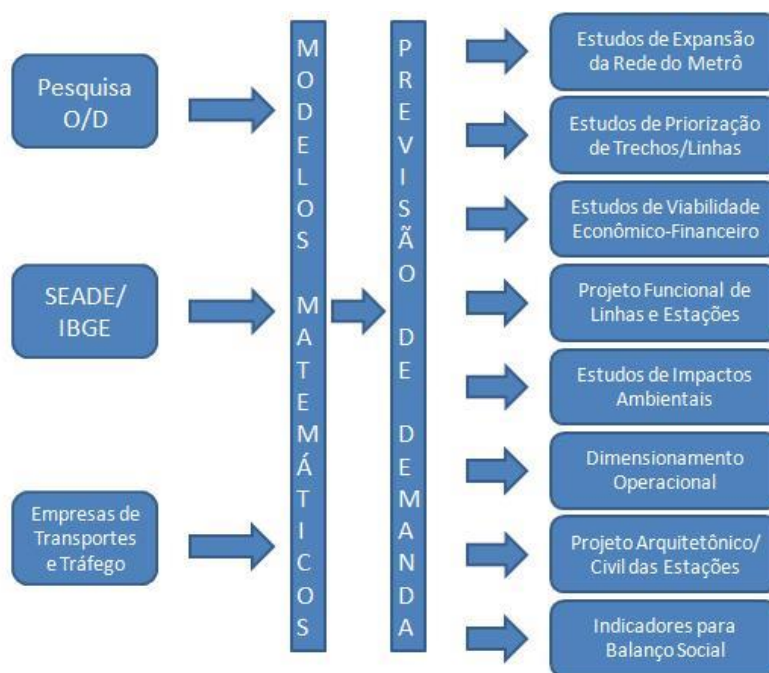


Figura 24: Fluxo de Informações

Portanto, a partir da metodologia apresentada, o metrô é capaz de fornecer dados de demanda futura e sua adequação à rede de transportes da RMSP, de modo a atender, para um horizonte de projeto, as necessidades de viagens da população, e também, de modo a gerar viagens a zonas importantes e que poderiam ser desenvolvidas na cidade, favorecendo uma melhor ocupação do solo.

5.4. Apresentação de Dados

Os dados a serem apresentados a seguir são referentes à demanda da Linha 2 – Verde, objeto de estudo deste trabalho, em dois horizontes de estudo distintos: para o Ano Base 2000 e para o Ano Base 2012. Apesar de fornecerem resultados distintos, ambos os estudos baseiam-se na Pesquisa O/D de 1997. Tal diferença ilustra a importância das demais variáveis, como a implantação do Bilhete Único, na calibração do modelo. Primeiramente, apresenta-se uma análise dos dados provenientes do estudo de Ano Base 2000.

As tabelas abaixo indicam o carregamento da linha, e os embarques e desembarques em cada estação, no horário de pico e média diária. No estudo foi considerada a operação das linhas 4 - Amarela (trecho Butantã- Paulista) e 5 – Lilás (trecho Capão Redondo – Largo 13).

Tabela 8: Demanda na Linha 2 – Verde para o Ano Base 2000

Tabela de Demanda na Linha 2 – Verde			
Estação	HORA PICO DA MANHÃ		DIÁRIO
	Embarques	Desembarques	Embarques
Vila Madalena	4100	8200	53000
Sumaré	1600	2000	16000
Clinicas	3400	5300	37000
Consolação	5700	20400	112000
Trianon-Masp	4700	4400	39000
Brigadeiro	5100	8900	65000
Paraíso	24100	9200	141000
Ana Rosa	11500	15500	116000
Embuaçu	2100	2000	18000
Imigrantes	2200	3400	24000
Ipiranga	10200	9600	85000
Sacomã	12700	9600	96000
Tamanduateí	11800	6900	80000
Vila Prudente	6600	3200	42000
Vila Alpina	1700	2200	17000
Oratório	8200	4900	56000
Total	115700	115700	997000

Pôde-se perceber que a tabela apresenta as Estações Vila Alpina e Oratório, as quais continuam em estudo e podem vir a não existir. Além disso, a estação denominada Embuaçu na tabela refere-se à Estação Chácara Klabin, já construída. Isto se deve ao ano do estudo utilizado neste trabalho (1998) o qual não se adequa perfeitamente às mudanças do planejamento dos transportes da RMSP.

A variação do carregamento na linha é resultante da acentuada renovação existente. Tal renovação é devida as características da linha, como sua forma não-radial, interligando pólos

da RMSP e estando conectada à CPTM, a outras linhas de metrô e à zonas de grande fluxo de ônibus.

Não só a renovação da linha, mas também os grandes volumes de passageiros em algumas estações são justificados pelo caráter de interligação da Linha 2 – Verde, com os demais meios de transporte coletivo em São Paulo. Primeiramente tem-se a estação Vila Madalena, na qual o grande volume de passageiros se deve a integração com as linhas da Ponte Orca Cidade Universitária e Ponte Orca Barra Funda, além do terminal de ônibus na Avenida Heitor Penteado.

Já a estação Consolação possui um grande volume, pois é interligada ao corredor de ônibus da Avenida Consolação/Rebouças, além de futuramente ter conexão com a estação Paulista da linha amarela do metrô. As estações Paraíso e Ana Rosa são conhecidas pelo grande volume de passageiros, devido à interligação com a Linha 1- Azul e com importantes terminais de ônibus.

O trecho Ana Rosa – Vila Prudente é um trecho estratégico, pois devido a barreiras físicas, como grandes avenidas radiais e córregos, e a barreiras históricas e sociais, tais bairros não são conectados. Esta ligação seria essencial para aperfeiçoar as viagens, evitando a forma atual, triangular, destas. Assim, o sistema de ônibus já existente deve continuar, ou inclusive ser ampliado. As estações e a ampliação da Linha 2 – Verde neste trecho não são justificadas para substituir os ônibus, mas sim para o auxílio de uma implantação de sistemas troncais que facilitem a chegada ao Centro.

Baseado nisto tem-se estações como Ipiranga, Sacomã e Vila Prudente envolvidas na integração com o sistema de ônibus da cidade. A estação Ipiranga recebe cerca de 75 ônibus/h [METRÔ,1998] e se torna uma importante ligação daqueles passageiros provenientes de bairros mais afastados com o metrô. A estação Sacomã terá interligação com o Expresso Tiradentes, o qual ligará a região ao Centro. E por fim, a estação Vila Prudente terá interligação com o Terminal Vila Prudente, o qual recebe sete linhas e 61 ônibus/h [METRÔ,1998], gerando uma grande demanda nesta estação. Além destas a Estação Tamanduateí terá interligação com a CPTM, favorecendo o acesso ao Brás e ao Centro, o que justifica sua posição e sua implantação. Por fim tem-se a estação Chácara Klabin, a qual apresentará interligação com a Linha 5 – Lilás, no futuro e por isso também possuirá uma grande demanda de passageiros para acessarem o eixo da Paulista e o Centro.

A segunda análise contempla a estimativa da demanda para o Ano Base 2012 detalhando não só os embarques e desembarques da hora de pico e totais, mas também as integrações,

conforme a tendência do Plano Diretor e do PITU 2020 e 2025. Estão sendo consideradas as integrações com a Linha 4 – Amarela, Linha 5 – Lilás, CPTM, Expresso Tiradentes e terminais de ônibus. Nesta análise foi considerada a situação do bilhete único no estudo da demanda, diferentemente da Tabela 10 na qual foram apresentados valores provenientes do estudo de demanda anteriormente utilizado pelo Metrô, utilizando a divisão modal e o método 4 etapas como base. Além disso, na elaboração deste estudo admitiu-se que a Linha 4 – Amarela estaria operando no trecho Vila Sônia – Luz e a Linha 5 – Lilás estaria operando no trecho Capão Redondo – Chácara Klabin.

Tabela 9: Demanda na Linha 2 – Verde para o Ano Base 2012

Tabela de Demanda na Linha 2 – Verde							
Estação	HORA PICO DA MANHÃ						DIÁRIO
	Vila Madalena - Vila Prudente			Vila Prudente - Vila Madalena			
	Embarques	Desembarques	Carregamento	Embarques	Desembarques	Carregamento	
Vila Madalena	3365	-	3365	-	5852	0	35390
Sumaré	617	199	3783	94	2311	5852	12370
Clinicas	608	208	4183	72	4661	8070	21310
Consolação	11999	1622	14560	2820	17576	12659	130630
Trianon-Masp	576	3088	12048	421	7806	27415	45660
Brigadeiro	581	1308	11321	319	10399	34800	48410
Paraíso	255	4894	6682	16275	1313	44880	87310
Ana Rosa	4927	335	11274	307	15881	29918	82360
Chácara Klabin	4640	2013	13901	5377	8719	45492	79670
Imigrantes	518	1926	12493	1742	1113	48834	20350
Ipiranga	105	4187	8411	2923	858	48205	31000
Sacomã	574	3569	5416	15637	2099	46140	84020
Tamanduateí	1591	2984	4024	21893	1184	32602	106180
Vila Prudente	-	4024	0	11893	-	11893	61120
Total Sentido	30357	30357	-	79772	79772	-	845780
Total 110129							

Contudo, os valores apresentados acima não levam em consideração o número de passageiros que está se beneficiando da integração com os demais meios de transporte públicos urbanos. Como esta é a finalidade da política de transporte na cidade, coerente com o Plano Diretor e o PITU 2020 e 2025, o Metrô elabora, para o mesmo estudo de demanda, uma

tabela que apresenta o número de passageiros previstos nas estações discretizados em cada meio de transporte proveniente.

Para efeito de volumes totais de carregamento na linha, os estudos elaborados com Ano Base 2000 e com Ano Base 2012 possuem resultados semelhantes e coerentes. Porém, ao detalharem-se as origens dos passageiros, foi possível analisar que algumas regiões são extremamente de interligação e possuem pequena demanda lindeira, enquanto que outras estações apresentam alta demanda lindeira, significando uma necessidade de metrô da população no entorno.

Os resultados são coerentes com a análise do metrô feita em 1998, de modo que para o Ano Base 2012 valerá a mesma explicação fornecida nos parágrafos anteriores em que se explicitou o porquê dos grandes volumes de passageiros em determinadas estações. Tal análise servirá de base para a justificativa do posicionamento da Estação Tamanduateí e do traçado da ampliação da Linha 2 – Verde do metrô.

A Estação Tamanduateí é uma estação estratégica, pois servirá como forte integração entre a população da zona sul e do ABC com o Centro da cidade. Pode-se perceber que o volume de passageiros provenientes de zonas lindeiras é muito baixo quando comparado àquele proveniente da CPTM e das diversas linhas de ônibus da cidade que chegam à tal estação. Isto significa que o posicionamento da Estação Tamanduateí não é proveniente de uma demanda local de viagens, mas sim de uma demanda de integração, a qual utilizará tal estação como ferramenta para chegar das regiões mais afastadas ao Centro.

Já o traçado da Linha se justifica pelos mesmos motivos, pois a maior parte das estações é caracterizada por grandes volumes de pessoas por integração, com exceção das Estações Imigrantes a qual está posicionada numa zona altamente populosa e seu volume de passageiros é majoritariamente proveniente de acessos lindeiros. Contudo as demais são estações em que o volume de demanda lindeira é relativamente inferior aos volumes de passageiros provenientes de ônibus, CPTM e demais linhas de metrô.

Conforme a revista Engenharia (2008), a escolha do traçado de uma linha deve ser balizada pelos seguintes aspectos: atendimento da demanda lindeira ou integrada aproximando-se dos subcentros urbanos, facilidade de integração com estações existentes ou planejadas, integração com o sistema de ônibus, melhorando a distribuição de viagens, atentar aos maiores eixos de demanda, substituindo as viagens de ônibus por metrô e melhorando a qualidade de vida, e por fim, facilitar a ultrapassagem de barreiras físicas que possam

dificultar a integração entre áreas, o que neste caso seria o rio Tamanduateí e as grandes avenidas radiais como a Avenida Ricardo Jafet.

Assim, o trecho de ampliação da Linha 2 – Verde, objeto de estudo deste documento, justifica-se como elemento de interligação entre pontos chaves da cidade, como terminais CPTM, Expresso Tiradentes, importantes terminais de ônibus e a já esperada Linha 5 – lilás. Além disso, tal linha interceptará importantes volumes de linhas de ônibus municipais e intermunicipais, as quais anteriormente eram sobrecarregadas devido ao tráfego intenso em direção ao Centro. Segundo o Plano Diretor, tal linha se adéqua ao proposto no Art.78 – V “criar Operações Urbanas Consorciadas para revitalizar a Orla Ferroviária Pirituba, Água Branca, Luz e Vale do Tamanduateí”.

Tabela 10: Demanda detalhada para a Linha 2 – Verde com Ano Base 2012

Tabela de Demanda Detalhada para a Linha 2 – Verde

Estação	HORA PICO DA MANHÃ												DIÁRIO
	Embarcados						Desembarcados						
	Lindeiro	Integrado				Total	Lindeiro	Integrado				Total	
		Ônibus	Metrô	Trem	Total			Ônibus	Metrô	Trem	Total		
Vila Madalena	1961	1404	-	-	1404	3365	3110	2742	-	-	2742	5852	35390
Sumaré	445	266	-	-	266	711	1778	732	-	-	732	2510	12370
Clinicas	440	240	-	-	240	680	4231	638	-	-	638	4869	21310
Consolação	697	58	14064	-	14122	14819	5207	660	13332	-	13992	19199	130630
Trianon-Masp	907	90	-	-	90	997	10655	240	-	-	240	10895	45660
Brigadeiro	782	119	-	-	119	901	10460	1247	-	-	1247	11707	48410
Paraíso	829	502	15199	-	15701	16530	2087	290	3830	-	4120	6207	87310
Ana Rosa	338	168	4728	-	4896	5234	2096	1586	12533	-	14119	16215	82360
Chácara Klabin	391	29	9596	-	9625	10016	828	0	9904	-	9904	10732	79670
Imigrantes	1941	320	-	-	320	2261	2997	42	-	-	42	3039	20350
Ipiranga	605	2422	-	-	2422	3027	847	4198	-	-	4198	5045	31000
Sacomã	1777	14435	-	-	14435	16212	2098	3569	-	-	3569	5667	84020
Tamanduateí	450	11307	-	11727	23034	23484	668	1162	-	2337	3499	4167	106180
Vila Prudente	962	10931	-	-	10931	11893	926	3098	-	-	3098	4024	61120
Total	12526	42289	43587	11727	97603	110129	47989	20204	39599	2337	62140	110129	845780

6. Arquitetura da Estação Tamanduateí do Metrô.

Antes de se focar o Elevado Tamanduateí, é importante compreender aspectos ligados à Estação Tamanduateí e à sua concepção arquitetônica. Apesar da impossibilidade de utilização de projetos da Estação em função de normas internas do Metrô que proíbem o fornecimento de projetos das estações em execução, os critérios gerais de dimensionamento de uma estação encontram-se disponíveis, sendo apresentados na seqüência. Ao final, alguns detalhes específicos da Estação Tamanduateí são abordados.

6.1. *Influências na Arquitetura*

Dentro do projeto de arquitetura de uma estação de metrô o primeiro aspecto a ser considerado é o do projeto funcional, o qual é realizado considerando a topografia local e o método construtivo de tal estação. O método construtivo da estação é o principal responsável pelo seu formato final, sendo definido em função da urbanização da cidade na superfície, da topografia local e do tipo de solo da região, ou seja, da geotecnia do local.

6.2. *Diretrizes do Projeto de Arquitetura*

A seguir, alguns dos principais elementos constituintes das estações do Metrô e seus critérios de dimensionamento são apresentados:

a) Quantidade de Guichês

A quantidade de guichês para uma estação típica de metrô é definida através da seguinte expressão:

$$Ng = \frac{P \cdot De}{360} \geq 2, \text{ onde:}$$

Ng = Número de guichês a ser definido;

P = Porcentagem de usuários que utilizam a bilheteria;

De = Demanda de entrada no horário pico de operação;

360= Número de usuários atendidos por um guichê no período de 1 hora

No caso de estações terminais, tem-se que a porcentagem de usuários que utilizam a bilheteria é de 20%. Já em estações tipo, tal porcentagem é de 15%. O número determinado de guichês deve ser maior ou igual a dois, conforme recomendações da arquitetura. Tal medida é realizada a fim de se impedir a inoperância de tal serviço em caso de um eventual problema se houvesse apenas um guichê.

b) Quantidade de Bloqueios

A quantidade de bloqueios de uma estação típica de metrô é definida através da seguinte expressão:

$$Nbq = \frac{De}{1200} + \frac{Ds}{1500} \cdot 1,1, \text{ onde:}$$

Nbq = Número de bloqueios a ser definido;

De = Demanda de entrada no horário pico de operação;

Ds = Demanda de saída no horário pico de operação;

1,1 = Coeficiente de segurança utilizado para execução de manutenções;

1200 = Fluxo de entrada de passageiros por hora;

1500 = Fluxo de saída de passageiros por hora

c) Dimensionamento de Escadas

Para o dimensionamento de escadas das estações adota-se que o índice de circulação em escadas é de 1800 usuários.metro/hora.

No caso de escadas fixas, a adoção de largura mínima deve ser fixada em função do uso da escada em questão. Para escadas públicas, ou seja, destinadas ao público da estação, a largura mínima recomendada é de 1,80 m. Já para as escadas operacionais da estação, recomenda-se uma largura mínima de 1,20 m.

Para as pisadas e espelhos das escadas fixas, tem-se as seguintes relações:

$$0,28 \leq p(m) \leq 0,32 \text{ onde;}$$

p = Largura da pisada

$$0,16 \leq e(m) \leq 0,18$$

e = Altura do espelho

$$0,63 \leq p(m) + 2e(m) \leq 0,65$$

Ainda dentro das escadas fixas, temos que para as mesmas, o lance máximo deve ser de 3,00 m.

Para as escadas rolantes típicas de velocidade de 0,65 m/s tem-se a capacidade nominal de 8000 usuários/hora e capacidade medida de 6500 usuários/hora.

d) Dimensionamento de Plataformas de Embarque e Desembarque

As plataformas de embarque e desembarque possuem largura mínima de 4 m e comprimento de 136 m, referente ao comprimento do veículo metroviário e a folgas para imprecisões nas paradas dos trens, e podem ser concebidas de duas maneiras diferentes. A primeira delas é a plataforma lateral (caso da Estação Tamanduateí), a qual possui a seguinte expressão para o seu dimensionamento:

$$L = 0,6 + 0,25 + \frac{Ne + Nt}{(C - 2.0,25).3} \geq 4, \text{ onde:}$$

L = Largura da plataforma lateral;

Ne = Número de embarques previstos entre o head way na hora de pico;

Nt = 2/3 da capacidade de um veículo metroviário;

C = Comprimento da plataforma;

0,6 = Largura da faixa de segurança;

0,25 = Afastamento das paredes

O segundo tipo corresponde às plataformas centrais, para as quais é válida a seguinte expressão:

$$L = 2.0,6 + \frac{Ne + 2.Nt}{(C - 2.0,25).3} \geq 4, \text{ onde:}$$

L = Largura da plataforma central;

N_e = Número de embarques previstos entre o head way na hora de pico;

N_t = 2/3 da capacidade de um veículo metroviário;

C = Comprimento da plataforma;

2,0,6= Largura das faixas de segurança;

0,25= Afastamento das paredes

e) Dimensionamento de Ventilação

No caso de ventilação de estações do Metrô, dentro do possível, a ventilação natural deve ser sempre privilegiada face à ventilação mecânica. Para isso, a seção mínima livre adotada para ventilações naturais deve ser de 120 m². No caso da ventilação mecânica, temos que a exaustão das plataformas realizadas por dutos deve possuir a seção mínima de 4 m²/via e largura mínima para manutenção de 1,20 m.

f) Salas Operacionais

As salas operacionais devem preferencialmente possuir iluminação e ventilação natural, além de possuírem localização próxima ao hall de bilheteria e do bloqueio, de forma a facilitar a circulação do pessoal operacional.

As salas operacionais devem essencialmente dispor das seguintes áreas: refeitórios, sanitários, sala de apoio logístico, sala do supervisor geral, escritório da estação, sala de reunião e treinamento, sala de materiais de consumo, sala do pessoal da manutenção, sala do supervisor da segurança (a cada 3 ou 4 estações), sala de armazenamento de lixo, sala de materiais de limpeza, vestiários e sala de primeiros socorros.

Para o caso de impossibilidade de ventilação natural, a ventilação mecânica deverá ser utilizada para os diferentes ambientes segundo a seguinte classificação:

Somente exaustão: Sanitários, vestiários, salas de materiais de limpeza e de lixo.

Exaustão e insuflação: Refeitórios e copa.

Insuflação: Sala de primeiros socorros, escritórios e demais salas

g) Salas Técnicas

As salas técnicas possuem normalmente cerca de 800 m² de área para equipamentos e são essencialmente compostas por salas de painéis de controle e de telecomunicações, sala de baixa tensão, sala de média tensão, sala de baterias, sala de gerador diesel, sala de equipamentos de ventilação, sala de trafos (ou transformadores) e sala dos retificadores. Para tal configuração de salas deve-se possuir um corredor de circulação de no mínimo 2,00 m de largura, acesso mínimo para equipamentos de 3,50 x 3,00 m e shafts de interligação para o porão de cabos das salas técnicas e o porão de cabos da plataforma, com dimensão mínima de 6,00 x 0,80 m.

h) Dimensionamento de Caixas D'água

Para o dimensionamento das caixas d'água de uma estação, deve-se levar em conta o consumo de tal estação e o volume necessário de água no caso de incêndios.

i) Dimensionamento de Elevadores

Para o dimensionamento dos elevadores, tem-se como premissa as seguintes dimensões mínimas:

Caixa de corrida: 2,00 x 2,20 m

Poços: 2,00x 2,20 m

Casa de máquinas: 3,20 x 3,40 m

6.3.A Estação Tamanduateí do Metrô

A Estação Tamanduateí, por se tratar de uma estação elevada, possui grande parte de sua iluminação de fonte natural, o que é uma vantagem tendo em vista o alto consumo de eletricidade que se tem com a iluminação em estações enterradas.

Para o dimensionamento da estação Tamanduateí do Metrô, utilizou-se como referência as diretrizes do projeto de arquitetura que foram explicitadas anteriormente de forma sintetizada. O projeto arquitetônico externo final e alguns dos principais dados de dimensionamento desta estação podem ser observados na Figura 25 (que, inclusive, mostra a implantação da estação na região). Na Figura 26, verifica-se o início das obras

da estação, com a execução dos pilares da estação e a laje de cobertura das salas técnicas já executada, a qual será o piso das salas operacionais.



Figura 25: *Concepção arquitetônica da estação Tamanduateí do Metrô e sua Implantação*

Local – Fonte: Metrô



Figura 26: *Execução da estação Tamanduateí do Metrô – Fonte: Metrô*

A altura final da Estação Tamanduateí ficou mais elevada do que o normalmente visto em outras estações, devido à interferência com a linha da CPTM, a qual possui uma catenária muito alta e que não poderia ter a sua operação interrompida durante a construção desta nova estação do Metrô. A CPTM também possui outras influências na arquitetura da Estação Tamanduateí, destacando-se os espaços destinados à integração

física entre os dois modais de transporte (no mesmo local será executada a Estação Tamanduateí da CPTM, atualmente próxima ao local da obra).

Devido a tal integração, as bilheterias e as catracas desta estação são localizadas em um mesmo piso (mezanino), porém possuem conjuntos separados devido às diferentes políticas tarifárias que podem ocorrer entre os diferentes modais. Existem, além disso, catracas de bloqueio separando as áreas do Metrô e da CPTM que visam permitir, além da contagem da integração física em tal estação, a operação separada das mesmas, com horários distintos de operação, por exemplo.

7. Estudo do Trecho Elevado entre a Estação Tamanduateí e a Estação Vila Prudente

7.1. Descrição das Características da Obra em Execução

Antes de estudarmos alternativas à obra do Elevado Tamanduateí, é importante que se faça uma breve introdução em relação à obra que de fato será construída e que já se encontra em execução.

Assim, temos que o Elevado Tamanduateí será utilizado para transpor um trecho de extensão pouco superior a 360 metros localizado após a Estação Tamanduateí em direção à Estação Vila Prudente e que será descrito de forma mais detalhada no item de Estudo de Alternativas.

O Elevado Tamanduateí será construído através do método construtivo de consolos sucessivos moldados in loco, apresentando a seguinte configuração final:

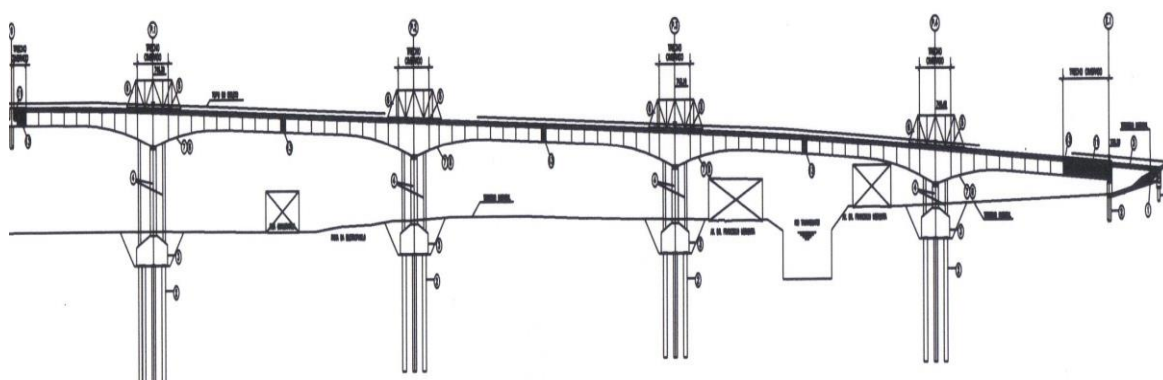


Figura 27: Configuração Geral do Elevado Tamanduateí

A Figura 27 indica que o Elevado Tamanduateí apresentará quatro pilares que compõem a mesoestrutura do elevado. A cada pilar está associada uma aduela de disparo e, a partir de cada lado desta, 9 aduelas que, durante o período construtivo, permanecem em balanço. Há, ainda, três aduelas de fechamento, localizadas nos trechos centrais do elevado, mais precisamente, sobre a Rua Guamiranga, sobre o estacionamento do shopping Central Plaza existente junto à obra e sobre o rio Tamanduateí.

Além das aduelas, serão executados, também, dois trechos cimbrados localizados nas extremidades do Elevado Tamanduateí. O primeiro trecho cimbrado fará a ligação

da superestrutura do elevado com a Estação Tamanduateí. O segundo trecho, por sua vez, une o elevado em seu trecho mais baixo à estrutura subsequente construída em Vala a Céu Aberto – VCA, em direção à Estação Vila Prudente.

A Figura 28 a seguir apresenta em detalhe o pilar P1 do Elevado Tamanduateí, sendo possível observar as aduelas comentadas anteriormente (aduelas de disparo e aduelas de fechamento)

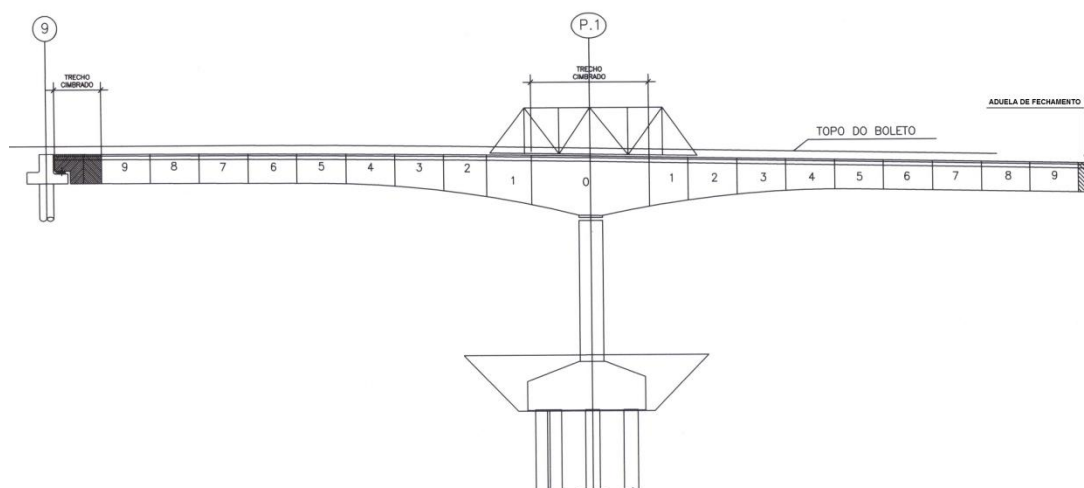


Figura 28: Pilar P1 em destaque

Utilizando a nomenclatura indicada na Figura 28, verifica-se que a aduela 0 corresponde à aduela de disparo, de comprimento igual a 10 metros. As aduelas 1 a 9 correspondem às aduelas que permanecem em balanço até o fechamento do vão pelas aduelas de fechamento (de dimensão média de 1,50 metro) ou pelos trechos cimbrados descritos há pouco. A aduela 1 possui dimensão longitudinal de 3,80 metros e as aduelas 2 a 9, 4,15 metros cada.

As Fotos 1 a 3 a seguir ilustram a execução das aduelas de disparo acompanhadas em visita técnica realizada à obra em 09 de maio de 2009:



Foto 1: Execução de Aduela de Disparo junto ao shopping Central Plaza



Foto 2: Detalhe de Execução de Aduela de Disparo



Foto 3: Detalhe de Execução de Aduela de Disparo

Antes de passarmos ao estudo de alternativas ao método construtivo de consolos sucessivos resumido há pouco, é relevante a compreensão do porquê de se empregar uma estrutura elevada no trecho em estudo localizado entre duas estações enterradas (Estação Sacomã e Estação Vila Prudente).

7.2.O porquê do Trecho Elevado

Pode-se dividir os tipos de metrô e os métodos construtivos em três classes: metrô de superfície, metrô subterrâneo e metrô elevado. A escolha do método a ser empregado é função de diversos fatores, entre eles: ocupação do solo, interação com o meio ambiente, características geológicas, topográficas e geotécnicas do terreno e região, características do sistema viário, aspectos legais, técnicas construtivas disponíveis e custo de implantação.

As linhas de metrô têm extensões da ordem de 20 a 25 km, atravessando diferentes trechos da cidade com áreas de características físicas diversas, algumas densamente ocupadas, inviabilizando uma única opção construtiva para todo o traçado. O que usualmente ocorre é uma alternância de estruturas, que podem ser ora em superfície, ora elevadas ou subterrâneas, com a escolha baseada de acordo com os aspectos citados anteriormente. É de extrema importância tentar otimizar os projetos das obras civis, adotando tecnologia avançada a fim de reduzir os custos e proporcionar o menor impacto possível na superfície.

A seguir são apresentadas breves descrições dos métodos construtivos e expostas vantagens e desvantagens de cada um:

7.2.1. Metrô subterrâneo

As linhas de metrô subterrâneas são as mais apropriadas para as áreas densamente ocupadas, proporcionando menor impacto na superfície, menor volume de desapropriações, facilidades para o remanejamento de grandes interferências enterradas, reduzidas interrupções do tráfego e preservação do patrimônio histórico.

Os trechos subterrâneos podem ser executados por três métodos construtivos distintos: trincheiras ou valas a céu aberto (VCA), túneis mineiros (NATM), ou mecanizado, por máquinas tuneladoras (TBM).

No método das trincheiras são abertas grandes valas para a construção das estruturas definitivas e depois o trecho é reaterrado. Esse método só pode ser aplicado onde não há interferência com o sistema viário, ou onde seja possível desviar o tráfego sem que isto cause grandes transtornos. Uma variação deste processo é o método invertido, utilizado quando a ocupação temporária da superfície precisa ser abreviada devido às condições locais. O procedimento é executar inicialmente as contenções e a laje do teto a partir da superfície. Em seguida o trecho é reaterrado e liberado para o tráfego na superfície enquanto se conclui a escavação até a cota desejada por baixo da laje de cobertura. Usualmente o método das trincheiras é o de menor custo entre os três métodos subterrâneos.

O método NATM atualmente vem sendo largamente utilizado na construção de túneis e de estações subterrâneas de grandes dimensões. Uma de suas vantagens é a adaptabilidade da seção de escavação, que pode ser modificada em qualquer ponto, de

acordo com as necessidades geométricas e de parcialização da escavação. O NATM consiste na escavação sequencial do maciço, utilizando concreto projetado como suporte, associado a outros elementos como cambotas metálicas, chumbadores e fibras no concreto, em função da capacidade autoportante do maciço. Em trechos onde a cobertura de solo é baixa, o NATM pode não ser a solução mais adequada a menos que sejam utilizados sistemas auxiliares, como, por exemplo, enfilagens horizontais.

O advento de máquinas tuneladoras representou uma grande evolução técnica na escavação de túneis. A escavação mecanizada permite o avanço com maior segurança em terrenos pouco competentes e substitui o uso de explosivos na escavação em rochas. A escavação é efetuada por um equipamento mecanizado, com frente aberta ou fechada, sob a proteção da couraça. Imediatamente atrás é montado o revestimento segmentado pré moldado de concreto. Trata-se de um método rápido e seguro, porém com alto custo.

7.2.2. Metrô de superfície

As construções em superfície são indicadas para regiões de baixa ocupação, vazios urbanos, faixas previamente garantidas através de legislação, ou canteiros centrais de avenidas com larguras adequadas. Por razões de segurança, acaba sendo necessária a construção de muros altos em toda a extensão da linha, formando um bloqueio contínuo, só transposto por pessoas através das estações, passarelas ou viadutos. Isso causa o isolamento das áreas vizinhas e impede o seu desenvolvimento adequado, como se observa junto às ferrovias construídas em áreas urbanizadas.

Outros impactos observados durante a implantação e operação de empreendimentos deste tipo são perturbações no sistema viário, propagação de ruídos e vibrações e interferência com as redes de serviços públicos. As principais vantagens na escolha do método de superfície (onde é possível executá-lo) são os baixos custos das obras e baixo grau de dificuldade de execução quando comparado aos outros dois métodos.

7.2.3. Metrô elevado

A utilização de trecho elevado do metrô é uma boa alternativa quando há áreas com faixas desocupadas ou pouco ocupadas disponíveis ou em avenidas com largura

superior a 40 metros, de modo a garantir uma distância razoável das fachadas de edifícios, minimizando o desconforto da propagação de ruídos. Quanto comparada com a alternativa de escavação subterrânea, a construção de trechos elevados pode representar uma economia de até 50%.

A construção de elevados causa grande impacto à paisagem urbana, principalmente nas regiões com alto grau de adensamento. Para minimizar as interferências no contexto urbano é fundamental que seja aplicada tecnologia de ponta visando encurtar os prazos de execução das obras, que sejam utilizados trens mais silenciosos, com carros menores e mais leves, e que haja um tratamento da via permanente para prevenir o desconforto da propagação de ruído.

A estrutura do elevado pode ser constituída de concreto pré-moldado, concreto moldado in loco ou estrutura metálica. No caso do concreto pré-moldado, é requerida uma grande área de canteiro disponível para se armazenar as peças, além das dificuldades no transporte das mesmas. As estruturas metálicas, por sua vez, não são recomendadas pela grande propagação de ruídos que provocam, a menos que seja feito um tratamento adequado da via permanente. Assim, na maioria dos casos, o que mais se recomenda é o concreto moldado in loco.

Historicamente, a utilização de métodos construtivos no metrô de São Paulo foi mudando de acordo com o advento de novas tecnologias. Durante a implantação do primeiro trecho construído, de Santana a Jabaquara na Linha 1- Azul, até 1974, o método mais utilizado foi o de vala a céu aberto (correspondendo a 71% do trecho), tendo sido aplicado de forma contínua no trecho entre Jabaquara e Liberdade. A utilização deste método foi justificada pelo volume de tráfego inferior ao atual neste trecho na época da construção. Atualmente seria inconcebível a utilização deste mesmo método na região, já que esta se encontra mais ocupada e com um sistema viário mais amplo.

Já na Linha 3 – Vermelha, em mais de 60% da linha foi feito metrô de superfície, justificado pelo baixo nível de ocupação do solo na época no trecho Leste da linha, pelas condições topográficas favoráveis a esta solução e por um convênio pelo qual a Linha 3 – Vermelha teria direito a compartilhar um trecho de 23 Km de via férrea. A adoção desta solução representou um custo equivalente a um terço do orçamento original e promoveu uma profunda renovação urbana, principalmente na vizinhança das estações.

A Linha 2 – Verde teve as obras iniciadas em 1987 e contou com uma importante evolução técnica na escavação de túneis: a utilização do método NATM, utilizado no total em 43% do trecho Vila Madalena – Ana Rosa. Na expansão em andamento da linha, entre as estações Alto do Ipiranga e Vila Prudente, o NATM é o método mais utilizado.

A Figura 29 apresenta a porcentagem de cada método que foi utilizado em toda extensão das linhas até o ano 2000:

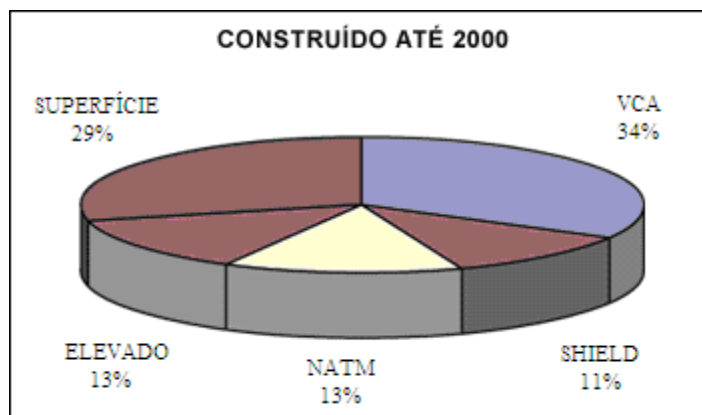


Figura 29: Tipos de métodos construtivos utilizados nas obras do metrô – Fonte: Metrô

7.2.4. Trecho elevado do metrô entre as estações Tamanduateí e Vila Prudente

No trecho entre as estações Tamanduateí e Vila Prudente optou-se por fazer um trecho elevado com extensão aproximada de 360 m, seguido por um trecho subterrâneo até a estação Vila Prudente. Para justificar tais decisões, é necessário avaliar alguns aspectos, dentre os quais destacam-se: caracterização da ocupação do solo na região, topografia do traçado, integração com o meio ambiente e estimativa de custos.

A linha do metrô cruzará a Avenida Dr. Francisco Mesquita, o Rio Tamanduateí e a Estação Tamanduateí da CPTM. Não se trata de uma área densamente ocupada, principalmente nas proximidades da linha da CPTM e do Rio Tamanduateí, tanto que foi destinada uma grande área ao lado da futura estação Tamanduateí do metrô para ser o pátio de estacionamento e manutenção de trens da linha Verde. A região onde está localizada a estação Tamanduateí do metrô é composta basicamente por casas antigas, comércio local e principalmente galpões, devido à proximidade com a linha férrea utilizada pela CPTM, que também transporta carga. A opção de se fazer metrô de

superfície nesta região pode ser logo descartada justamente pelo cruzamento com a linha da CPTM e com o Rio Tamanduateí.

A Figura 30, já mostrada anteriormente, apresenta um perfil com a topografia do terreno e o greide da linha do metrô no trecho entre as estações Alto do Ipiranga e Vila Prudente:

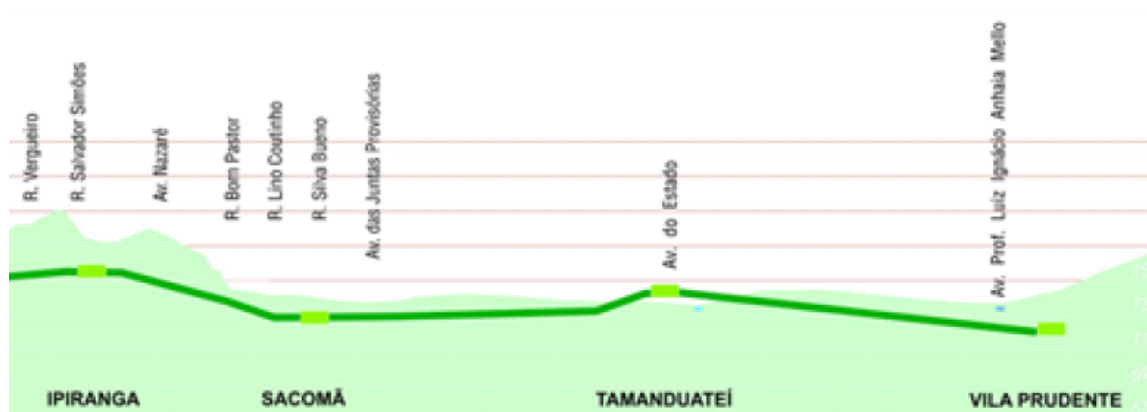


Figura 30: Topografia e greide da linha do metrô

Pode-se observar que há uma grande redução do nível do terreno entre as estações Alto do Ipiranga e Sacomã e que em seguida, até a estação Vila Prudente, sucede um trecho basicamente plano, com variação do nível do terreno menor que 10 metros, permitindo uma menor inclinação do greide neste trecho e uma menor cobertura do túnel. Devido a esta topografia, no trecho anterior à estação Sacomã é inviável considerar algum outro método além do subterrâneo. Entretanto, no trecho seguinte já é possível considerar outras alternativas, principalmente pelo fato de a região não ser densamente ocupada, como mencionado anteriormente.

Um dos fatores condicionantes na escolha pelo trecho elevado é a travessia do Rio Tamanduateí. O rio tem aproximadamente 30 m de largura nesse trecho e logo ao lado está Avenida do Dr. Francisco Mesquita, que apresenta um grande movimento diário de veículos. Seria possível fazer a travessia com um túnel por baixo do rio, porém, para não ultrapassar o limite máximo de inclinação de 4 % permitido para o metrô, seria necessária uma alteração da inclinação do túnel desde a estação Sacomã, implicando também na execução da estação Tamanduateí enterrada e não elevada, como está sendo realizada no projeto atual. A execução de um trecho subterrâneo com maior cobertura, além de mais uma estação subterrânea, ocasionaria um aumento considerável no custo

das obras. Segundo dados da CMSP, a construção de trechos elevados chega a ter custos 50% inferiores do que em obras subterrâneas.

Assim, foi decidida a implantação de uma via elevada neste trecho, desde antes da estação Tamanduateí, passando pela estação suspensa e seguindo mais 360 metros até a transição para um trecho final em túnel. Trata-se de uma alternativa mais barata do que a via subterrânea e uma boa maneira de atravessar a linha de trem e o rio Tamanduateí. O excesso de ruído e a vibração durante a operação são as principais desvantagens da utilização da via elevada. Por isso, será utilizada uma barreira acústica na via, para assim diminuir o desconforto para as pessoas no entorno.

No trecho subsequente à via elevada, onde há a transição para via subterrânea, a região por onde passará a linha até chegar à estação Vila Prudente já começa a ficar mais densamente ocupada, com mais casas e alguns prédio no entorno. Com isso, os custos para desapropriação seriam mais elevados e a via elevada passaria muito próximo às casas na vizinhança, o que causaria um maior desconforto. Além disso, há uma elevação na cota do terreno, facilitando a transição de via elevada para via subterrânea.

Vale mencionar um problema enfrentado após a decisão por via elevada. Entre a estação Tamanduateí e o rio há uma linha transmissora de energia da Eletropaulo, ao lado da linha de trem da CPTM. A via elevada deve cruzar esta linha e por isso a CMSP teve que bancar a substituição dos postes de transmissão por outros mais altos, deixando um espaço seguro abaixo da linha de transmissão para o desenvolvimento seguro das obras.

8. Estudo de Alternativas de Métodos Construtivos para o Elevado Tamanduateí

8.1. Apresentação da Matriz de Decisão

Conforme abordado anteriormente, um dos objetivos deste trabalho corresponde a analisar diferentes alternativas em relação às decisões definidas no Projeto Básico do Elevado Tamanduateí. Assim, enquanto o estudo da Estação Tamanduateí concentrou-se, devido ao objetivo de se compreender como se dá a concepção de uma estação com base nos parâmetros definidos pelo Metropolitano de São Paulo, na descrição de critérios empregados para a definição de aspectos como Arquitetura e Sistemas, sem que fossem propostas modificações, a análise do Elevado Tamanduateí envolverá um estudo mais específico e anterior ao detalhamento do Projeto, adentrando em uma fase de proposição, análise e escolha de alternativas para posterior aprofundamento. No caso do Elevado Tamanduateí, serão estudados diferentes métodos construtivos, buscando-se, a partir de critérios como prazo de execução e consumo de fôrma, definir aquele que melhor se encaixe à situação de projeto que temos à disposição.

Para tal análise, faremos uso de três matrizes de decisão envolvendo, de forma simplificada, quatro métodos construtivos associados aos seus vãos mais adequados (lançamento progressivo para vãos de 40 metros, vigas pré-moldadas para vãos de 40 metros, consolos sucessivos moldados in loco para vãos de 80 metros e cimbramento fixo, sendo este último analisado para vãos de 40 metros e de 80 metros), que se encontram esquematizados nas Figuras 31 a 34, e doze critérios de decisão (área requerida de canteiro, prazo de execução, volume de concreto, consumo de armadura ativa, consumo de armadura passiva, consumo de fôrma, equipamentos requeridos, vão máximo atendido, experiência do mercado, interferências com o trânsito, manutenção e aspectos estéticos), sendo destinados a estes últimos pesos de 1 a 10, definidos de acordo com a importância atribuída a cada critério tendo-se em vista o caráter de obra pública de grande investimento e de obra de arte que o elevado em questão assume. Quanto às notas, estas encontram-se entre 1 (método julgado, dentro de determinado critério, como “Péssimo”) a 5 (método julgado, dentro de determinado critério, como “Excelente”), sendo as mesmas definidas para cada método a partir de indicadores característicos de cada sistema construtivo (e associados aos critérios apresentados) conforme será evidenciado durante o preenchimento da matriz ou a partir

de informações gerais sobre os métodos em análise. As três diferentes matrizes de decisão estão associadas à divisão do elevado em estudo em três trechos distintos (descritos no subitem seguinte) de acordo com características e restrições particulares de cada um (apesar da pequena extensão do elevado, fato que não justificaria sua segmentação em vários trechos, optou-se por realizar tal divisão para que fosse possível empregar um raciocínio de identificação de diferenças ao longo de uma obra, aspecto fundamental em, por exemplo, pontes de grande extensão). Assim, em função das especificidades que os chamados Trecho I, Trecho II e Trecho III assumem, os critérios de decisão propostos podem ter pesos distintos, resultando nas diferentes matrizes propostas. Como exemplo do porquê de se adotar tal procedimento, analisemos o caso do critério Interferências com o Trânsito. Como exposto na sequência, o Trecho I não apresenta restrições associadas a possíveis interferências com o trânsito, diferentemente do observado nos Trechos II e III. Tal diferença poderia levar à necessidade de se adotar soluções mistas que favorecessem, em termos técnicos e econômicos, alternativas para situações com pouco conflito com o tráfego local no Trecho II e no Trecho III e alternativas para situações em que tal conflito não representasse um empecilho no Trecho I. Apenas matrizes específicas para cada trecho seriam capazes de indicar a necessidade de se associar métodos construtivos distintos, o que justifica o procedimento adotado.

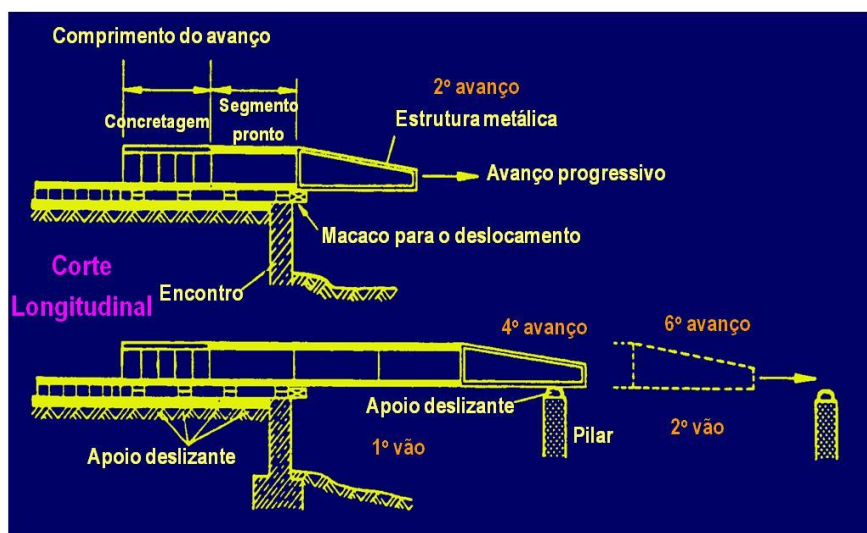


Figura 31: Esquema ilustrativo do método de Lançamento Progressivo

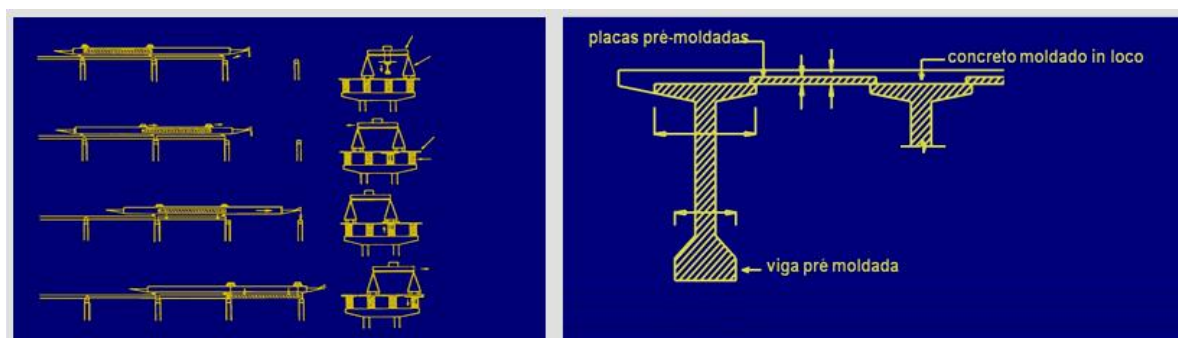


Figura 32: Esquema ilustrativo do método de Vigas Pré-Moldadas

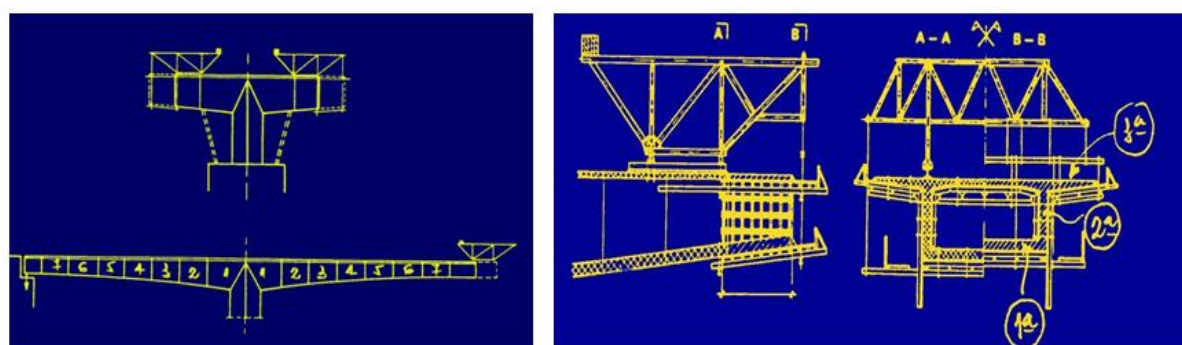


Figura 33: Esquema ilustrativo do método de Consolos Sucessivos moldados in loco



Figura 34: Esquema ilustrativo do método de Cimbramento Fixo

Além disso, antes de se partir para a descrição de cada trecho e de cada critério, é importante descrever como se dará o cálculo da nota total de cada método. Esta será obtida pelo somatório do produto entre o peso de cada critério e sua respectiva nota, sendo o método detentor de maior nota o mais adequado. Vale enfatizar, ainda, que, eventualmente, soluções mistas que visem combinar diferentes métodos em diferentes trechos do elevado buscando potencializar as vantagens (evidenciadas a partir da matriz de decisão) de cada sistema construtivo e se adequar às características de cada um dos

três trechos do Elevado Tamanduateí podem ser propostas. Isto posto, passemos à descrição de cada trecho avaliado:

8.1.1. Caracterização dos Trechos I, II e III

Baseado na diferença de características que ocorre ao longo da extensão do Elevado Tamanduateí, verificou-se a conveniência de, conforme já citado, dividi-lo em três trechos que apresentassem, em suas áreas de influência, características uniformes que permitissem, tendo-se em vista as particularidades de cada trecho, uma avaliação adequada, para cada um deles, do método construtivo mais favorável, o que permitiria a adoção de soluções mistas para o elevado em estudo.

Os três trechos citados foram denominados, simplificada e, de Trecho I, Trecho II e Trecho III, estando os mesmos posicionados conforme indicado na Figura 35, fruto de imagem de satélite

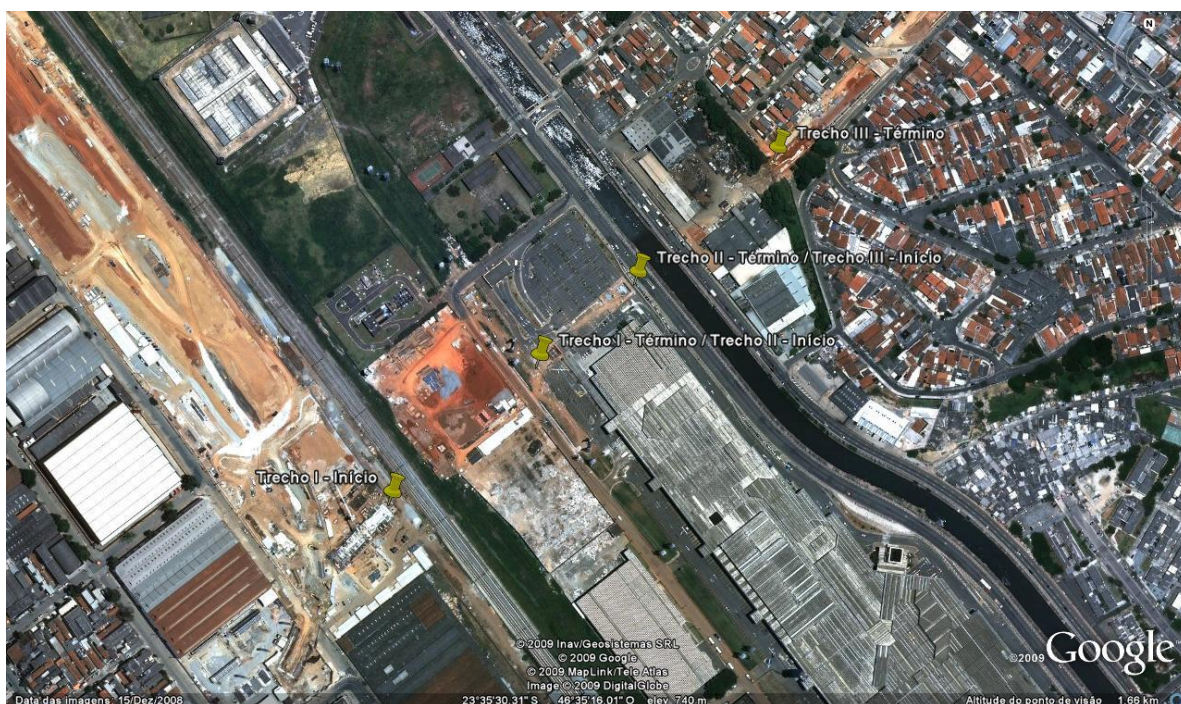


Figura 35: Visão Geral dos Trechos I, II e III do Elevado Tamanduateí – Fonte: Google Earth (consulta realizada em 26 de maio de 2009)

Assim, para que se compreenda os diferentes pesos para alguns dos critérios da matriz de decisão formulada para estudos de alternativas do Elevado Tamanduateí, faz-se, a seguir, a caracterização de cada um dos trechos do mesmo:

- **Trecho I**

Descrição: Trecho de, aproximadamente, 110,75 metros e que se estende da Estação Tamanduateí até o início do estacionamento do Shopping Central Plaza

Características: Este trecho é caracterizado por sua proximidade com a Linha D – Turquesa da CPTM e com os terrenos destinados à execução da Estação Tamanduateí e do Pátio Tamanduateí, o que lhe confere, especialmente pela impossibilidade de ocupação de áreas lindeiras à linha da CPTM, escassa disponibilidade de espaço para implantação de áreas de vivência, de áreas administrativas e de áreas de estoque necessárias a um canteiro de obras. Além disso, tal trecho cruza apenas um elemento viário, a Rua Guamiranga, a qual, conforme verificado em visita à obra realizada em 09 de maio de 2009, corresponde a uma via local de baixo volume de tráfego e que, portanto, não impõe grandes limitações em termos de interferências com o trânsito. Outra importante característica deste trecho corresponde ao fato de que o mesmo não apresenta restrições ou interferências que demandem maiores vãos do Elevado Tamanduateí. A Figura 36 a seguir, ilustra o Trecho I

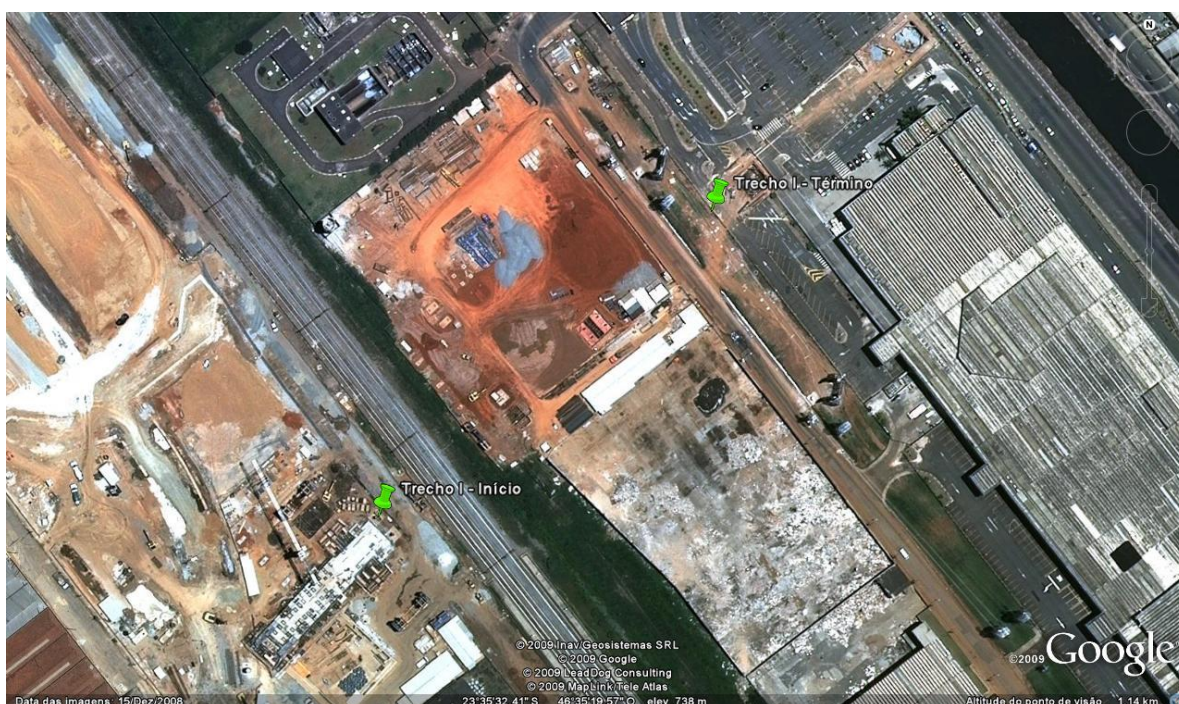


Figura 36: Detalhe do Trecho I do Elevado Tamanduateí – Fonte: Google Earth (consulta realizada em 26 de maio de 2009)

Influência das Características do trecho na Matriz de Decisão: tendo-se em vista as características do Trecho I, pode-se perceber facilmente como as mesmas influenciam a matriz de decisão de tal trecho. Basicamente, em relação aos demais trechos, são modificados os pesos dos critérios Vão Máximo atendido e Interferências com o Trânsito, havendo, para todos esses critérios de decisão, pesos baixos (valor máximo de 3 para o critério de Interferências com o Trânsito) por não serem esses aspectos limitantes ou fatores de dificuldade de implantação da obra no trecho em questão.

- **Trecho II**

Descrição: Com extensão de cerca de 117,7 metros, o Trecho II corresponde, basicamente, ao estacionamento do Shopping Central Plaza

Características: Trecho caracterizado pela busca por se ocupar minimamente o estacionamento do shopping devido à ocorrência de problemas entre o proprietário do Shopping Central Plaza e o Metrô de São Paulo, o que tende a favorecer alternativas que propiciem grandes vãos (mesmo que haja uma faixa de desapropriação que pode ser ocupada pelas obras do Metrô, deve-se, de forma sensata e prezando pela minimização de problemas com a vizinhança, da qual o citado shopping faz parte, evitar uma ocupação excessiva do espaço do estacionamento com estruturas como pilares). Outra característica deste trecho corresponde ao fato de que o mesmo apresenta grandes restrições de canteiro, pois, além de não poder ser usado como canteiro (o que causaria grandes prejuízos ao funcionamento do estacionamento), não dispõe de áreas próximas que poderiam ser utilizadas com este fim (tal qual o Trecho I). Interferências com o trânsito (caracterizado em termos de movimentos no shopping) também devem ser minimizadas neste Trecho

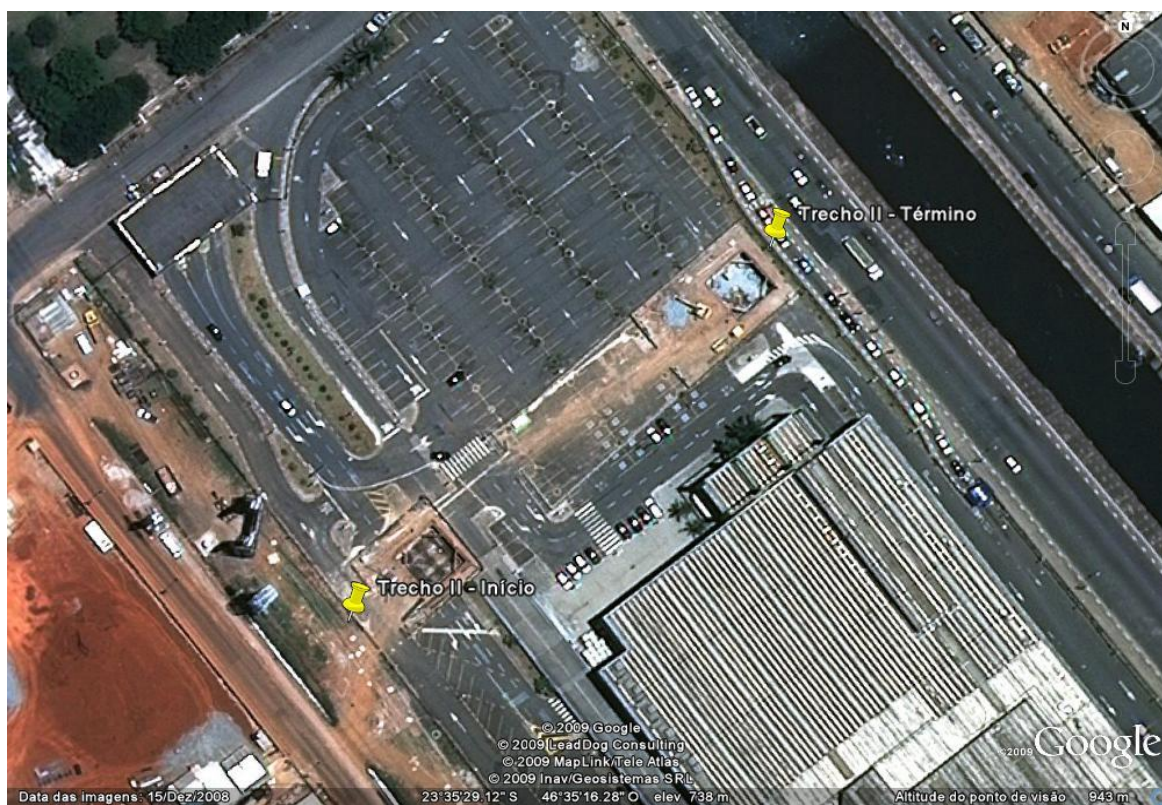


Figura 37: Detalhe do Trecho II do Elevado Tamanduateí – Fonte: Google Earth (consulta realizada em 26 de maio de 2009)



Figura 38: Estacionamento do shopping Central Plaza e sua interferência com a obra

Influência das Características do trecho na Matriz de Decisão: Em virtude da preocupação em se reduzir a área de ocupação do elevado no estacionamento do shopping, a principal diferença da matriz de decisão de tal trecho em relação aos demais ocorre no critério de Vão Máximo atendido, ao qual foi atribuído peso 10 (apesar de se considerar importante maximizar os vãos no Trecho II, não se considerou tal aspecto como critério eliminador de alternativas de pequenos vãos como as vigas pré-moldadas, pois eventuais problemas como a excessiva ocupação da área do estacionamento poderiam ser contornados com uma melhor interface entre Metrô e Shopping com a execução, por exemplo, de uma passarela ligando a Estação Tamanduateí ao Shopping Central Plaza). Além disso, em relação ao Trecho I, elevou-se para 6 o peso do critério Interferências com o Trânsito por se julgar fundamental o emprego de métodos construtivos que, durante o período de obra, interferissem pouco com a dinâmica do estacionamento do shopping

- **Trecho III**

Descrição: Trecho de 134,05 metros que se estende do estacionamento do Shopping Central Plaza até terreno próximo à Rua Barão Anibal Pepi, onde a Linha 2 – Verde passa a ser executada em Vala a Céu Aberto (VCA) e, posteriormente, em túnel em NATM até a Estação Vila Prudente

Características: Trecho que se caracteriza pela dificuldade de disposição de canteiro por questões como a grande incidência de imóveis lindeiros. Além disso, trata-se do trecho no qual incidem as mais importantes vias ao longo do Elevado Tamanduateí, destacando-se a Avenida Dr. Francisco Mesquita (continuação da Avenida do Estado), o que leva à valorização de alternativas com menos interferências com o trânsito e com maiores vãos (para permitir a locação de pilares mais afastados das margens da citada avenida de modo a se obter adequadas visibilidade e segurança do tráfego após a conclusão do elevado)

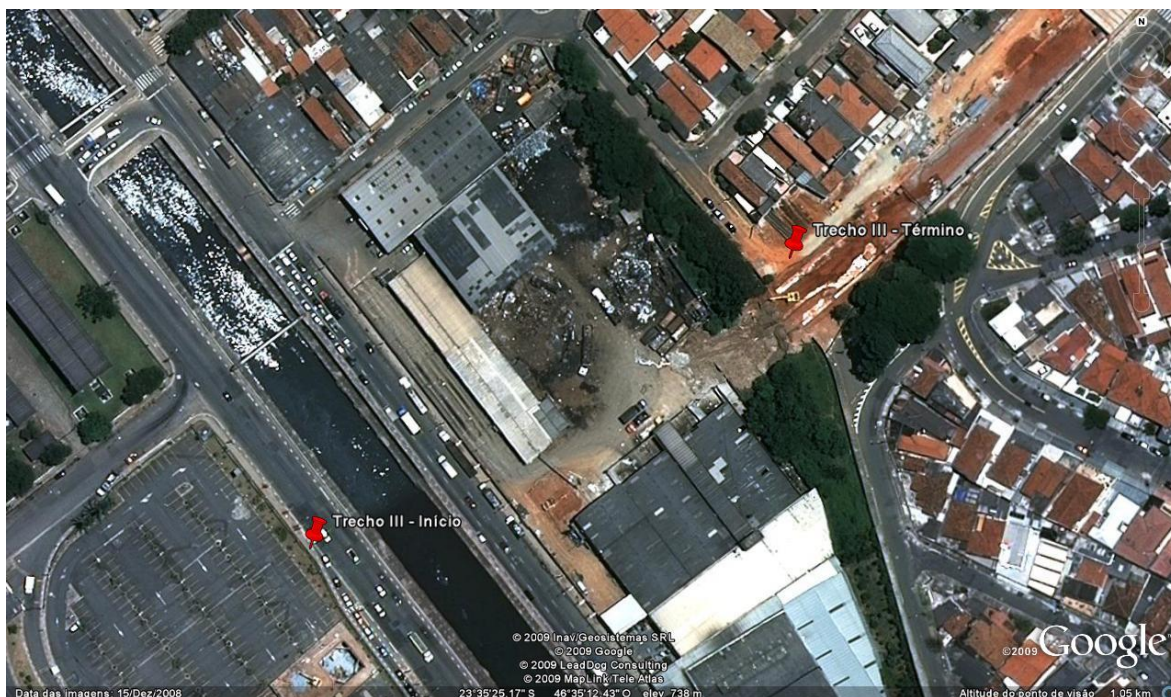


Figura 39: Detalhe do Trecho III do Elevado Tamanduateí – Fonte: Google Earth

(consulta realizada em 26 de maio de 2009)

Influência das Características do trecho na Matriz de Decisão: Devido às características do Trecho III, os pesos de sua matriz de decisão nos critérios de Área requerida de Canteiro e de Interferências com o Trânsito apresentaram elevados valores (8 e 9, respectivamente). Além disso, apesar de menos crítico do que o Trecho II, a adequação de grandes vãos (pelos critérios de segurança anteriormente citados) também foi considerada através do uso de peso 6 para o critério de Vão Máximo atendido (peso superior ao utilizado para o Trecho I, menos crítico neste aspecto)

8.1.2. Descrição dos Critérios de Decisão adotados

Após descrever-se os Trechos I, II e III, faz-se, a seguir, a apresentação de cada um dos critérios de decisão utilizados nas três matrizes de decisão utilizadas no estudo de alternativas do Elevado Tamanduateí:

- **Área requerida de Canteiro:** sabendo que diferentes métodos construtivos implicam em diferentes aspectos geométricos (o que se evidencia, por exemplo, pelas diferenças de tamanho de vigas pré-moldadas e de aduelas para consolos sucessivos quando estes forem compostos por elementos pré-moldados), além de requisitarem diferentes equipamentos a serem mantidos na obra, mostrou-se

fundamental a consideração da área de canteiro requerida por cada método construtivo. Isso porque tal área deve ser compatível com os espaços disponíveis no entorno da obra, pois, não havendo espaço suficiente, serão verificados grandes acréscimos de custos, tais como os oriundos de transporte de vigas. Sendo assim, métodos que requeiram menores áreas de canteiro recebem maiores notas neste critério ao qual se atribuiu peso 8 nos Trechos I, II e III (não apenas pela influência do canteiro nos custos, como já citado, mas, também, por sua importância para toda a logística e organização da obra);

- **Prazo de Execução:** trata-se do tempo despendido para executar o elevado de acordo com o método construtivo empregado. Tendo-se em vista o caráter político da obra, seria extremamente importante que a escolha do método atribuisse a este critério grande valor, pois, indubitavelmente, buscar-se-ia finalizar a obra ainda durante a gestão em curso. Entretanto, olhando-se de forma global para o Elevado Tamanduateí e considerando sua inserção na expansão da Linha 2 - Verde, verifica-se que a Estação Tamanduateí (anterior ao Elevado) e o túnel posterior ao mesmo (túnel em direção à Estação Vila Prudente) são elementos mais críticos para o tempo global da obra (ou seja, para a inauguração de todo o trecho após a Estação Sacomã até a Estação Vila Prudente) do que o elevado propriamente dito, o que implica em uma redução da significância do prazo como critério de decisão. Por tal motivo, atribuiu-se a este critério, em todos os trechos, peso 3 apenas, sendo os métodos que proporcionam menores prazos de execução aqueles que adquirem melhores notas;
- **Volume de Concreto:** critério no qual aos métodos que se utilizam de menores volumes de concreto atribuem-se maiores notas. Como diferentes métodos resultam em diferentes seções transversais para o elevado, verifica-se que cada sistema construtivo implica em volumes distintos de concreto, o que, levando-se em consideração o custo que este material impõe à obra, justifica este critério de peso 4 para todos os trechos (mesmo sendo o concreto fundamental, o seu baixo custo atual, especialmente quando comparado ao aço, justifica o pequeno peso atribuído a este critério);

- **Consumo de Armadura Ativa:** de acordo com o peso de armadura de protensão empregado em cada método (o que, claramente, influencia no custo destes), avalia-se os diferentes sistemas construtivos, privilegiando-se através de maiores notas aqueles que apresentarem menores consumos de armadura ativa. Neste caso, atribuiu-se, em todos os trechos, peso 8 a este critério pelo custo elevado de cordoalhas quando comparadas, por exemplo, ao custo do concreto citado anteriormente;
- **Consumo de Armadura Passiva:** de modo semelhante ao critério anterior, está associado ao custo imposto pela armadura passiva à obra de acordo com o método construtivo. Assim, com peso 7 (superior ao peso do critério de volume de concreto por possuir custo mais elevado e inferior ao peso do critério de consumo de armadura ativa por se tratar de armadura de menor incidência para os métodos analisados) nos três trechos, dá-se, dentro deste critério, melhores notas aos sistemas que resultarem em menores consumos de armadura frouxa;
- **Consumo de Fôrmas:** sendo as fôrmas importantes elementos nos custos de obras (o que justifica o peso 7 atribuído a este critério nos três trechos do Elevado Tamanduateí), mostrou-se importante incluir um critério de avaliação deste item que privilegie mediante elevadas notas métodos que possibilitem maiores reaproveitamentos de fôrmas e menores áreas destas;
- **Equipamentos requeridos:** elementos também de grande importância nos custos das obras, os equipamentos a serem utilizados variam de método construtivo para método construtivo. Assim, tendo-se em vista o custo de cada equipamento (especialmente o de mobilização) e a necessidade de disponibilidade do mesmo, estabeleceu-se este critério de peso 7 (para todos os trechos) que atribui maiores notas a métodos que demandam equipamentos de maior disponibilidade e menor custo;
- **Vão Máximo atendido:** para que se entenda este critério e sua importância é preciso ter em mente a importante premissa adotada para o projeto do Elevado Tamanduateí no Trecho II, a qual se baseia no fato de que o estacionamento do

shopping Central Plaza deve ser afetado o mínimo possível (devido aos motivos abordados anteriormente), o que valoriza métodos que permitem maiores vãos e, portanto, necessitem de menos pilares (responsáveis pela ocupação de áreas como a do citado estacionamento) e de que, no Trecho III, vias como a Avenida Dr. Francisco Mesquita devem ter sua segurança pouco afetada por pilares adjacentes. A tal critério, definiu-se peso 10 no Trecho II. Já no Trecho I, menos crítico em relação a este aspecto, peso 1 foi atribuído, enquanto no Trecho III, por questões de segurança do tráfego na Avenida Dr. Francisco Mesquita abordadas há pouco, foi definido peso 6 para este critério;

- **Experiência do Mercado:** critério de peso 5 (nos três trechos) que leva em consideração a preferência e aceitação do mercado em relação aos diferentes métodos construtivos, valorizando através de melhores notas os sistemas de maior receptividade pelas empresas de construção. A importância deste critério deve-se ao fato de que, havendo a experiência e a aceitação do mercado em determinado método, vantagens como disponibilidade de equipamentos e menores prazos, além de menos erros ou dúvidas de projeto e maior qualidade do produto final podem ser obtidas com maior facilidade. A necessidade deste item de análise fica muito clara quando se compara o vasto número de obras executadas com vigas pré-moldadas com o escasso portfólio de obras executadas através de lançamento progressivo. Esta acentuada diferença acaba por influenciar na visão das construtoras, as quais optam por métodos com os quais possuem maior familiaridade, aspecto que, pela busca de um adequado andamento da obra e de um bom relacionamento com a empresa executora da mesma, não pode ser desconsiderado nesta fase de decisão;
- **Interferências com o trânsito:** considerando a localização da obra do Elevado Tamanduateí, próxima a importantes vias de São Paulo, tais como a Avenida Dr. Francisco Mesquita (continuação da Avenida do Estado), mostrou-se fundamental a consideração da interferência que cada método construtivo, em função de aspectos como características de equipamentos empregados, apresenta com o trânsito local. Assim, para este critério, buscou-se priorizar métodos que pouco atrapalhem o tráfego na região de modo a se evitar prejuízos à dinâmica

do local em estudo. Com isso, em função das características de cada trecho, chegou-se a pesos iguais a 3, 6 e 9 para os Trechos I, II e III, respectivamente;

- **Manutenção e Operação:** uma obra de Engenharia, especialmente quando envolve altos investimentos como as obras do Metrô, não podem ser concebidas tendo-se em vista apenas a sua execução. A consideração de aspectos de manutenção e operação do produto final (no caso, um elevado metroviário) é imprescindível, especialmente quando se visualiza a realidade nacional, caracterizada por muitos equipamentos urbanos com baixa conservação. Diante de tais fatos, estabeleceu-se este critério de peso 8 (em todos os trechos) que valoriza, através de maiores notas, métodos construtivos que, dentre outros, reduzam a quantidade de juntas (haja visto o fato de que estas facilitam a entrada de água, dificultando a manutenção do elevado), de aparelhos de apoio (devido ao fato de que estes devem ser periodicamente trocados) e que estejam associados a seções transversais do elevado que requeiram menos controle durante a operação, como as seções caixão;
- **Aspectos Estéticos:** último critério da matriz de decisão leva em consideração a estética associada ao elevado produzido por cada método construtivo. Baseia-se na necessidade de se evitar experiências mal-sucedidas e extremamente criticadas, como o Elevado Costa e Silva (popularmente conhecido como “Minhocão”), e de se reforçar o caráter de obra de arte que pontes e elevados possuem. Para este critério, definiu-se, em todos os trechos, peso 2 (valor baixo, pois, sendo uma obra pública, sujeita a licitações, tem-se que critérios associados diretamente ao custo da obra são mais relevantes e, portanto, demandam maiores pesos)

Apresentados os critérios e seus respectivos pesos, passemos à apresentação dos modelos, pertencentes a cada trecho, de matrizes de decisão a serem preenchidas e devidamente interpretadas nos itens subseqüentes.

8.1.3. Modelos da Matriz de Decisão para o Estudo de Alternativas do Elevado Tamanduateí

Considerados cada trecho e os aspectos ressaltados anteriormente, tem-se:

8.1.3.1. Modelo de Matriz de Decisão para o Trecho I

Matriz de Decisão de Método Construtivo para Elevado Metroviário - Trecho I

Critérios de Decisão	Pesos	Métodos Construtivos				
		Lançamento Progressivo	Vigas Pré-Moldadas	Consolos Sucessivos	Cimbramento Fixo - Vão de 40 m	Cimbramento Fixo - Vão de 80 m
<i>Área requerida de Canteiro</i>	8					
<i>Prazo de Execução</i>	3					
<i>Volume de Concreto</i>	4					
<i>Consumo de Armadura Ativa</i>	8					
<i>Consumo de Armadura Passiva</i>	7					
<i>Consumo de Fôrma</i>	7					
<i>Equipamentos requeridos</i>	7					
<i>Vão Máximo atendido</i>	1					
<i>Experiência do Mercado</i>	5					
<i>Interferências com o Trânsito</i>	3					
<i>Manutenção e Operação</i>	8					
<i>Aspectos Estéticos</i>	2					
Total						

Notas a serem atribuídas

- 1 - Péssimo
- 2 – Ruim
- 3 - Regular
- 4 – Bom
- 5 - Excelente

8.1.3.2. Modelo de Matriz de Decisão para o Trecho II

Matriz de Decisão de Método Construtivo para Elevado Metroviário - Trecho II						
Critérios de Decisão	Pesos	Métodos Construtivos				
		Lançamento Progressivo	Vigas Pré-Moldadas	Consolos Sucessivos	Cimbramento Fixo - Vão de 40 m	Cimbramento Fixo - Vão de 80 m
<i>Área requerida de Canteiro</i>	8					
<i>Prazo de Execução</i>	3					
<i>Volume de Concreto</i>	4					
<i>Consumo de Armadura Ativa</i>	8					
<i>Consumo de Armadura Passiva</i>	7					
<i>Consumo de Fôrma</i>	7					
<i>Equipamentos requeridos</i>	7					
<i>Vão Máximo atendido</i>	10					
<i>Experiência do Mercado</i>	5					
<i>Interferências com o Trânsito</i>	6					
<i>Manutenção e Operação</i>	8					
<i>Aspectos Estéticos</i>	2					
Total						

Notas a serem atribuídas

- 1 - Péssimo
- 2 - Ruim
- 3 - Regular
- 4 - Bom
- 5 - Excelente

8.1.3.3. Modelo de Matriz de Decisão para o Trecho III

Matriz de Decisão de Método Construtivo para Elevado Metroviário - Trecho III

Critérios de Decisão	Pesos	Métodos Construtivos				
		Lançamento Progressivo	Vigas Pré-Moldadas	Consolos Sucessivos	Cimbramento Fixo - Vão de 40 m	Cimbramento Fixo - Vão de 80 m
<i>Área requerida de Canteiro</i>	8					
<i>Prazo de Execução</i>	3					
<i>Volume de Concreto</i>	4					
<i>Consumo de Armadura Ativa</i>	8					
<i>Consumo de Armadura Passiva</i>	7					
<i>Consumo de Fôrma</i>	7					
<i>Equipamentos requeridos</i>	7					
<i>Vão Máximo atendido</i>	6					
<i>Experiência do Mercado</i>	5					
<i>Interferências com o Trânsito</i>	9					
<i>Manutenção e Operação</i>	8					
<i>Aspectos Estéticos</i>	2					
Total						

Notas a serem atribuídas

- 1 - Péssimo
- 2 - Ruim
- 3 - Regular
- 4 - Bom
- 5 - Excelente

8.2. Preenchimento da Matriz de Decisão

8.2.1. Uso de Indicadores de Consumo na Engenharia

Para a avaliação de alguns dos critérios de decisão apresentados anteriormente (especificamente para os critérios de Volume de Concreto, Consumo de Armadura Ativa, Consumo de Armadura Passiva e Consumo de Fôrmas), é fundamental que estejam disponíveis números que permitam a avaliação quantitativa dos citados consumos e, posteriormente, a comparação de diferentes métodos construtivos em função destes. Tais números correspondem aos chamados Indicadores de Consumo.

Estes indicadores nada mais são do que valores de consumo apropriados a partir de obras já finalizadas e que tiveram suas viabilidades técnica e econômica comprovadas o que significa dizer que, além de permitirem a comparação entre métodos, os indicadores permitem que, uma vez definido o método, possa-se avaliar a qualidade da solução proposta através da comparação de seus consumos estimados com “valores médios” de obras anteriores e de características semelhantes. Valores muito díspares em relação a estes indicadores são indícios de decisões equivocadas ou inadequadas no projeto, havendo a necessidade de reavaliação do mesmo.

Entretanto, apesar deste importante uso dos indicadores, o que de fato é de interesse deste documento é a comparação entre métodos construtivos. Por tal motivo, são apresentados a seguir os indicadores associados aos critérios de decisão citados para cada um dos métodos construtivos analisados. Os indicadores mostrados foram obtidos em consulta a empresas especializadas em obras de infraestrutura, tais como pontes, sendo referidos a pontes metroviárias de características semelhantes ao Elevado Tamanduateí (o que permite uma melhor avaliação de cada alternativa proposta).

Tabela 11: Indicadores de Consumo

Indicadores de Consumo				
Método Construtivo	Espessura Média (m³ de concreto/m² de superestrutura)	Consumo de Armadura Ativa (kg de aço/m² de superestrutura)	Consumo de Armadura Passiva (kg de aço/m² de superestrutura)	Consumo de Fôrmas (m² de fôrmas/m² de superestrutura)
<i>Lançamento Progressivo</i>	0,43	14,00	45,00	2,22
<i>Vigas Pré-Moldadas</i>	0,61	19,70	62,02	2,92
<i>Consolos Sucessivos</i>	0,67	36,63	137,29	2,32
<i>Cimbramento Fixo – Vão de 40 metros</i>	0,55	14,50	79,00	2,30
<i>Cimbramento Fixo – Vão de 80 metros</i>	0,66	30,00	143,00	2,40

Posteriormente, quando da descrição da atribuição de notas (subitem seguinte), tais indicadores serão novamente enfatizados, servindo de base para justificar as notas fornecidas a cada método nos critérios de Volume de Concreto, de Consumo de Armadura Ativa, de Consumo de Armadura Passiva e de Consumo de Fôrmas.

8.2.2. Atribuição de Notas para as alternativas de Métodos Construtivos

Após apresentarmos as matrizes de decisão utilizadas para cada trecho do Elevado Tamanduateí e após ser feita uma descrição da importância e da forma de se utilizar os indicadores de consumo na Engenharia, ocorre, neste item, a atribuição de notas para cada uma das matrizes anteriormente indicadas com notas de 1 a 5.

As notas dadas para cada método nos diferentes critérios de decisão adotados são independentes dos trechos nos quais o Elevado Tamanduateí foi dividido. Assim, espera-se que os pesos distintos para cada matriz levem, caso necessário, a soluções diferenciadas ao longo do comprimento do citado elevado em função das características gerais de cada método.

Considerados estes pontos, faz-se, a seguir, uma descrição critério a critério das notas destinadas a cada método, acompanhada de uma breve explicação sobre os fatores que resultaram em cada nota. Cabe ainda ressaltar que as descrições apresentadas para cada método são feitas sem grande detalhamento, sendo este destinado apenas aos métodos adotados ao final desta etapa de decisão, conforme os itens seguintes indicam. Isto posto, passemos à avaliação de cada critério de decisão:

- **Critério:** Área requerida de Canteiro

Neste critério, procurou-se avaliar a necessidade de áreas de estoque de materiais e de equipamentos, valorizando-se métodos com pouco espaço requerido, o que levou à definição das seguintes notas:

Lançamento Progressivo: em relação ao canteiro demandado pelo método construtivo do Lançamento Progressivo, verificamos que tal área é de pequeno valor, haja visto o fato de que não há necessidade de se prever grandes espaços para estoque de materiais ou equipamentos. Na verdade, tal método é caracterizado pela necessidade apenas de uma área física bem definida junto a uma das extremidades do elevado para

que haja a montagem da estrutura de lançamento de cada módulo moldado in loco. Devido a estes pontos, deu-se nota 4 ao Lançamento Progressivo no critério de Área requerida de Canteiro;

Vigas Pré-Moldadas: diferentemente do método de Lançamento Progressivo, que requer uma pequena área para dispor de seus elementos de lançamento de trechos do elevado, o método de vigas pré-moldadas é caracterizado por requisitar uma grande área de canteiro. Tal aspecto deve-se à necessidade de se prever espaços para confecção em canteiro e armazenamento de cada uma das vigas pré-moldadas. Além disso, deve-se garantir adequado espaço de circulação para que os equipamentos de transporte das vigas possam entrar e manobrar no canteiro sem problemas que venham a reduzir a produtividade do transporte de vigas. Em função destes aspectos, considerou-se, neste critério de área de canteiro, uma nota 1 para o método de Vigas Pré-Moldadas;

Consolos Sucessivos: dentre todos os métodos construtivos analisados, trata-se do método mais vantajoso (em conjunto com o método de cimbramento fixo) em termos de canteiro, motivo pelo qual recebeu nota 5 neste critério. Como as aduelas serão moldadas in loco, não há necessidade de se armazenar as mesmas em canteiro, o que levaria a demandas por maiores áreas (como ocorre para estoque de vigas no método de vigas pré-moldadas). Além disso, o método de Consolos Sucessivos não necessita de uma área fixa como a requisitada pelo lançamento progressivo, o que a torna menos dependente de áreas próximas à obra e justifica sua melhor nota em comparação com os métodos anteriores;

Cimbramento Fixo (Vãos de 40 e de 80 metros): como indicado na abordagem do método de consolos sucessivos, o cimbramento fixo também se constitui em uma alternativa extremamente competitiva no que tange ao espaço requerido para canteiro. Isto ocorre por haver a necessidade de se prever espaços apenas para o estoque de elementos do cimbramento e de aço, sendo que tais espaços, especialmente quando da compra de aço pronto (cortado e dobrado), podem ser inferiores ao espaço a ser destinado no caso do método de lançamento progressivo, motivo pelo qual se atribuiu, ao cimbramento, nota 5 no critério de área requerida de canteiro

- **Critério:** Prazo de Execução

Para avaliação deste critério de decisão, fez-se, com o auxílio do Professor Fernando Rebouças Stucchi, uma estimativa do prazo total para execução de todo o elevado que estaria associado a cada método construtivo, sendo consideradas, conjuntamente, a superestrutura, a mesoestrutura e a infraestrutura do Elevado Tamanduateí. Em função de tal estimativa, chegou-se às seguintes notas:

Lançamento Progressivo: para este método construtivo, estimou-se um prazo de execução de 6 meses para as mesoestrutura e infraestrutura e 6 meses para a superestrutura, totalizando-se 12 meses de obras para a conclusão do Elevado Tamanduateí. Comparando-se com os demais prazos obtidos para os outros métodos, concedeu-se uma nota 4 ao lançamento progressivo em termos de prazo de execução;

Vigas Pré-Moldadas: no caso das vigas pré-moldadas, verificou-se ser este método o de menor prazo de execução. Assim, considerando-se a execução das infraestrutura e mesoestrutura em 6 meses, além da execução de atividades como lançamento de vigas e concretagem da laje do elevado em 1 mês cada, chegou-se a uma estimativa de prazo global da obra de 11 meses, o que propiciaria, inclusive, uma folga para imprevistos em comparação com o prazo estimado para métodos como o lançamento progressivo. Em função deste menor prazo de execução, deu-se nota 5 a este método;

Consolos Sucessivos: de modo semelhante aos outros métodos, obteve-se um prazo de execução para a infraestrutura e para a mesoestrutura de 6 meses, havendo a diferenciação entre métodos pelo prazo de execução da superestrutura. Assim, para os consolos sucessivos, verificou-se a possibilidade de se concluir a obra em 12 meses, assim como no caso do lançamento progressivo. Entretanto, para isto, seria necessário o emprego de 4 pares de treliças (1 par para cada pilar do elevado com consolos sucessivos), um dos equipamentos utilizados neste método, o que aumentaria o custo do elevado. Assim, percebeu-se que, mantendo a competitividade econômica do método de Consolos Sucessivos, seu prazo de execução seria superior ao do lançamento progressivo devido à supressão de pares de treliças. Tendo-se em vista este aspecto, deu-se nota 3 aos consolos sucessivos;

Cimbramento Fixo (Vãos de 40 e de 80 metros): trata-se do método de maior prazo de execução, sendo estimado, para o mesmo, um prazo global de execução do Elevado Tamanduateí em torno de 13,5 meses (dos quais 6 meses correspondem à execução das infraestrutura e mesoestrutura), prazo que inclui atividades como preparo da armação, montagem das fôrmas e do cimbramento, concretagem, descimbramento, dentre outras. Assim, tendo-se em vista o cenário mais desfavorável em termos de prazo de execução, o método de cimbramento fixo recebeu, para este critério, nota 2

- **Critério:** Volume de Concreto

No caso dos critérios de Volume de Concreto, Consumo de Armadura Ativa, Consumo de Armadura Passiva e Consumo de Fôrma, foram utilizados para o fornecimento de notas, como já explicitado anteriormente, indicadores de consumo obtidos com base em obras anteriores executadas com cada método construtivo. Sendo assim, dentro desses critérios de decisão, são apresentados novamente os indicadores obtidos, em conjunto com o cálculo da relação entre o consumo de determinado método e o menor consumo dentre as alternativas analisadas. A inclusão desta relação tem o objetivo de permitir a comparação mais adequada entre os métodos e, com isso, uma melhor atribuição de notas (em outras palavras, se determinado método apresentar o dobro de consumo de outro método, sua nota deveria ser a metade da nota deste último). Naturalmente, dentro da escala de notas adotada, não há uma definição precisa de notas de acordo com a relação citada, mas a consideração deste aspecto propiciou, como indicado nos próximos critérios, notas mais justas e que representam o impacto dos diferentes consumos analisados no custo da obra. Considerados estes aspectos, passemos à apresentação dos dados de consumo de Volume de Concreto (dado em termos de espessura média da superestrutura):

Tabela 12: Comparação de Consumo de Concreto

<u>Indicadores de Consumo de Concreto</u>		
Método Construtivo	Espessura Média (m³ de concreto/m² de superestrutura)	Relação Consumo do Método/Menor Consumo
<i>Lançamento Progressivo</i>	0,43	1,00
<i>Vigas Pré-Moldadas</i>	0,61	1,42
<i>Consolos Sucessivos</i>	0,67	1,56

Indicadores de Consumo de Concreto		
Método Construtivo	Espessura Média (m³ de concreto/m² de superestrutura)	Relação Consumo do Método/Menor Consumo
<i>Cimbramento Fixo – Vão de 40 metros</i>	0,55	1,28
<i>Cimbramento Fixo – Vão de 80 metros</i>	0,66	1,53

Tendo-se em vista a Tabela 12, chegou-se às seguintes notas:

Lançamento Progressivo: sendo o método de menor consumo e buscando garantir a proporcionalidade entre os consumos e as notas, atribuiu-se nota 5 a este método;

Vigas Pré-Moldadas: método de consumo intermediário, ao qual, por tal motivo, atribuiu-se nota 3 neste critério de decisão;

Consolos Sucessivos: alternativa de maior consumo de concreto a qual se atribuiu nota 2;

Cimbramento Fixo – Vão de 40 metros: método de consumo mais próximo ao consumo obtido para o lançamento progressivo, motivo pelo qual lhe foi dada nota 4 neste critério de decisão;

Cimbramento Fixo – Vão de 80 metros: método de consumo elevado (próximo ao consumo do método de consolos sucessivos), o que justifica sua nota 2 neste critério de consumo de concreto

- **Critério:** Consumo de Armadura Ativa

Considerando, novamente, a comparação entre métodos mediante emprego de indicadores de consumo, temos as seguintes notas atribuídas com base na Tabela 13

Tabela 13: Comparação de Consumo de Armadura Ativa

Indicadores de Consumo de Armadura Ativa		
Método Construtivo	Consumo de Armadura Ativa (kg de aço/m² de superestrutura)	Relação Consumo do Método/Menor Consumo
<i>Lançamento Progressivo</i>	14,00	1,00
<i>Vigas Pré-Moldadas</i>	19,7	1,41

Indicadores de Consumo de Armadura Ativa		
Método Construtivo	Consumo de Armadura Ativa (kg de aço/m² de superestrutura)	Relação Consumo do Método/Menor Consumo
<i>Consolos Sucessivos</i>	36,63	2,62
<i>Cimbramento Fixo – Vão de 40 metros</i>	14,50	1,04
<i>Cimbramento Fixo – Vão de 80 metros</i>	30,00	2,14

Lançamento Progressivo: alternativa de menor consumo de armadura ativa, conforme indica o valor de 14,00 kg de aço por m² de superestrutura, sendo, em função disso, dada nota 4 para este método;

Vigas Pré-Moldadas: alternativa com o terceiro menor consumo, a qual se deu nota 3 neste critério de decisão tendo em vista o fato de que seu indicador para armadura ativa encontra-se mais próximo das alternativas de menor consumo (alternativas de nota 4) do que das alternativas de maior consumo (alternativas de notas inferiores a 3);

Consolos Sucessivos: sendo seu consumo cerca de duas vezes e meia superior ao consumo de armadura ativa observado para o método de lançamento progressivo, verificou-se que o método de consolos sucessivos apresenta o maior consumo de armadura de protensão dentre os métodos construtivos analisados, o que resultou em uma nota 1 para esta alternativa;

Cimbramento Fixo – Vão de 40 metros: com consumo muito próximo ao consumo do método de Lançamento Progressivo, deu-se, para o método de cimbramento fixo aplicado a vãos de 40 metros, nota 4 para o critério de Consumo de Armadura Ativa;

Cimbramento Fixo – Vão de 80 metros: com consumo cerca de 2 vezes superior ao consumo observado para o método de Lançamento Progressivo, deu-se, com base na busca pela atribuição de notas compatíveis com a diferença de consumos entre métodos, uma nota igual a metade da nota dada ao método de lançamento progressivo, o que significa dizer que a alternativa de consolos sucessivos recebeu, neste critério de decisão, nota 2

- **Critério:** Consumo de Armadura Passiva

No caso do consumo de armadura passiva, a Tabela 14 apresentada a seguir resume as relações observadas:

Tabela 14: Comparação de Consumo de Armadura Passiva

Indicadores de Consumo de Armadura Passiva		
Método Construtivo	Consumo de Armadura Passiva (kg de aço/m² de superestrutura)	Relação Consumo do Método/Menor Consumo
<i>Lançamento Progressivo</i>	45,00	1,00
<i>Vigas Pré-Moldadas</i>	62,02	1,38
<i>Consolos Sucessivos</i>	137,29	3,05
<i>Cimbramento Fixo – Vão de 40 metros</i>	79,00	1,76
<i>Cimbramento Fixo – Vão de 80 metros</i>	143,00	3,18

Considerando tais consumos:

Lançamento Progressivo: método construtivo de menor consumo de armadura passiva, recebendo, por tal motivo, nota 5;

Vigas Pré-Moldadas: alternativa de segundo menor consumo ao qual se atribui, para este critério de decisão, nota 4;

Consolos Sucessivos: com consumo cerca de três vezes superior ao consumo apresentado pelo método de lançamento progressivo, deu-se nota 2 ao método de consolos sucessivos no critério de consumo de armadura passiva;

Cimbramento Fixo – Vão de 40 metros: método com nota 3 por apresentar, em relação ao consumo de armadura passiva, consumo intermediário em comparação com os demais métodos analisados;

Cimbramento Fixo – Vão de 80 metros: sendo o método de maior consumo de armadura passiva e estando tal consumo próximo ao valor de armadura passiva observado para o método de consolos sucessivos, optou-se por dar, ao método de cimbramento fixo com vãos de 80 metros, a mesma nota atribuída à alternativa de consolos sucessivos, ou seja, nota 2

- **Critério:** Consumo de Fôrmas

Primeiramente, apresenta-se a Tabela 15 para caracterizar os diferentes métodos em relação ao consumo de fôrmas:

Tabela 15: Comparação de Consumo de Fôrmas

Indicadores de Consumo de Fôrmas		
Método Construtivo	Consumo de Fôrmas (m² de fôrmas/m² de superestrutura)	Relação Consumo do Método/Menor Consumo
<i>Lançamento Progressivo</i>	2,22	1,00
<i>Vigas Pré-Moldadas</i>	2,92	1,32
<i>Consolos Sucessivos</i>	2,32	1,05
<i>Cimbramento Fixo – Vão de 40 metros</i>	2,30	1,04
<i>Cimbramento Fixo – Vão de 80 metros</i>	2,40	1,08

Em função de tais consumos, chegou-se às seguintes notas:

Lançamento Progressivo: tendo-se por base o menor consumo apresentado por esta alternativa, deu-se nota 5 à mesma;

Vigas Pré-Moldadas: alternativa de maior consumo de fôrmas a qual se deu nota 3;

Consolos Sucessivos: em relação ao consumo de fôrmas, verificou-se que este método apresenta consumo ligeiramente superior ao consumo observado para o consumo do lançamento progressivo, o que resultou em uma nota para o método de consolos sucessivos igual a 4;

Cimbramento Fixo – Vão de 40 metros: apesar de utilizar grande quantidade de elementos de cimbramento, verifica-se que no que tange às fôrmas, não há um consumo exagerado, o que justifica sua nota 4, inferior apenas à nota dada ao lançamento progressivo, alternativa mais vantajosa em termos de consumo de fôrmas, e igual a nota atribuída ao método de consolos sucessivos;

Cimbramento Fixo – Vão de 80 metros: com consumo semelhante aos observados para os métodos de consolos sucessivos e de cimbramento fixo para vãos de 40 metros,

deu-se também, para o cimbramento com vãos de 80 metros, nota 4 (nota equivalente à nota fornecida aos métodos há pouco citados)

- **Critério:** Equipamentos Requeridos

Para avaliar cada método construtivo em relação ao critério de equipamentos requeridos, fez-se um breve levantamento de quais equipamentos seriam necessários para executar cada método, avaliando-se, ainda, se tais equipamentos seriam próprios da construtora ou alugados (aspecto negativo em termos desta avaliação, pelo custo que impõe aos diferentes métodos construtivos), o que resultou nas seguintes notas:

Lançamento Progressivo: de modo simplificado, o método de lançamento progressivo requer como equipamentos o chamado Bico Metálico, posicionado na extremidade a ser lançada do elevado, e um sistema de tração, responsável por empurrar os módulos da superestrutura. Tratam-se de equipamentos simples, dos quais, geralmente, o sistema de tração costuma ser alugado pelas construtoras. Como ficará evidente pela avaliação dos demais métodos, tais equipamentos não são pontos negativos do lançamento progressivo, motivo pelo qual a nota atribuída a este método foi 4;

Vigas Pré-Moldadas: neste caso, tem-se que os principais equipamentos requeridos pelo método de vigas pré-moldadas correspondem ao fisqueto, ao carelone e a treliças ciset ou guindastes (utilizados no lançamento das vigas pré-moldadas), sendo os guindastes (ou as treliças) e os carelones normalmente alugados pelas construtoras. Assim, como tais equipamentos, por serem em sua maioria alugados, possuem maiores custos e estão mais susceptíveis a oscilações do mercado, optou-se por dar nota 3 a este método, julgando-se ser o lançamento progressivo, por exemplo, superior no que tange aos equipamentos requeridos;

Consolos Sucessivos: basicamente, demanda apenas os já citados pares de treliça, equipamentos que, geralmente, são alugados. Como há a possibilidade de emprego de mais de um par de treliças para ganho de produtividade, o que eleva o custo dos

equipamentos para o método de consolos sucessivos, optou-se por dar nota 4 a este método;

Cimbramento Fixo (Vãos de 40 e de 80 metros): trata-se, do ponto de vista de equipamentos, do método mais desfavorável. Apesar de se utilizar de equipamentos simples e disponíveis no mercado, como o são os cimbramentos metálicos, verifica-se que os mesmos são alugados. Como o tempo de mobilização do cimbramento é longo (pelo fato de envolver o tempo de montagem da fôrma, o tempo de concretagem e o tempo de ganho de resistência do concreto até a possibilidade de descimbramento), tem-se um custo final elevado com equipamentos, superando o custo com equipamentos mais caros, mas de menor tempo de mobilização, como o guindaste de lançamento de vigas pré-moldadas. Além disso, quando ocorre a sobreposição de trechos viários, há, no método cimbrado, a necessidade de se substituir o cimbramento metálico apoiado no piso, por vigas ou treliças metálicas como as indicadas na Figura 34, o que encarece ainda mais esta alternativa. Em função deste elevado custo, considerou-se, para o cimbramento fixo, nota 2 no critério de equipamentos

- **Critério:** Vão Máximo atendido

Para avaliação deste critério, foi utilizada a comparação apresentada em [MATHIVAT, 1980], que compara os vãos mais adequados a cada método construtivo para que os mesmos encontrem-se no que o autor chama de “Campo Ótimo”, ou seja, dentro de um intervalo de vãos que garanta as viabilidades técnica e econômica de cada método construtivo. Para adequar as informações fornecidas por [MATHIVAT, 1980] aos interesses da matriz de decisão que aqui se apresenta, fez-se uma adaptação da comparação original, substituindo o item inicial “Cimbra Autolanzable” (referente a cimbramento móvel executado com treliças ainda indisponíveis no Brasil) pelo item de Cimbramento Fixo (com a indicação apenas de seu campo ótimo), método que se encontra em processo de avaliação neste documento. Feita tal adaptação, chegou-se ao resultado exposto na Figura 40 e utilizado para dar as notas indicadas na seqüência:

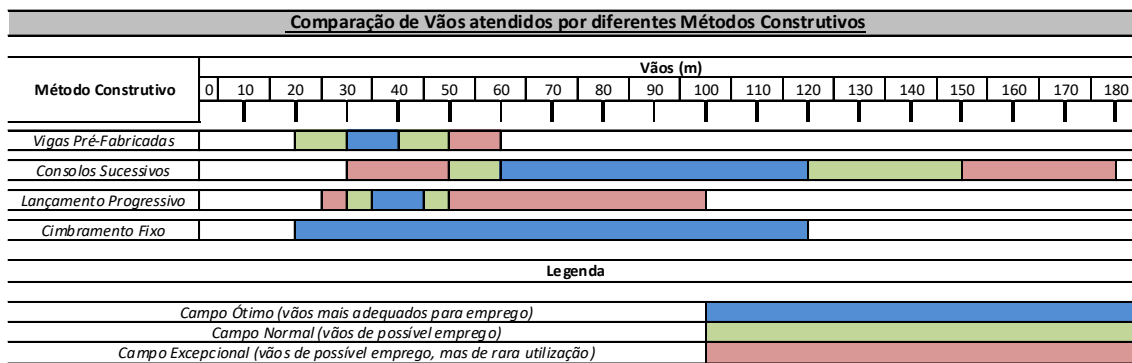


Figura 40: Comparação de Vãos atendidos por diferentes Métodos Construtivos – Fonte: [MATHIVAT, 1980]

Lançamento Progressivo: como indicado na Figura 40, o vão ótimo para o método de lançamento progressivo encontra-se em uma faixa que vai de 35 metros a 45 metros. Este valor médio de 40 metros de vão coloca o método de lançamento progressivo, como indicado nos próximos métodos, em nível semelhante ao das vigas pré-moldadas, mas inferior aos métodos de cimbramento fixo e de consolos sucessivos, motivo pelo qual o lançamento progressivo recebeu nota 3 em termos de Vão Máximo atendido;

Vigas Pré-Fabricadas: com vãos entre 30 metros e 40 metros, considerou-se este método no mesmo nível do lançamento progressivo, o que justifica a nota 3 do método de vigas pré-moldadas neste critério;

Consolos Sucessivos: trata-se do método construtivo, em conjunto com a alternativa de cimbramento fixo, capaz de atingir os maiores vãos, o que se evidencia pela Figura 40, que indica vãos ótimos variando entre 60 metros e 120 metros, sendo comumente empregados vãos de 80 metros para o método de consolos sucessivos. Assim, tal método recebeu nota 5 no critério de vão máximo;

Cimbramento Fixo – Vão de 40 metros: com vãos fixados em 40 metros, verifica-se situação equivalente aos métodos de lançamento progressivo e de vigas pré-moldadas, o que explica sua nota 3 neste critério;

Cimbramento Fixo – Vão de 80 metros: com vãos fixados em 80 metros, verifica-se situação semelhante ao método de consolos sucessivos, motivo pelo qual atribuiu-se nota 5 neste critério ao método de cimbramento fixo

- **Critério:** Experiência do Mercado

Neste critério, procurou-se quantificar o emprego de cada método construtivo nas pontes e nos elevados existentes, identificando-se os métodos mais empregados e que, por tal motivo são aqueles com os quais o mercado tem mais experiência. Dessa forma, chegou-se à seguinte avaliação de cada método construtivo:

Lançamento Progressivo: trata-se de um método construtivo pouco empregado, encontrando restrições dentro das construtoras. Em comparação com métodos tradicionais como vigas pré-moldadas e cimbramento fixo, verificou-se ser, dentre as alternativas analisadas, a de menor conhecimento dentro do mercado, o que resultou em uma nota igual a 1 para este método;

Vigas Pré-Moldadas: como já citado na avaliação do lançamento progressivo, o método de vigas pré-moldadas é tradicional, sendo de amplo conhecimento do mercado. Devido a tal motivo, deu-se nota 5 para o método construtivo com vigas pré-moldadas;

Consolos Sucessivos: neste caso, verificou-se que os consolos sucessivos encontram-se entre o lançamento progressivo e as vigas pré-moldadas, pois, apesar de serem mais utilizados do que o método de pontes empurradas, não apresentam a mesma disseminação encontrada no caso das vigas pré-moldadas. Assim, deu-se nota 3 ao método de consolos sucessivos;

Cimbramento Fixo (Vãos de 40 e de 80 metros): método construtivo extremamente disseminado e de amplo conhecimento do mercado, o que justifica sua nota 5 neste critério

- **Critério:** Interferências com o Trânsito

Buscando priorizar métodos que, ao longo da execução do elevado, propiciassem menores interferências com o tráfego local, deu-se, para cada método, as seguintes notas:

Lançamento Progressivo: considerando o processo executivo deste método, verifica-se que o mesmo não impõe interferências ao trânsito da região, motivo pelo qual sua nota, neste critério, é igual a 5. A ausência de interferências com o tráfego local deve-se ao fato de que todo o processo de confecção dos módulos ocorre na pequena área de canteiro posicionada junto à extremidade do elevado pela qual se lança a ponte. Assim, não há equipamentos circulando pelas vias locais ou cimbramentos posicionados junto às ruas e avenidas da região;

Vigas Pré-Moldadas: diferentemente do método de lançamento progressivo, verifica-se que o método de vigas pré-moldadas apresenta grande interferência com o trânsito da região da obra a qual se destina. Isso porque tal método envolve, especialmente durante as atividades de transporte e de lançamento das vigas pré-moldadas, grande circulação e mobilização de equipamentos como o carelone e os guindastes, o que, claramente, demanda desvios de tráfego ou interdições parciais de ruas e avenidas, caracterizando a interferência com o trânsito da região. Por tal motivo, deu-se nota 2 a este método;

Consolos Sucessivos: trata-se de método semelhante ao método de lançamento progressivo quando se aborda a questão de interferências com o trânsito, por não haver movimentação intensa de equipamentos que poderiam prejudicar o tráfego local. Entretanto, apenas por haver a necessidade de mobilizar betoneiras durante a concretagem das aduelas, o que pode, de acordo com a posição da aduela e da betoneira, interferir com o trânsito local, deu-se, para este método, nota 4;

Cimbramento Fixo (Vãos de 40 e de 80 metros): o cimbramento fixo corresponde, dentre os métodos analisados, àquele que maior interferência impõe ao tráfego da região. Mesmo com a utilização da já citada viga metálica sobre trechos de ruas ou avenidas, o cimbramento metálico posicionado lateralmente a tais trechos atrapalha a circulação plena de automóveis e requer grandes cuidados para se evitar situações como a de choques de veículos com a estrutura metálica de suporte à fôrma, que não apenas prejudicariam a obra, como colocariam transeuntes e motoristas em risco. Por tais motivos, atribuiu-se a este método nota 1 no critério de interferências com o trânsito

- **Critério:** Manutenção e Operação

Para dar notas em relação a este critério, considerou-se, basicamente e como já descrito anteriormente, aspectos como a quantidade de aparelhos de apoio e de juntas, o que resultou nas seguintes notas:

Lançamento Progressivo: no caso do lançamento progressivo, tem-se que tal método não implica em grande quantidade de juntas, o que o torna mais favorável em comparação com métodos como vigas pré-moldadas, mas demandam maior número de aparelhos de apoio do que alternativas como a de consolos sucessivos, sendo empregados dois aparelhos por pilar (como no caso dos consolos sucessivos) para um número maior de pilares (devido à limitação de vão máximo já apresentada anteriormente). Com isso, deu-se nota 4 para este método construtivo;

Vigas Pré-Moldadas: a análise deste método construtivo indicou que o mesmo resulta no elevado com as condições mais desfavoráveis em termos de manutenção e operação, resultando em uma nota 2 para tal método neste critério de decisão. Este aspecto desfavorável deve-se ao fato de que os elevados com vigas pré-moldadas apresentam maiores números de juntas (cerca de uma junta por pilar, havendo, devido à limitação de vãos, grande número de pilares) e de aparelhos de apoio (em torno de 4 aparelhos de apoio por pilar), pontos que dificultam a manutenção do elevado por motivos já abordados anteriormente, como a questão de troca de aparelhos de apoio;

Consolos Sucessivos: por se tratar de um método que utiliza poucos aparelhos de apoio por pilar (cerca de 2 aparelhos de apoio por pilar) com um baixo número de pilares (função do grande vão que é capaz de atender), que possui poucas juntas que facilitem a entrada de água e prejudiquem a conservação do elevado e que é constituído por seções transversais do tipo caixão (seções que requerem menos manutenção), verificou-se que o método de consolos sucessivos é, dentre as alternativas avaliadas, uma das mais adequadas em relação a aspectos de manutenção e operação, o que se reflete na sua nota 5 neste aspecto;

Cimbramento Fixo (Vãos de 40 e de 80 metros): sob o ponto de vista de manutenção e operação, o método de cimbramento fixo resulta em elevados equivalentes aos produzidos através de consolos sucessivos, pois pode-se reduzir o número de juntas na superestrutura e tem-se o emprego de apenas dois aparelhos de apoio por pilar, sendo possível empregar poucos pilares devido à faixa de vãos atendida pela alternativa de cimbramento. Tais pontos justificam a nota 5 dada a este método

- **Critério: Aspectos Estéticos**

Valorizando alternativas com menor número de pilares (os quais impactam a paisagem da região de implantação de elevados) e que possuem maior esbeltez, cada método recebeu as seguintes notas neste critério de decisão:

Lançamento Progressivo: alternativa capaz de produzir elevados adequados sob o ponto de vista estético, mas que possuem o ponto negativo de demandarem um número superior de pilares em relação a alternativas como a de consolos sucessivos. Sendo assim, deu-se nota 3 a tal método construtivo;

Vigas Pré-Moldadas: método construtivo de grande impacto estético por produzir elevados robustos e com grande quantidade de pilares. Com isso, optou-se por conferir nota 1 a este método;

Consolos Sucessivos: trata-se de um método capaz de produzir uma solução agradável esteticamente, requerendo apenas alguns cuidados para que, de acordo com a relação entre a altura da superestrutura e o vão atendida, não se produza uma estrutura demasiadamente achatada, o que pode torná-la esteticamente negativa. Além disso, trata-se de um método construtivo com poucos pilares, o que o favorece neste critério. Considerados estes aspectos, deu-se nota 4 para o método construtivo de consolos sucessivos;

Cimbramento Fixo (Vãos de 40 e de 80 metros): esteticamente, trata-se do método construtivo mais favorável (fato que se reflete na sua nota 5) por permitir, a partir da concretagem in loco da superestrutura, a concepção arquitetônica desejada, propiciando,

com isso, grande liberdade de atuação para se produzir elevados de pouco impacto e que, de fato, constituam-se em obras de arte.

8.2.3. Matrizes de Decisão preenchidas

Descritas e justificadas cada uma das notas atribuídas aos métodos construtivos de Lançamento Progressivo, Vigas Pré-Moldadas, Consolos Sucessivos e Cimbramento Fixo, pode-se apresentar as matrizes de decisão preenchidas para cada um dos trechos analisados e com as notas finais disponíveis para avaliação da solução final a ser adotada para o Elevado Tamanduateí:

8.2.3.1. Matriz de Decisão do Trecho I preenchida

Matriz de Decisão de Método Construtivo para Elevado Metroviário - Trecho I						
Critérios de Decisão	Pesos	Métodos Construtivos				
		Lançamento Progressivo	Vigas Pré-Moldadas	Consolos Sucessivos	Cimbramento Fixo - Vão de 40 m	Cimbramento Fixo - Vão de 80 m
<i>Área requerida de Canteiro</i>	8	4	1	5	5	5
<i>Prazo de Execução</i>	3	4	5	3	2	2
<i>Volume de Concreto</i>	4	5	3	2	4	2
<i>Consumo de Armadura Ativa</i>	8	4	3	1	4	2
<i>Consumo de Armadura Passiva</i>	7	5	4	2	3	2
<i>Consumo de Fôrma</i>	7	5	3	4	4	4
<i>Equipamentos requeridos</i>	7	4	3	4	2	2
<i>Vão Máximo atendido</i>	1	3	3	5	3	5
<i>Experiência do Mercado</i>	5	1	5	3	5	5
<i>Interferências com o Trânsito</i>	3	5	2	4	1	1
<i>Manutenção e Operação</i>	8	4	2	5	5	5
<i>Aspectos Estéticos</i>	2	3	1	4	5	5
Total		255	181	215	238	209

Notas a serem atribuídas

- 1 - Péssimo
- 2 - Ruim
- 3 - Regular
- 4 - Bom
- 5 - Excelente

8.2.3.2. Matriz de Decisão do Trecho II preenchida

Matriz de Decisão de Método Construtivo para Elevado Metroviário - Trecho II						
Critérios de Decisão	Pesos	Métodos Construtivos				
		Lançamento Progressivo	Vigas Pré-Moldadas	Consolos Sucessivos	Cimbramento Fixo - Vão de 40 m	Cimbramento Fixo - Vão de 80 m
<i>Área requerida de Canteiro</i>	8	4	1	5	5	5
<i>Prazo de Execução</i>	3	4	5	3	2	2
<i>Volume de Concreto</i>	4	5	3	2	4	2
<i>Consumo de Armadura Ativa</i>	8	4	3	1	4	2
<i>Consumo de Armadura Passiva</i>	7	5	4	2	3	2
<i>Consumo de Fôrma</i>	7	5	3	4	4	4
<i>Equipamentos requeridos</i>	7	4	3	4	2	2
<i>Vão Máximo atendido</i>	10	3	3	5	3	5
<i>Experiência do Mercado</i>	5	1	5	3	5	5
<i>Interferências com o Trânsito</i>	6	5	2	4	1	1
<i>Manutenção e Operação</i>	8	4	2	5	5	5
<i>Aspectos Estéticos</i>	2	3	1	4	5	5
Total		297	214	272	268	257

Notas a serem atribuídas

- 1 - Péssimo
- 2 - Ruim
- 3 - Regular
- 4 - Bom
- 5 - Excelente

8.2.3.3. Matriz de Decisão do Trecho III preenchida

Matriz de Decisão de Método Construtivo para Elevado Metroviário - Trecho III

Critérios de Decisão	Pesos	Métodos Construtivos				
		Lançamento Progressivo	Vigas Pré-Moldadas	Consolos Sucessivos	Cimbramento Fixo - Vão de 40 m	Cimbramento Fixo - Vão de 80 m
<i>Área requerida de Canteiro</i>	8	4	1	5	5	5
<i>Prazo de Execução</i>	3	4	5	3	2	2
<i>Volume de Concreto</i>	4	5	3	2	4	2
<i>Consumo de Armadura Ativa</i>	8	4	3	1	4	2
<i>Consumo de Armadura Passiva</i>	7	5	4	2	3	2
<i>Consumo de Fôrma</i>	7	5	3	4	4	4
<i>Equipamentos requeridos</i>	7	4	3	4	2	2
<i>Vão Máximo atendido</i>	6	3	3	5	3	5
<i>Experiência do Mercado</i>	5	1	5	3	5	5
<i>Interferências com o Trânsito</i>	9	5	2	4	1	1
<i>Manutenção e Operação</i>	8	4	2	5	5	5
<i>Aspectos Estéticos</i>	2	3	1	4	5	5
Total		300	208	264	259	240

Notas a serem atribuídas

- 1 - Péssimo
- 2 - Ruim
- 3 - Regular
- 4 - Bom
- 5 - Excelente

8.3. Resultado do Estudo de Alternativas de Métodos Construtivos para o Elevado Tamanduateí

Após o preenchimento das matrizes de decisão dos trechos nos quais o Elevado Tamanduateí foi dividido, ficou evidente que a alternativa de método construtivo mais favorável para todos esses trechos, tanto em termos econômicos quanto em termos organizacionais (como canteiro e interferências com a região, por exemplo), corresponde ao método de Lançamento Progressivo, não havendo a necessidade de se utilizar soluções mistas.

Tal resultado (associado a pontuações de 252 no Trecho I, 297 no Trecho II e 300 no Trecho III) deve-se, naturalmente, ao conjunto global de características do Lançamento Progressivo. Entretanto, suas características de baixo consumo de materiais (o menor dentre todos os materiais analisados em comparação com todas as alternativas propostas), pequena área de canteiro requerida e interferências nulas com o trânsito da região foram determinantes para o resultado obtido. Neste ponto, um importante aspecto deve ser ressaltado. Em consulta a materiais voltados ao Método de Lançamentos Progressivos, destacando-se [WAIMBERG, 2002], observou-se que estes citam tal método como sendo de consumo de materiais superior a outros métodos, o que diferiria dos índices utilizados neste documento. Este consumo elevado seria fruto da impossibilidade de variação de altura da ponte, elevando o consumo de concreto, e da inversão de esforços durante a fase construtiva (ver item seguinte) que elevam o consumo de armadura frouxa e de armadura ativa. Trata-se de um ponto a ser observado e monitorado em etapas posteriores, especialmente durante o planejamento da obra e elaboração do Projeto Básico, mas, em virtude do gabarito e da experiência da empresa consultada para obtenção dos índices de consumo, optou-se por validar os mesmos, assumindo a possibilidade de executar pontes empurradas com consumos economicamente competitivos, o que confirma sua viabilidade para o trecho em estudo.

Assim, em virtude desses resultados da matriz de decisão e da adoção de tal método construtivo como alternativa real ao método atualmente utilizado no elevado em estudo, serão apresentados, nos próximos itens deste documento, o detalhamento do método de Lançamento Progressivo, com a abordagem de temáticas como seqüência executiva e descrição de equipamentos utilizados.

9. O Método de Lançamentos Progressivos

Após analisarmos segundo diferentes critérios, tais como consumo de materiais, prazo de execução e equipamentos utilizados, quatro diferentes métodos construtivos que poderiam ser utilizados para a execução do Elevado Tamanduateí, ficou evidente que o método de Lançamentos Progressivos apresenta grandes vantagens e se adapta às condições locais, motivo pelo qual foi adotado como alternativa à concepção do elevado pelo método de Consolos Sucessivos. Dessa forma, definida sua adoção, resta a indicação de suas principais características.

9.1. Definição

O Método de Lançamentos Progressivos (ou de Ponte Empurrada) pode ser definido como o método no qual a ponte (ou seus segmentos) é produzida em uma de suas extremidades, sendo colocada em sua posição final via empurramento sobre seus pilares até a extremidade oposta, podendo ser concebidas pontes retas ou curvas.

De forma mais técnica, convém citar a definição apresentada por [SCHMID, 2005], para quem o processo de lançamentos progressivos “consiste na pré-fabricação dos segmentos atrás de um dos encontros da ponte, sendo cada segmento concretado e protendido diretamente contra o anterior. Após a sua cura, o conjunto todo é empurrado para a frente na distância de 1 segmento”.

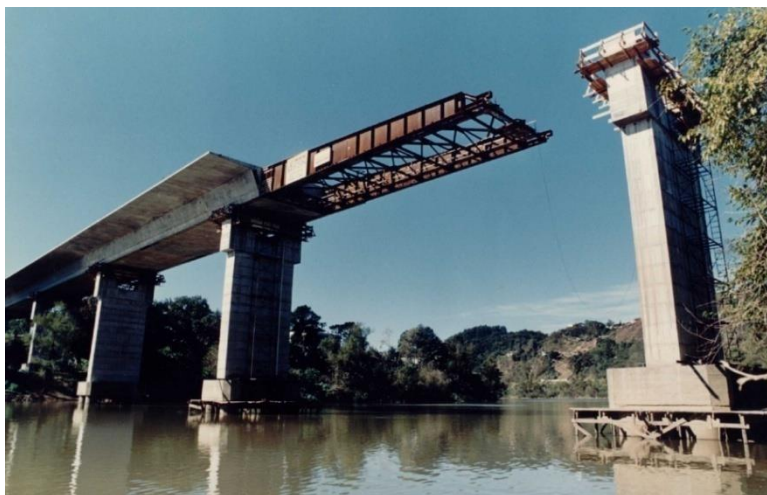


Figura 41: Exemplo de Ponte Empurrada Reta – Ponte do Tamarindo, Santa Catarina

– Fonte: [WAIMBERG, 2002]

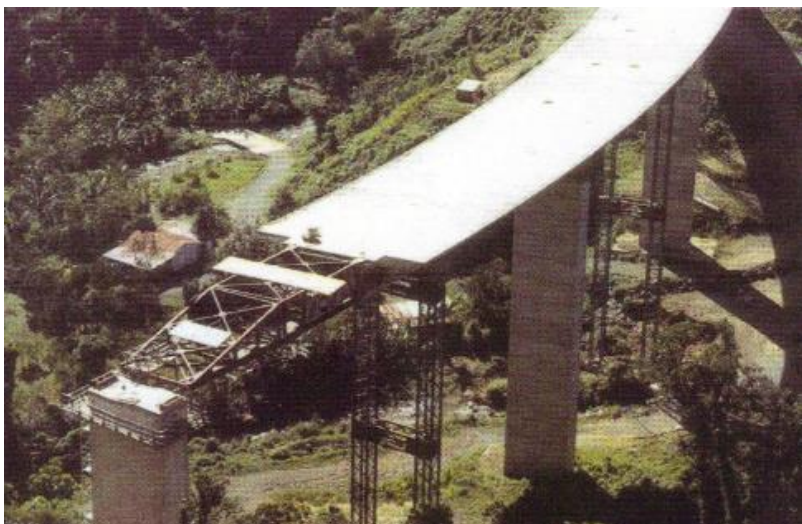


Figura 42: Exemplo de Ponte Empurrada Curva – Caguana River Bridge, Porto Rico –

Fonte: [Bridge Construction Partner]

Trata-se de um método aplicado inicialmente para pontes metálicas, devido ao baixo peso destas, mas que, em função dos avanços na produção de concreto protendido (tornando-o mais leve e menos susceptível à fissuração) e ao desenvolvimento de novos materiais, como o Politetrafluoretileno - PTFE (Teflon), vêm adquirindo espaço dentro do universo de pontes de concreto.

9.2.Histórico

Os princípios do método do lançamento progressivo surgiram inicialmente na Alemanha após o término da 2ª Grande Guerra Mundial com o intuito de reconstruir o país com um método de maior competitividade possível na época, desde então tal método sofreu um enorme desenvolvimento na construção de pontes em concreto protendido, uma vez que ele diminuiu em muito o custo de mão-de-obra.

A primeira ponte a ter tal método empregado em concreto protendido foi a ponte sobre o rio Caroni na Venezuela entre os anos de 1961 e 1964, a qual foi idealizada e empregada pelos engenheiros Fritz Leonhardt e Willy Baur e foi teve a denominação de lançamento cíclico. Foi somente em 1965, na construção de uma ponte rodoviária próximo a Kufstein, Alemanha, que pela primeira vez foi utilizado o Método de Lançamentos Progressivos.

No Brasil, o processo de lançamento progressivo foi até hoje poucas vezes utilizado devido a um preconceito das construtoras e dos projetistas sobre o método, mas que aos poucos vem sendo minimizado com a conscientização dos projetistas e das construtoras.

Como exemplo de obra empurrada no Brasil pode-se citar a ponte sobre o rio Pardo em São Paulo, entre os anos de 1982 e 1983, a ponte sobre o rio Jordão no Paraná, entre os anos de 1980 e 1981 e como marco da primeira ponte executada em tal método foi a execução da passarela sobre a Fepasa na Estação de Presidente Altino, São Paulo, com o projeto da Maubertec Engenharia e Projetos Ltda no ano de 1978.

9.3.Vantagens e Problemas associados às Obras Empurradas

De modo sucinto, o estudo do método de Lançamentos Progressivos indica a presença dos seguintes aspectos positivos e negativos:

O método dos lançamentos progressivos possui inúmeras vantagens em relação aos demais métodos, como ausência total de escoramentos, canteiro de trabalho estacionário e compacto, alta produtividade e eficiência, substancial redução do prazo de construção e baixo emprego de mão-de-obra em termos de horas trabalhadas.

Dentre os problemas usuais de tal tipo de método construtivo podemos citar o de erro na introdução dos aparelhos provisórios, os quais introduzem esforços horizontais que não foram previstos em projeto para os pilares, podendo com isso romper a estrutura. Um segundo problema típico é o desnivelamento entre os apoios, o que é equivalente a um recalque de apoio. O desnivelamento transversal entre os berços de deslizamento é um problema que também devemos nos ater, uma vez que o mesmo gera um desbalanceamento das reações de apoio fazendo com que a resultante das forças seja excêntrica. A forma e o detalhamento dos aparelhos de apoio provisórios também podem ser um problema se não forem bem locados sob a projeção da alma, gerando uma alteração de tensões. Por fim, devemos nos ater aos possíveis problemas gerados pela incorreta disposição das bainhas vazias de protensão, as quais podem causar concentrações de tensões em suas imediações.

Ademais o método impõe uma restrição na geometria da estrutura como um todo, uma vez que a declividade ou raio de curvatura do greide da obra deve ser constante devido à atividade do lançamento. Isto se constitui numa dificuldade em especial na obra do Elevado Tamanduateí, uma vez que o topo do boleto previsto em projeto impõe variações de declividade no trecho. Para efeito acadêmico deste documento, todos os desenhos possuirão declividades variáveis conforme acima mencionadas. Entretanto, para efeito de cálculo, será considerada uma declividade constante de 2%, indo de

acordo com a premissa do método construtivo, implicando neste caso numa interferência com o gabarito rodoviário da Av. Dr. Francisco Mesquita.

Para viabilizar tal consideração, poderiam ser executadas as seguintes intervenções: o rebaixamento da Avenida Dr. Francisco Mesquita, redução da altura da seção (com conseqüente aumento da taxa de armadura) e reposicionamento do ponto de emboque no trecho em túnel para mais distante da avenida em questão. Entretanto, o detalhamento de quaisquer intervenções mencionadas acima está fora do escopo deste relatório.

9.4. Seqüência Construtiva

Um dos aspectos mais importantes nesta etapa de caracterização do método de Lançamentos Progressivos corresponde à descrição de sua seqüência construtiva, a qual mostra inúmeros aspectos importantes e pertinentes às obras empurradas, como o uso de “telefones” e a inversão de momentos fletores que solicitam a superestrutura da ponte, ambos abordados posteriormente.

Genericamente, a seqüência construtiva do método de Lançamentos Progressivos envolve os seguintes processos:

- 1) Montagem de Fôrmas de Segmentos a serem lançados;
- 2) Instalação da Armação do Segmento (armação montada anteriormente, simultaneamente à execução de outros serviços, como concretagem);
- 3) Concretagem do Segmento;
- 4) Tratamento de Juntas Verticais;
- 5) Cura do Concreto;
- 6) Desfôrma e Protensão do Segmento;
- 7) Lançamento do Segmento

A repetição cíclica desta metodologia resulta na execução da ponte empurrada, com configuração geral representada na Figura 43

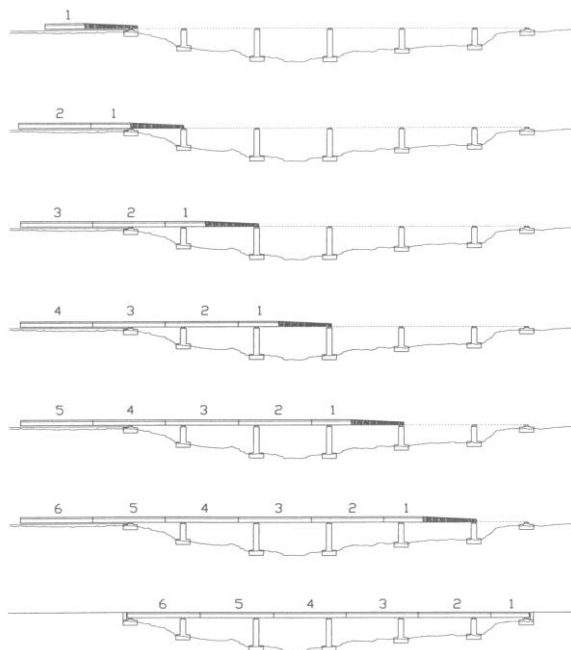


Figura 43: Configuração Geral da Seqüência Construtiva de Pontes Empurradas

A seqüência anterior apresenta variações em função do sistema de concretagem adotado, o qual pode ser em fase única ou em duas fases, e da concepção do sistema de fôrmas.

Considerando que o sistema de concretagem em fase única, conforme [WAIMBERG, 2002], aplica-se de forma mais adequada a seções abertas, em grelha ou laje, e que tais seções são, nas obras empurradas, preteridas por seções caixão unicelulares (que apresentam comportamentos mais compatíveis com a envoltória de momentos fletores na fase de lançamento da ponte e que possuem características de facilidade de disposição de cordoalhas e alta rigidez à torção), concentraremos as descrições a serem feitas no sistema de concretagem em duas fases, mais voltado a seções fechadas, como a que utilizaremos no Elevado Tamanduateí. Deve-se ressaltar, apenas, que a concretagem única é possível de ser utilizada para seções caixão unicelulares, havendo, inclusive, a possibilidade de emprego de fôrmas fixas ou móveis, mas não se trata da alternativa mais usual.

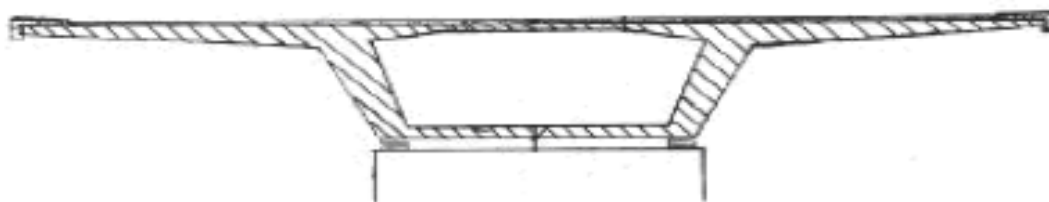


Figura 44: Seção Caixa Unicelular

Tendo-se em vista este ponto, alguns dos aspectos da seqüência construtiva e dos equipamentos nela empregados, são abordados a seguir:

- Sistema de Fôrmas

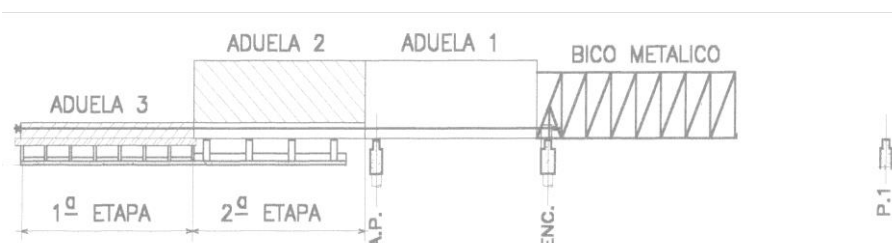
Considerando-se, especificamente, o sistema de concretagem em duas etapas, verifica-se que o sistema de fôrmas pode ser concebido de duas formas distintas, correspondentes ao sistema de fôrma única e ao sistema com duas fôrmas defasadas no espaço e que influenciam significativamente a seqüência construtiva apresentada anteriormente e o cronograma da obra.

Conforme [WAIMBERG, 2002], o sistema com fôrma única é caracterizado pela concretagem, na primeira etapa, da laje de fundo do segmento e de suas almas (totalmente ou parcialmente). Na seqüência, retira-se as fôrmas internas das almas e monta-se a fôrma da laje superior, de modo que a segunda etapa de concretagem pode ocorrer, finalizando a execução de um segmento e fornecendo ao mesmo a forma para posterior protensão e lançamento.



Figura 45: Ponte Executada com Concretagem em duas etapas e sistema de fôrma única –
Fonte: [WAIMBERG, 2002]

No caso da execução com duas fôrmas defasadas no espaço, também há a concretagem em duas etapas. Entretanto, neste caso, são executados dois segmentos simultaneamente, havendo a concretagem de primeira etapa em um dos segmentos e a concretagem de segunda etapa no outro segmento (que, na fase anterior do processo, passou pela primeira fase de concretagem). A figura a seguir ilustra de forma mais adequada o processo com duas fôrmas defasadas no espaço, sistema que, inicialmente, faz parte do planejamento de obra alternativa do Elevado Tamanduateí:



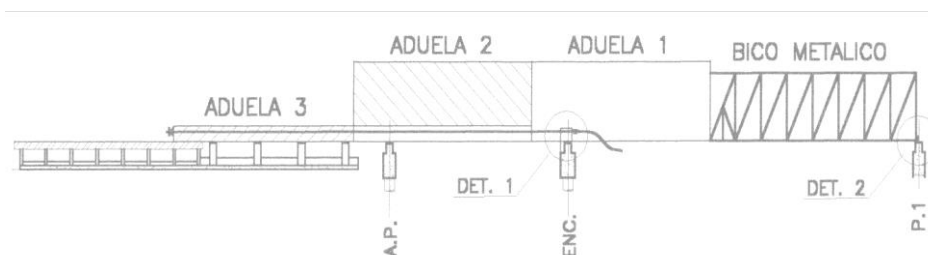


Figura 46: Ponte Empurrada com concretagem em duas etapas e sistema de fôrmas dupla defasadas no espaço – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

Segundo [SCHMID, 2005], o emprego do sistema de fôrmas com fôrmas duplas defasadas no espaço necessita de um berço de concretagem de comprimento duplo (comprimento de dois segmentos), o que é corroborado por [WAIMBERG, 2002], para quem tal sistema de fôrmas requiere maior espaço de canteiro.

Como já destacado, cada um destes sistemas de fôrmas apresenta implicações na seqüência da obra, o que pode ser visualizado pelos cronogramas apresentados a seguir:

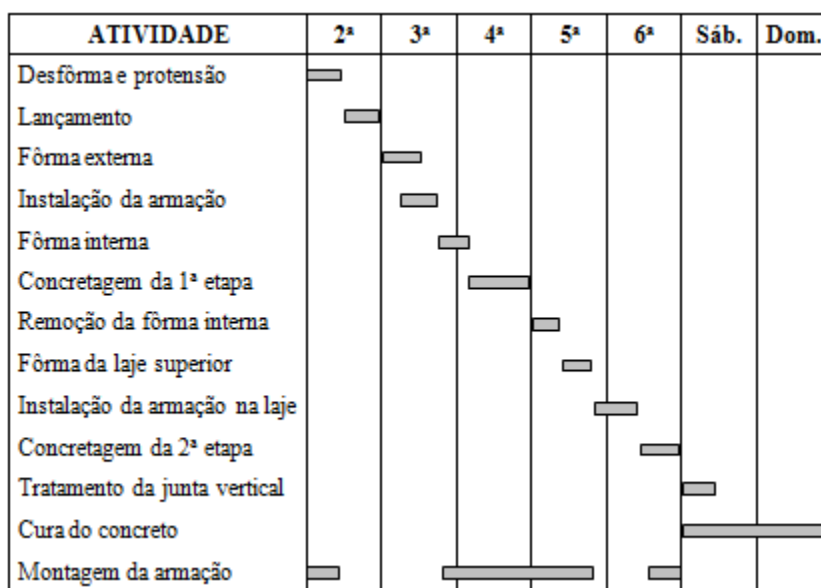


Figura 47: Cronograma para sistema único de fôrmas – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

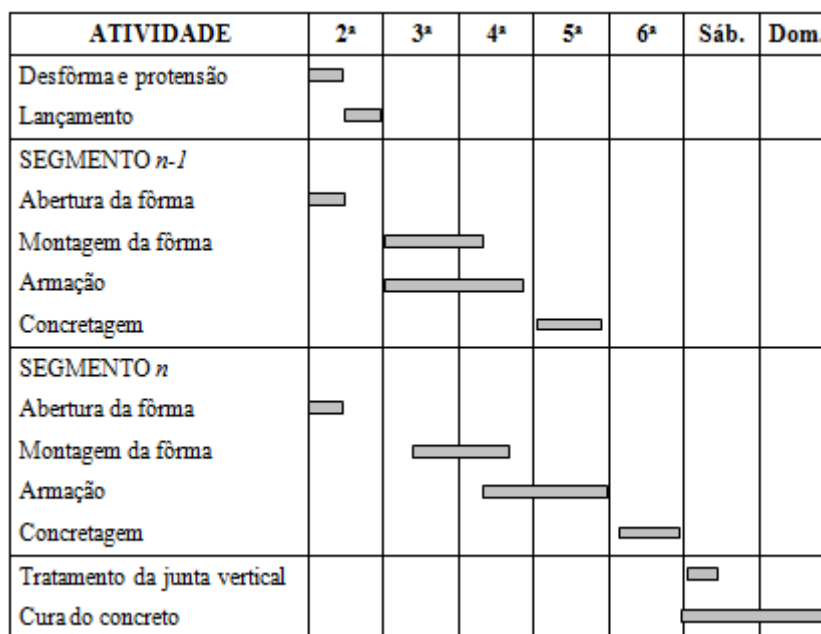


Figura 48: Cronograma para sistema duplo de fôrmas defasadas no espaço – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

Independentemente do sistema empregado alguns aspectos importantes em relação às fôrmas deve ser considerado. Neste caso, destaca-se a preocupação com o acabamento do conjunto de fôrmas, devendo este ser compatível com a necessidade de que esta se comportem como superfícies deslizantes durante deslocamento do segmento ao longo de seu lançamento, e com o nivelamento das fôrmas, o qual deve ser constantemente monitorado e corrigido sempre que alterações sejam identificadas.

- Lançamento de Segmentos

Em relação ao lançamento dos segmentos, três aspectos básicos devem ser ressaltados: o equipamento de lançamento, os apoios provisórios de deslizamento e as guias laterais.

Assim, no que tange ao equipamento de lançamento, tem-se que o mesmo é posicionado no encontro a partir do qual a ponte é lançada, sendo, em sua configuração mais usual (o que descarta sistemas de pistões como os apresentados por [WAIMBERG, 2002], composto por, segundo [SCHMID, 2005], “dois macacos de protensão hidráulicos apoiados no encontro e ligados por meio de dois cabos de protensão a um perfil metálico situado na parte anterior do módulo”. Quando acionados, estes macacos tracionam os cabos e, pela ação proporcionada pelo apoio fixo (o citado perfil metálico), o módulo (ou segmento) é puxado em direção ao encontro, empurrando o segmento já

executado a sua frente. Tal sistema propicia uma velocidade de deslizamento média entre 3 metros e 6 metros de ponte por hora e evita que o segmento seja puxado diretamente, o que poderia comprometer o elemento de concreto tendo em vista a baixa resistência à tração deste material.

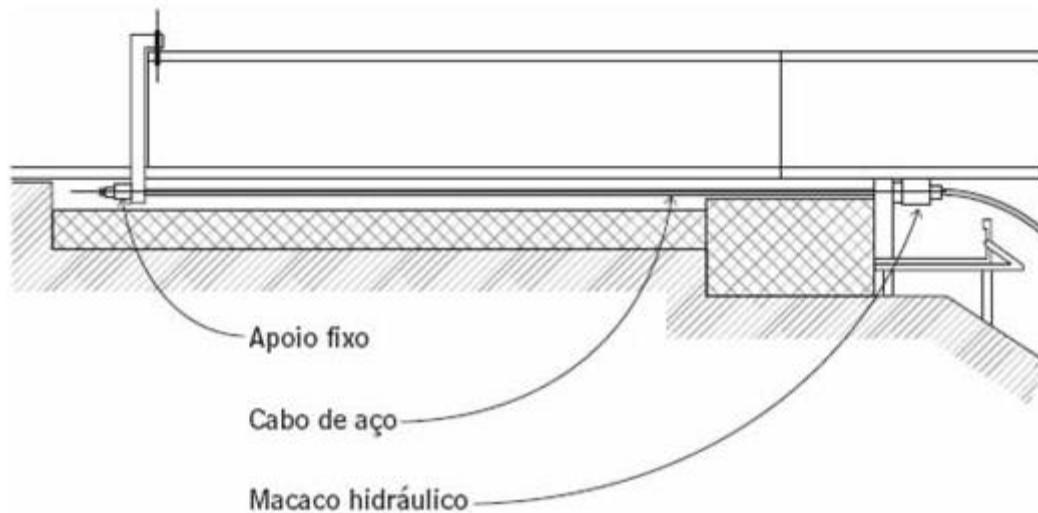


Figura 49: Equipamento de Lançamento – Fonte: [Revista Técnica]



Figura 50: Macaco Hidráulico do Equipamento de Lançamento – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

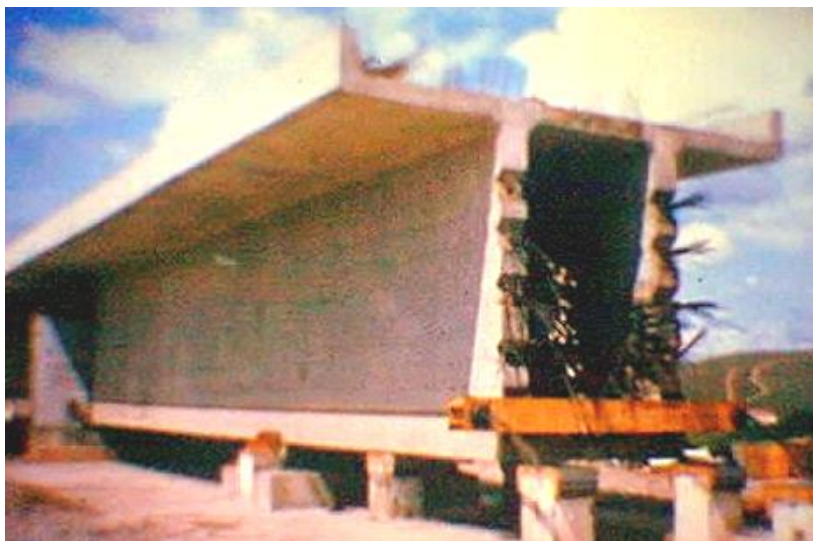


Figura 51: Perfil Metálico do Equipamento de Lançamento – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

Para o dimensionamento (ou escolha) dos macacos hidráulicos, considera-se que a força de tração deve ser tal que vença a força de atrito (usualmente adotada como 6% do peso da estrutura) e as forças vinculadas a acíves da ponte lançada de acordo com o peso desta (forças associadas à componente do peso na direção do deslizamento). No caso de declives, esta componente da força peso diminui a força de protensão a ser fornecida pelos macacos hidráulicos, mas pode vir a demandar sistemas de frenagem, especialmente para declives superiores a 4%, que impeçam o escorregamento da estrutura.

Estando disponível o equipamento de lançamento, este só ocorrerá de forma eficaz se forem providenciados dois importantes elementos: as guias laterais e os apoios provisórios. As guias laterais são elementos colocados em cada pilar da mesoestrutura da ponte com o intuito de controlar o movimento lateral da ponte, evitando o tombamento da estrutura.



Figura 52: Guias Laterais – Fonte: [WAIMBERG, 2002]



Figura 53: Guia Lateral em Detalhe

Os apoios provisórios de deslizamento, por sua vez, em conjunto com o berço de deslizamento (ou “telefone”, devido ao seu formato), correspondem a elementos que permitem o deslizamento da estrutura sobre os pilares.

Os aparelhos de apoio são compostos por placas de neo-flon (aparelhos de neoprene fretados com a face inferior revestida com Teflon) que são continuamente introduzidos manualmente entre o tabuleiro e o berço de deslizamento. Este berço, usualmente de concreto, mas que pode ser metálico, é revestido por chapa de aço inoxidável, conforme

mostra a figura a seguir. Para minimizar o atrito observado quando a ponte é empurrada, pode-se utilizar graxa sobre a superfície de aço inoxidável do berço de deslizamento.

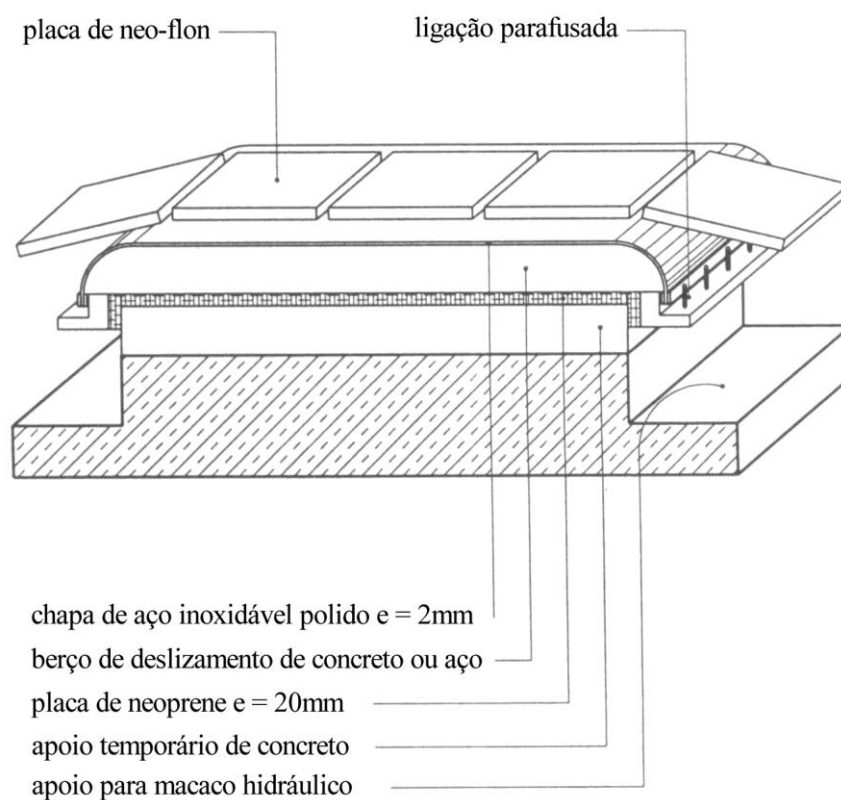


Figura 54: Berço de Deslizamento e Apoios Provisórios – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

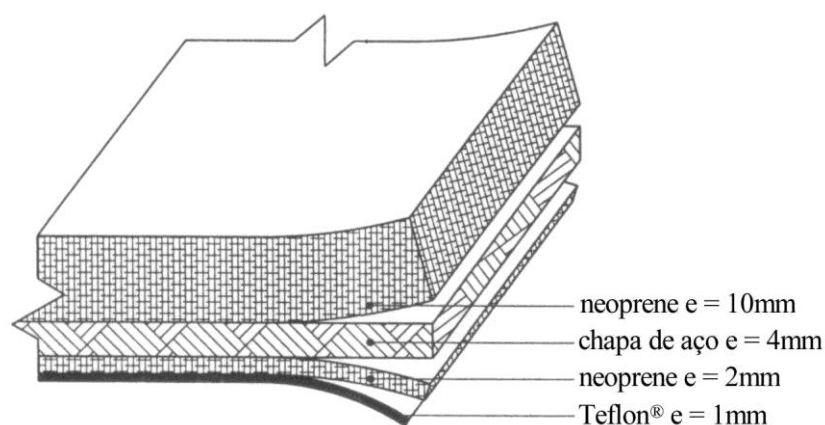


Figura 55: Placa de Neo-flon em detalhe – Fonte: [WAIMBERG, 2002]



Figura 56: Berço de Deslizamento e Placas de Neo-flon

Após a ponte ser empurrada, macacos hidráulicos erguem a mesma e os berços e apoios são retirados, havendo a colocação dos apoios definitivos. Existem, atualmente, outras opções, que prezam pela facilidade de montagem final dos aparelhos definitivos após o lançamento da ponte. É o caso do berço indicado na figura a seguir, montado sobre a base metálica dos aparelhos de apoio definitivos, exigindo que apenas se faça, após a retirada das peças provisórias, a complementação dos apoios finais.



Figura 57: Exemplo de Berço de Deslizamento – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

- Esforços Solicitantes devido ao Método Construtivo e Bicos Metálicos

A seqüência construtiva apresentada, principalmente devido ao percurso de cada segmento até chegar a um pilar, ficando, durante parte deste trecho, em balanço, acaba por levar a inversões de esforços (prioritariamente momentos fletores) que devem ser levados em consideração durante o projeto de pontes empurradas (o que é feito, por exemplo, ao se especificar, durante a fase construtiva, protensão centrada). Além destes esforços construtivos (esforços que ocorrem durante a obra, diferindo nos esforços verificados com a ponte em serviço) na superestrutura, o método de construtivo também resulta em esforços adicionais nas meso e infraestruturas das pontes empurradas. Assim, se tomarmos como exemplo os pilares da estrutura, veremos que os mesmos devem ser dimensionados levando-se em consideração forças horizontais de atrito oriundas da passagem do tabuleiro pelo berço de deslizamento que tendem a empurrar os pilares durante a fase construtiva, mas que não ocorrem após o término da obra.

Focando-se na questão de inversão de momentos e de forças cortantes, verifica-se a ocorrência das situações indicadas pelas Figura 58 e Figura 59:

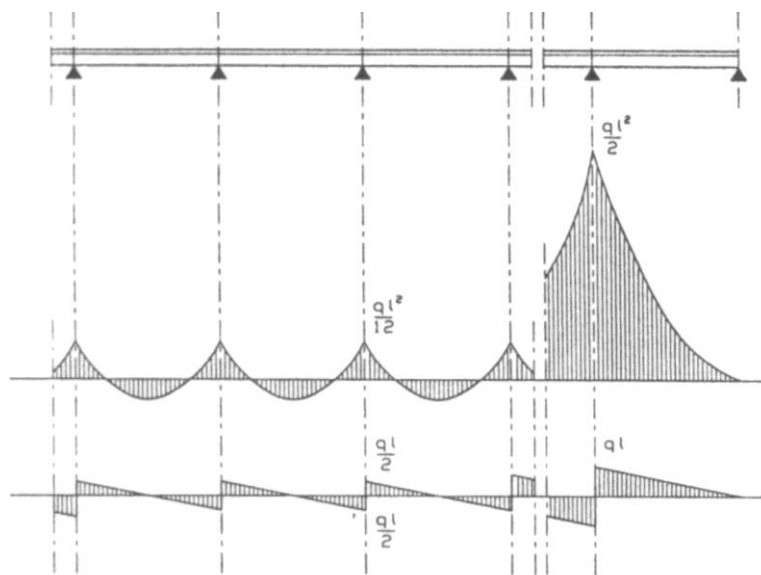


Figura 58: Esforços Solicitantes no Período Construtivo – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

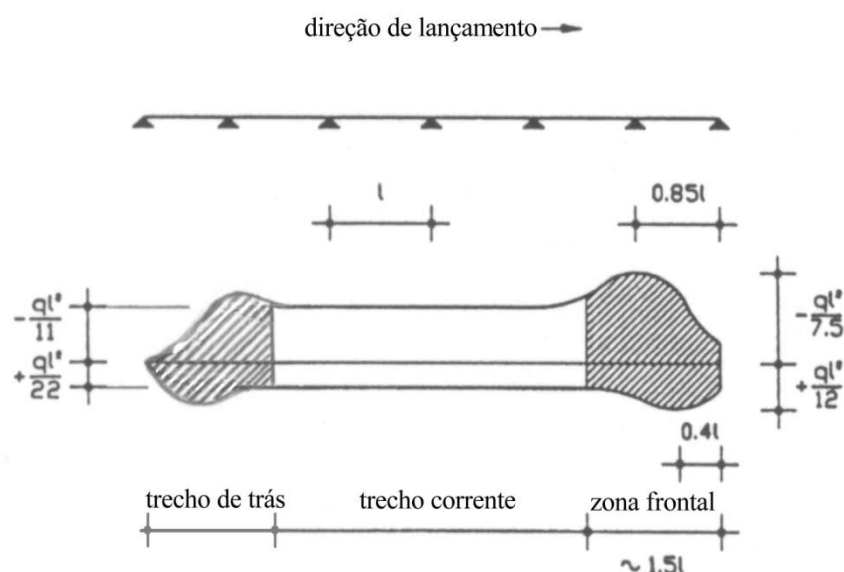


Figura 59: Envoltória de Momentos Fletores – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

Os grandes momentos negativos que surgem durante o período construtivo, caso sejam utilizados para o dimensionamento de toda a estrutura, resultariam em estruturas superdimensionadas, como destaca [WAIMBERG, 2002]. Para minimizar estes momentos construtivos e permitir a concepção de uma estrutura mais otimizada, pode-se fazer uso pelo emprego de apoios provisórios (elementos de concreto ou metálicos) que reduzam o vão em balanço ou, como é mais comum, pela redução do peso do trecho em balanço mediante emprego dos chamados bicos metálicos.



Figura 60: Bico Metálico em Detalhe – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

Os bicos metálicos, que devem possuir extremidade em esqui (ver Figura 60) para permitir que o bico suba no pilar, corrigindo deformações elásticas da superestrutura,

são geralmente compostos por duas vigas metálicas de alma cheia com travamentos horizontais ou por vigas treliçadas.

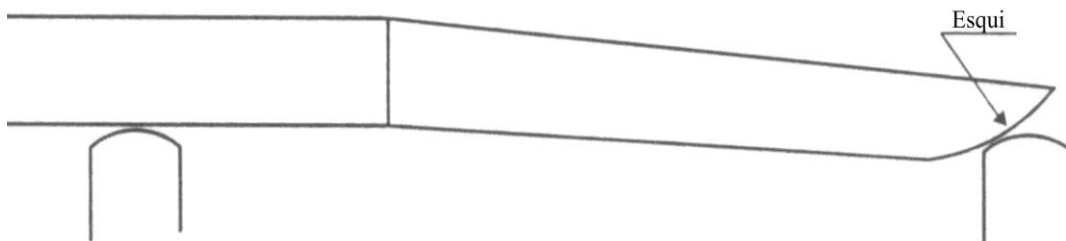


Figura 61: Extremidade em Esqui de Bicos Metálicos – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

Segundo [SCHMID, 2005], os bicos metálicos possuem pesos médios de 1,5 a 2 tf/m, o que resulta em grande decréscimo do peso em balanço (o mesmo autor cita um exemplo claro desse efeito positivo dos bicos metálicos ao abordar uma ponte empurrada na Holanda cuja superestrutura pesava 375 toneladas em um trecho de 15 metros, enquanto este mesmo trecho era constituído por um bico metálico de 20 toneladas), e são mais eficientes quando apresentam comprimentos médios de 60% a 70% do vão médio da obra, apesar de, conforme [WAIMBERG, 2002], tais comprimentos variarem em função não apenas do vão, mas, também, dos peso e rigidez relativos entre a estrutura metálica do bico e a superestrutura.

Definido o comprimento do bico metálico que resulte em maior relação benefício/custo, ou seja, que propicie economias de consumo de armaduras ativa e passiva sem que isso signifique custo excessivo com o próprio bico, deve-se dedicar especial atenção à sua ligação com a estrutura de concreto, ligação esta que, geralmente, é feita via barras protendidas.



Figura 62: Ligação do Bico Metálico com a Estrutura de Concreto – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

9.5.Canteiro

Como já ressaltado durante a elaboração da matriz de decisão, uma das principais vantagens do método de Lançamentos Progressivos está associado ao seu pequeno canteiro. Cabe, neste momento, entender o que há neste canteiro.

Segundo [WAIMBERG, 2002], “um canteiro típico é composto por uma área de trabalho e eventual montagem de gaiolas de armação e uma pista onde são instaladas as fôrmas e concretados os segmentos de tabuleiro”. A estes elementos, [SCHMID, 2005] acrescenta, caso seja necessário, uma central de concreto e espaços para guindastes sobre trilhos para transporte da armação (neste aspecto, verifica-se uma diferença entre [SCHMID, 2005] e [WAIMBERG, 2002], pois este último admite o transporte de armação via roletes, o que é possível pela montagem da central de armação próxima às fôrmas).

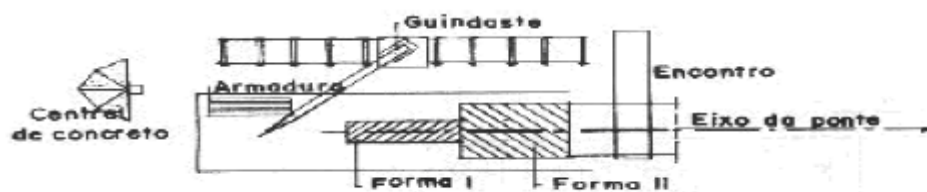


Figura 63: Canteiro de Pontes Empurradas – Fonte: [SCHMID, 2005]



Figura 64: Armação sobre Roletes – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

Outro aspecto a ser ressaltado no canteiro de obras empurradas é que este pode ser coberto e protegido de intempéries, evitando paralisações na obra vinculadas ao clima.



Figura 65: Canteiro com Áreas Cobertas – Fonte: [WAIMBERG, 2002]

10. Estudo do Material Rodante e da Superestrutura Ferroviária

O primeiro passo para iniciar-se o estudo estrutural da obra empurrada é a pré-definição da fôrma a qual será adotada a fim de resistir aos esforços solicitantes. Contudo, para chegar-se a tal primeira definição, devem-se estudar os limites mínimos impostos pelo Metrô, tal como bitola dos trens, espaçamento mínimo entre eles, saída de emergência, entre outros. Além disso, deve-se levar em consideração a facilidade construtiva, de modo que haja uma modularidade na estrutura e assim a fôrma deve ter uma forma que seja adequada à disponibilidade de canteiro e à rapidez necessária em obra, sendo coerente com os indicativos provenientes de outras obras semelhantes.

Os aspectos relacionados ao aparelho de apoio também devem ser avaliados na fase de análise da superestrutura ferroviária, principalmente na questão de ruídos. Esta preocupação justifica-se devido à previsão da prefeitura, no Plano Diretor, de tornar a região do Tamanduateí uma área valorizada imobiliariamente de modo que se prevêem edifícios residenciais e comerciais naquela zona. Logo, é importante que o metrô se insira neste contexto sem destoar do previsto pelo Plano Diretor e tendo a preocupação em manter-se adequado às necessidades da população presente e futura que se beneficiará deste.

No próprio site do Metrô (www.metro.sp.gov.br) são previstos que, para construção de um elevado, devido à sua alta interação com a paisagem urbana e a população vizinha, deve-se considerar para efeitos minimizadores de interferências:

- ✓ os métodos construtivos, encurtando os prazos de execução;
- ✓ o material rodante, permitindo a fabricação de trens mais silenciosos, com carros menores e mais leves;
- ✓ e o tratamento da via permanente, prevenindo a propagação de ruídos e vibrações.

O site também explicita que, para avenidas com largura superior a 40 metros, como é o caso da Av. Dr. Francisco Mesquita, ou regiões mais desocupadas como é o caso atual da região do Tamanduateí, o desconforto da propagação de ruídos é minimizado e, portanto, o elevado requer menor preocupação quanto aos ruídos. Contudo, conforme mencionado em parágrafos anteriores, a situação futura na região será distinta e o metrô deve considerar a paisagem urbana na qual se insere não só no curto prazo, mas também ao longo de sua vida útil, em harmonia com o previsto pelo Plano Diretor e demais planejamentos municipais.

10.1. Características dos Veículos

O metrô de São Paulo preocupa-se em manter-se atualizado quanto ao material rodante, de modo que é possível prever uma evolução na tecnologia dos trens ao longo do tempo. No caso da linha 2 – verde objeto de estudo deste trabalho, os trens estão sendo substituídos gradativamente por outros mais modernos. Os trens da Linha 2 – Verde foram e são fabricados pela empresa francesa Alstom. Até o atual momento o metrô conta com a entrega de 5 dos 16 novos trens a serem utilizados em toda a extensão da linha. A figura abaixo mostra o design do novo trem da Linha 2 – Verde:



Figura 66: Novo trem da Linha 2- Verde.

Os novos trens possuem algumas vantagens frente aos antigos, mas mais do que isto, são trens mais adequados para passagens em elevado. Estes trens possuem ar condicionado em todos os vagões, redução do nível de ruído, 26 câmeras de segurança, que monitoram os vagões e transmitem ao vivo para um monitor na cabine do operador, freios antideslizantes e antiderrapantes, para garantir uma parada suave, além de um novo *design* externo, levando a um maior conforto visual. Além disso, o metrô põe em destaque a nova largura das portas, aumentadas de 1,3 m para 1,6 m, o que facilitaria o fluxo de embarque e desembarque.

Contudo, segundo reportagem da revista *Veja*, em 17 de junho de 2009, os novos trens tiveram uma diminuição da altura útil interna do vagão, gerando desconforto aos cidadãos mais altos da cidade. O metrô justifica que utilizou a altura média fornecida pelo IBGE de 1,69 m de altura para os homens e 1,58 m para as mulheres.

Questionamentos à parte, o novo vagão do metrô está mais adequado a atender as exigências de conforto e segurança da linha.

Assim, os trens da linha 2 – Verde estão sendo trocados gradativamente e o quadro abaixo indica a atual situação da frota de trens do metrô de São Paulo:

Frota	Numeração dos TUEs (Unidades)	Numeração dos Carros	Bitola (mm)	Potência (kW)	Fabricante	Origem	Ano de Fabricação	Frota Ativa	Frota Inativa	Frota Total TUEs	Frota Total Carros	Linhas em que Operam
A / B	01 a 51	1001 a 1198 (frota 198/ 1199 a 1306 (frota 108)	1600	3000	Maersa sob licença da The Budd CO.	Brasil	1972/1974	51	0	51	306	1-Azul (definitivo) e 2-Verde (temporário)
C	301 a 325	3001 a 3150	1600	3000	Cobrasma sob licença Francorail	Brasil	1982/1986	24	1*	25	150	3-Vermelha
D	326 a 347	3151 a 3282	1600	3360	Maersa	Brasil	1986/1988	21	1*	22	132	3-Vermelha
E ("Milênio")	201* a 211*	2011* a 2116*	1600	4080	Alstom	Brasil	1997/1998	11	0	11	66	2-Verde
F ("Metropolis")	501 a 508	5701 a 5748	1435	4560	Alstom	Brasil	2001/2002	8	0	8	48	5-Lilás
G	212 a 228	2121 até 2286	1600		Alstom	Brasil	2007/2009	5	0	5	30	2-Verde
TOTAL								120	2	122	732	

Figura 67: Frota do Metrô de São Paulo.

É possível analisar que, a linha 2 – Verde, estava até o momento atual contando com trens semelhantes aos utilizados na linha Norte-Sul, porém com caráter temporário. Isto se deve ao pátio de manobras o qual teve de ser o mesmo da Linha 1 – Azul, pois não havia como construir um pátio de manobras para a Linha da Paulista. Assim, há uma substituição da frota A/B por G tal que, até o momento entraram em operação os seguintes trens:

- ✓ G213 – Entrou em Operação no dia 28/03/2009;
- ✓ G215 – Entrou em Operação no dia 30/04/2009;
- ✓ G214 – Entrou em Operação no dia 07/05/2009;
- ✓ G212 – Entrou em Operação no dia 23/05/2009;
- ✓ G216 – Entrou em Operação no dia 19/06/2009.

A bitola dos novos trens é a mesma dos trens da frota A/B de modo que o gabarito dos trilhos permaneça o mesmo. O número de vagões também se mantém sendo de 6 vagões para cada trem, com 2 truques de 2 eixos cada, sendo a distância entre eixos e truques mostradas no esquema a seguir:

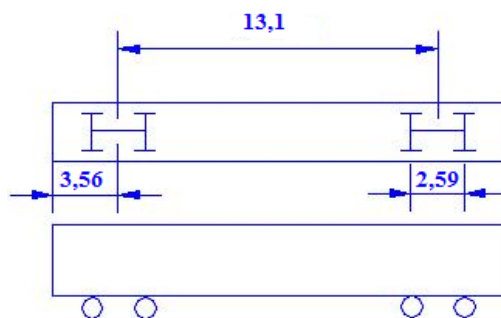
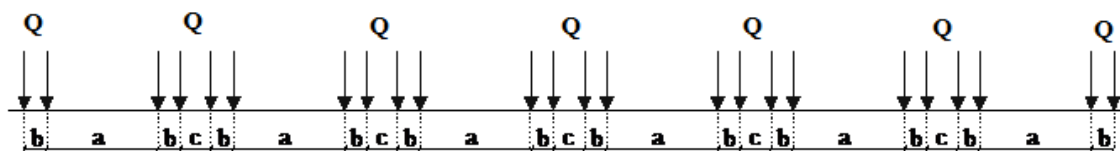


Figura 68: Gabarito Estático Longitudinal do Carro

Além do gabarito estático, é importante ter em conta o gabarito dinâmico do trem, pois é a partir deste que determinaremos a largura necessária para o tráfego dos trens e a distância destes à passagem de emergência chegando finalmente às dimensões da fôrma. O gabarito dinâmico depende do raio de curvatura do projeto geométrico da via e de sua sobrelevação, tal que está é limitada a 4% devido à potência imprimida pelo material rodante.

As cargas solicitantes advindas do esforço dos trens são essenciais para os cálculos posteriores no elevado. Para tal, é característica do material rodante da Linha 2-Verde o seguinte trem-tipo:



Tal que:

- ✓ $a = 13,1$ metros
- ✓ $b = 2,59$ metros
- ✓ $c = 3,56$ metros
- ✓ $Q = \text{Carga Unitária por Eixo} = 17,5 \text{ tf}$

Segundo diálogo com o Arq. Rodrigo, da Companhia do Metrô de São Paulo, este novo trem está à favor da segurança quando comparado com o atual, de modo que, para efeito deste Trabalho de Formatura, serão dispostas a seguir as características do material rodante atual na Linha 2 - Verde. Algumas das características a seguir já foram discutidas em parágrafos anteriores comparativamente aos novos trens.

Tabela 16: Características Gerais do Material Rodante Atual na Linha 2 – Verde.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS CARROS	
Carro A: Peso vazio (kg)	36.800
Peso máximo (kg)	57.990
Peso nominal (kg)	53.635
Carro B: Peso vazio (kg)	35.400
Peso máximo (kg)	57.890
Peso nominal (kg)	53.340
Lotação por carro	
. sentados - carro A	41 passageiros
carro B	48 passageiros
. em pé(1) - carro A	143/214 passageiros
carro B	154/230 passageiros
Raio mínimo de curvatura (m)	150
Modo operacional	Manual, ATO, MCS
Comprimento de cada carro, entre engate (mm)	21750
Largura do carro (mm)	3100
Altura total (mm)	3575
Altura do piso ao boleto do trilho (mm)	1113
Quantidade de portas, por carro	8
Largura livre das portas (mm)	1300
Altura livre das portas (mm)	1900
Tipo de mecanismo das portas	pneumático
Espaço para pessoa em cadeira de rodas nos carros extremos.	
Sinalização luminosa de fechamento das portas para pessoas com deficiência auditiva.	

Tabela 17: Características Gerais do Truque do Material Rodante Atual na Linha 2 – Verde.

TRUQUE	
Bitola (mm)	1.600
Diâmetro das rodas (mm)	842
Alimentação do 3º trilho (Vcc)	750
Suspensão primária	elemento de borracha
Suspensão secundária	pneumática/2 bolsas de ar
Caixa de engrenagem	7,307 : 1
Discos de freio	2 por eixo

Tabela 18: Demais Características do Material Rodante Atual na Linha 2 – Verde (1).

CAIXA	
Material	aço inoxidável
Interior	melamina/fibra de vidro
Ventilação	6 exaustores, 8 insufladores e 4 recirculadores
Capacidade de ventilação	175 trocas/hora
TRAÇÃO	
Motores	4 de 140 kW - 750 Vcc
Controle	chopper
Captação de energia	sapata coletora (4 por carro)
AUXILIARES	
Conversor estático	750 Vcc/220 Vca, 60 Hz, 38 KVA
Retificador	220 Vca, 60 Hz, 3 Ø / 48 Vcc
Bateria	48 Vcc (carro A)

Tabela 19: Demais Características do Material Rodante Atual na Linha 2 – Verde (2).

FREIO	
Elétrico	regenerativo / reostático
Atrito	pneumático (disco)
DESEMPENHO	
Aceleração máxima (m/s ²)	1,12
Desaceleração	
. freio de serviço (m/s ²)	1,20
. freio de emergência (m/s ²)	1,50
Velocidade máxima (km/h)	100

Enfim, agora que já foram avaliadas as principais características do material rodante devem-se estudar as características da via permanente a fim de finalmente definir uma fôrma adequada para garantir as dimensões mínimas exigidas pela Companhia do Metrô de São Paulo.

10.2. A Via Permanente

A via permanente do metrô é composta por infraestrutura e superestrutura. No caso do Elevado Tamanduateí a infraestrutura é composta pelo viaduto em si, enquanto a

superestrutura é composta pelos trilhos com seus acessórios e fixações, dormentes, lastro e sublastro.

As características da Via Permanente da Linha 2 – Verde, segundo o documento “Por Dentro da Operação – 2008” do Metrô, é:

Tabela 20: Características Gerais da Via Permanente da Linha 2 – Verde.

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Bitola (mm)	1600
Raio mínimo nas vias principais (m)	300
Raio mínimo nas vias secundárias e pátios (m)	150
Rampa máxima	4%
Superelevação máxima (mm)	170
Perfil do trilho	TR-57 (57kg/m) / PB-12 da ABNT
Material do trilho	Aço extra duro (Niobrás 200)
Espaçamento das placas "Landis"	
. em elevados (mm)	800
. em túneis (mm)	900
Espaçamento entre dormentes (mm)	650
Tipos de AMV	
. L1 (X05 e X10)	AREA
. L1 (exceto X05 e X10) e L3 (X21 e X22)	UIC
. L2 e L3 (exceto X21 e X22)	AMV-M
Terceiro Trilho	
. Composição	Aço + Alumínio
. Capacidade (A): linha	3200
estacionamento	2000

Para a Linha 2 – Verde, no trecho elevado em questão, tem-se a seguinte disposição dos elementos de superestrutura da via permanente para fixação direta:

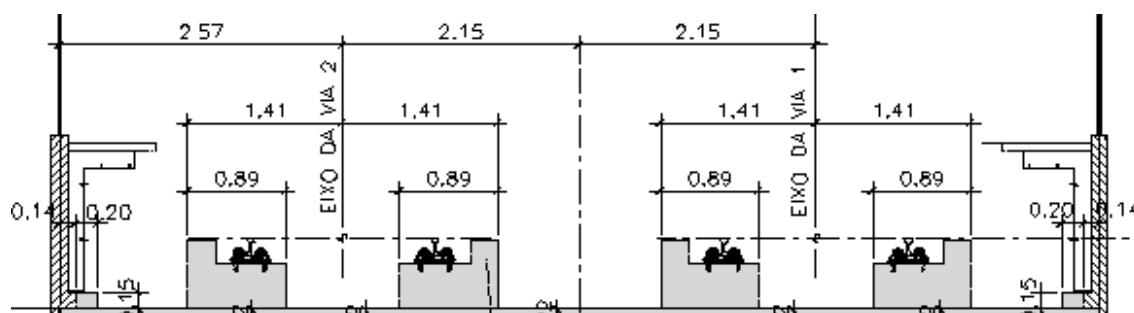


Figura 69: Superestrutura da Via Permanente – Fixação Direta.

É possível verificar na figura acima que os trilhos estão fixados sobre placas de apoios, as quais por sua vez estão apoiadas sobre vigas de concreto armado (vigas-suporte). Segundo METRÔ, 1980, as vigas-suporte são fixadas por parafusos inseridos em chumbadores embutidos no concreto.

Além disso, também são dispostas contenções laterais em vigas corridas de concreto armado que visam eliminar as possibilidades de descarrilamento de trens na via. As dimensões dispostas acima são sugeridas pelo Metrô, o que é coerente com a bibliografia pesquisada [METRÔ, 1980], a qual exige vigas-suporte com altura maior do que 22 cm e largura maior do que 64 cm.

Outra componente não disposta no desenho, mas de extrema importância para o funcionamento do metrô é a presença do terceiro trilho. O 3º trilho é que fornece energia ao metrô para que este funcione corretamente. O 3º trilho fica localizado no trecho interno da lateral do trem e está disposto ao longo de toda a via e suas características estão dispostas tanto na

Tabela 17, quanto na Tabela 20.

A largura superior do elevado depende da via permanente, mas também da passagem de emergência. Nos trechos entre estações deve-se prever uma passagem de emergência ao longo do percurso e que conduza os passageiros à saída de emergência mais próxima.

A passagem de emergência possui cota menor ou igual ao piso do carro, possui no mínimo 2,0 metros de altura e 0,70 m de largura. Deve estar munida de corrimão, iluminação adequada, livre de cabos elétricos ou quaisquer equipamentos que venham a intervir no trânsito de pessoas.

No caso do Elevado Tamanduateí, a distância do ponto mais afastado à Estação Tamanduateí é de aproximadamente 300 m. A NC 03/80 prevê a seguinte recomendação (atualmente revista para 300 m):

“Os passageiros de um trem em parada de emergência dentro do túnel, não devem percorrer, a pé, mais de 600 m para atingir a saída...”

Admitindo a mesma regra para trechos em elevado tem-se que, em caso de pane no sistema do metrô, as pessoas se dirigiriam, via passagem de emergência, para a Estação Tamanduateí. Para isso, o grupo sugere que, além das dimensões mínimas estipuladas pelo metrô para a passagem de emergência, esta tenha cobertura para proteger as pessoas da chuva, vento e demais intempéries que possam prejudicar ainda mais seu trajeto.

A fim de não interromper as atividades do metrô no outro sentido da via, recomenda-se que em caso de pane, a operação na via danificada seja bloqueada e seu terceiro trilho seja desligado, evitando acidentes. Desde que a passagem de emergência

seja feita na lateral externa da via, o outro sentido da via continua trabalhando normalmente.

A figura abaixo demonstra a sugestão do grupo para a passagem de emergência, considerando, para efeito de exemplo, uma das configurações de gabarito dinâmico do trem:

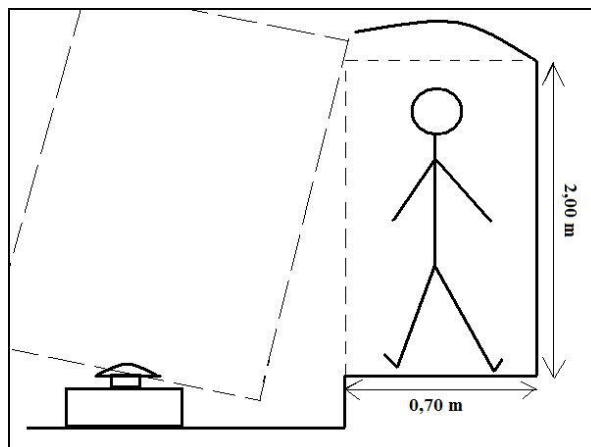


Figura 70: Passagem de Emergência (Desenho fora de escala).

Levou-se em consideração nesta pré-definição de fôrmas, barreiras acústicas nas laterais do elevado a fim de isolar o ambiente interno e minimizando os efeitos negativos relacionados aos ruídos produzidos pela passagem dos trens. A Figura 69 apresenta barreiras acústicas laterais e na Figura 70 tem-se um exemplo de passagem de emergência considerando barreiras acústicas laterais com duplo uso: para isolamento acústico e para guarda-corpos da passagem de emergência, trazendo maior segurança aos usuários.

Há outras características que devem ser consideradas ao se pensar numa via permanente, contudo não são limitantes para o dimensionamento das fôrmas, como as instalações elétricas, as drenagem da via, iluminação, acomodação visual, entre outros. Tais características não serão avaliadas neste relatório por não estarem previstas no escopo do mesmo.

10.3. Sugestão de Fôrmas

A partir da definição da via permanente e do material rodante, satisfazendo aos limites mínimos impostos pela Companhia do Metrô de São Paulo, tem-se a largura mínima necessária para a dimensão superior da seção transversal do Elevado. Para

chegar a uma fôrma adequada tem-se ainda que definir o tipo de seção a ser adotada, a altura da seção e a espessura das paredes da seção.

Segundo Waimberg, 2002, as seções transversais mais usuais em método de lançamentos progressivos são as de tipo unicelular. Isto se deve à grande conveniência desta seção em suportar a envoltória de momentos fletores da fase de lançamento, a sua alta rigidez à torção, o que se adéqua muito bem à traçados curvos, possibilitando uma menor distância entre os apoios no topo dos pilares (o que contribui positivamente no caso do Elevado em Trecho Urbano). O autor ressalta que este tipo de seção também é muito útil para a disposição das armaduras de protensão, podendo inclusive utilizar protensão externa, interna ao caixão.

Contudo as seções transversais possuem maior inércia, devido à característica do método construtivo de que, cada trecho da ponte/elevado passa por uma região de grandes momentos positivos e de grandes momentos negativos. Com isso as alturas das seções transversais de pontes de lançamentos progressivos são majoradas para aumentar a inércia, sem aumentar proporcionalmente a área/peso da seção. Isto se confirma através de indicativos de altura, vindos da experiência. Segundo Prof. Fernando Rebouças Stucchi:

$$* \textit{Consolos Suscessivos} \rightarrow \textit{meio do vão} \rightarrow h = \frac{l}{40 \text{ a } 60}$$

$$\rightarrow \textit{apoio} \rightarrow h = \frac{l}{20}$$

$$* \textit{Viga Pré - Moldada} \rightarrow h = \frac{l}{17}$$

$$* \textit{Obra Empurrada} \rightarrow h = \frac{l}{14 \text{ a } 15}$$

Para l o maior vão a ser vencido. No caso do Elevado Tamanduateí, os vãos estão em valores próximos a 40 metros e, portanto, para efeito de pré-dimensionamento, consideraremos uma altura de seção de 40/14 de 2,9 metros.

A seção será do tipo caixão e estudaremos nesta fase preliminar dois tipos: de alma vertical e de alma inclinada, com inclinação de 1H:5V. A disposição das almas que melhor favorece a resistência é justo abaixo do eixo de ambas as vias. Assim, resiste-se melhor à força cortante e ao momento fletor.

Têm-se assim as seguintes sugestões de seções transversais:

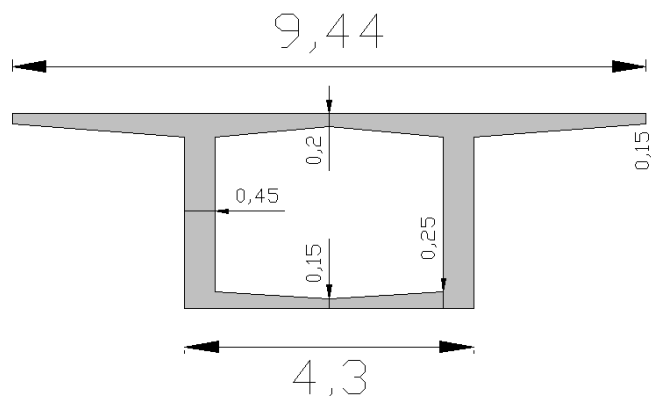


Figura 71: Sugestão de Seção Caixaão de Almas Verticais.

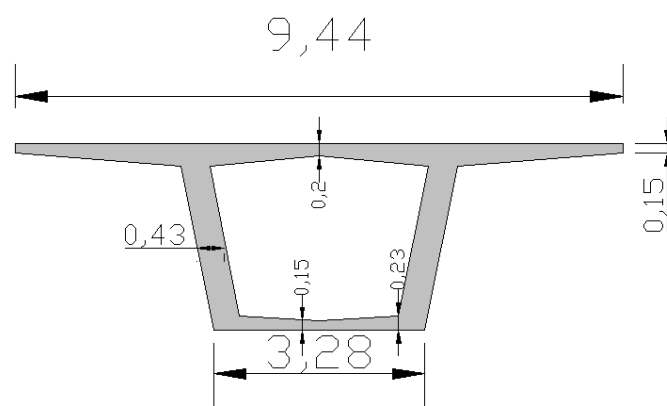


Figura 72: Sugestão de Seção Caixaão de Almas Inclinadas 1H:5V.

Foram admitidas como espessuras de laje de fundo, superior e das almas, dimensões usuais em vigas caixaão.

Para efeito deste trabalho de formatura, adotou-se a seção caixaão de alma inclinada. Isto se deve ao fato de que, esta configuração de seção é esteticamente mais agradável o que se constitui num fator chave para a ponte empurrada, a qual possui, conforme apresentado anteriormente, uma altura de viga maior do que nos demais métodos construtivos.

Além disso, vale ressaltar que tal elevado se inserirá no meio urbano, numa zona que, segundo diretrizes do Plano Diretor de São Paulo, deverá ser valorizada para investimentos em empreendimentos residenciais. Assim, a estética é ainda mais crítica, devendo levar em consideração um *layout* agradável aos moradores e que seja coerente com o planejamento urbano da região.

O grupo aceitou as sugestões do professor orientador quanto à abertura das almas inclinadas, uma vez que, apesar de não se disporem justo abaixo do eixo da via, a configuração com as almas mais abertas satisfaz melhor a questão de estabilidade da

estrutura uma vez que aumenta a base de apoio sobre os pilares de 3,5 metros sugeridos anteriormente para 4,5 metros. Além disso, devido ao método construtivo adotado, deve-se prever na laje de fundo um trecho reto que sirva de guia para a atividade de “empurre”, evitando o desalinhamento durante a execução.

Dadas tais modificações obtém-se a seguinte seção transversal definitiva:

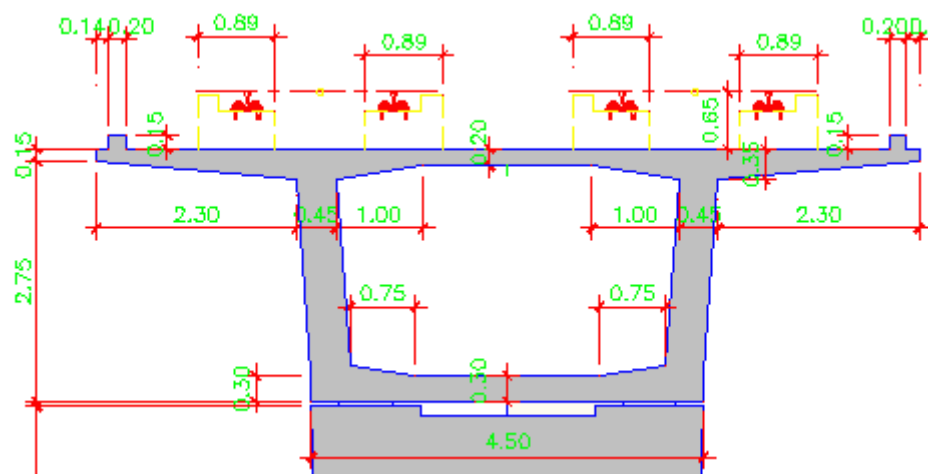


Figura 73: Seção Caixa Final – Almas Inclinadas.

11. Levantamento Preliminar de Dados

Antes de se iniciar qualquer projeto é muito importante colher alguns dados iniciais, que servirão de base para futuras escolhas relacionadas ao projeto. É preciso conhecer a região onde se desenvolverá a obra para se ter uma noção inicial do que há no entorno e poder começar a definir alguns itens relacionados à obra, como possível localização do canteiro, acesso à obra, acesso para equipamentos e materiais e possíveis restrições.

Outras informações iniciais importantes são aquelas relacionadas ao meio físico, ou seja, a caracterização da topografia do local, características geológicas e geotécnicas do solo onde está a obra, se houver algum rio no entorno é importante conhecer seu regime hidrológico, para estar preparado para eventuais cheias, Além disso, deve-se definir os equipamentos que serão utilizados e verificar a disponibilidade destes, já que isso pode ser um fator decisivo na escolha do método construtivo a ser empregado.

Pode-se obter dados a respeito da utilização do solo na região por onde passará a via elevada através de imagens de satélite, as quais já foram ilustradas em itens anteriores. Isto é de grande importância para definir que terrenos serão desapropriados e o que há na região ao redor. Pode-se notar que até atingir o rio, o trecho elevado passará por um terreno que hoje está vazio e pelo estacionamento do Central Plaza Shopping, além de cruzar uma faixa da Eletropaulo por onde passam cabos de transmissão de energia elétrica, a Rua Guamiranga e a Avenida Dr. Francisco Mesquita. O trecho após o rio já é caracterizado por ser um trecho mais residencial, porém o emboque do túnel será antes de se chegar ao trecho com casas.



Figura 74: Linha da Eletropaulo



Figura 75: Emboque do túnel

Com as plantas pode-se também fazer uma primeira avaliação da disposição dos pilares da ponte, analisando quais são as possíveis posições onde poderão ser alocados

11.1. Sondagens

Com o auxílio das sondagens é possível também definir o tipo de fundação que será utilizada. Com as sondagens pode-se obter o tipo de solo e sua espessura, a posição do nível d'água e o índice SPT das camadas de solo.



São apresentados sondagens da rua Guamiranga, Central Plaza Shopping e Av. Dr. Francisco Mesquita (Av. do Estado) respectivamente.

12. Impactos Ambientais associados ao Metrô

12.1. Definição de Impacto Ambiental

Grandes obras de Engenharia Civil, tais como barragens e rodovias, são constantemente associadas a impactos ambientais, especialmente por estarem vinculadas a ações como inundações de áreas e desmatamentos, ações estas que interferem diretamente em ambientes naturais. Entretanto, não apenas obras que alterem a flora e a fauna de uma região são causadoras de impactos, haja visto o fato de que estes possuem um conceito muito mais amplo que envolve não apenas impactos ao meio físico (ar, água e solo), mas, também, impactos sociais e econômicos oriundos da implantação de qualquer empreendimento capaz de modificar a dinâmica da região na qual venha a se instalar.

Para que se tenha idéia da amplitude do conceito de impacto ambiental, é fundamental a consideração de sua definição, apresentada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em sua Resolução número 001 datada de 1986, segundo a qual:

“Considera-se Impacto Ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem:

I – A saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II – As atividades sociais e econômicas;

III – A biota;

IV – As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V – A qualidade dos recursos ambientais”

Tendo em vista esta definição e considerando-se a atual importância atribuída ao tema, é imprescindível que se aborde os impactos ambientais associados à implantação de estações e de linhas do Metrô. Sendo assim, faz-se, neste item de Impactos Ambientais associados ao Metrô, uma descrição das principais interferências no ambiente resultantes da construção da Estação Tamanduateí e do Elevado Tamanduateí, sendo abordados não apenas os impactos provenientes do período construtivo da estação e do elevado, mas, também, os impactos provenientes da operação destes elementos. É

importante destacar, ainda, que a apresentação de ações preventivas e de medidas mitigadoras para cada um dos impactos associados ao Metrô encontra-se fora do escopo deste documento. Apenas no que tange à atenuação de ruídos e de vibrações (problemas provocados pelo Metrô, conforme indicado a seguir) serão detalhadas soluções, pois estas interferem diretamente na concepção da via permanente e, conseqüentemente, na superestrutura do Elevado Tamanduateí, as quais constituem o alvo principal deste relatório.

Além disso, muitos dos impactos que serão listados nos itens subseqüentes, tais como impactos na paisagem urbana (referente ao aspecto estético do elevado) e interferências no trânsito durante a fase construtiva, foram considerados anteriormente como critérios de decisão na Matriz de Decisão para definição de método construtivo do Elevado Tamanduateí.

12.2. O Metrô e seus principais impactos ambientais

Conforme abordado anteriormente, a implantação de estações e de linhas do Metrô vem acompanhada de inúmeros benefícios à população, tais como o aumento na oferta de transportes (propiciando conexões entre áreas distantes e reduzindo tempos de viagem), a disponibilização de um meio de transporte limpo, a valorização imobiliária nas áreas próximas a estações, dentre outros efeitos que, pelo seu caráter benéfico à sociedade, são conhecidos como impactos positivos.

Apesar de prover benefícios inquestionáveis, a execução de obras como as do Metrô não pode ocorrer sem que os impactos negativos vinculados ao empreendimento, ainda que tenham abrangência menor do que os benefícios, sejam conhecidos e corretamente caracterizados, pois o desenvolvimento urbano deve ser feito de modo conciliado com os interesses de garantia de qualidade do ambiente.

Além de ser necessário à obtenção de licenciamento da obra e da operação (motivo pelo qual este item encontra-se precedendo os dimensionamentos do Elevado Tamanduateí), o diagnóstico de problemas que acompanham a construção e a operação de linhas do Metrô deve ser feito para que, ainda nas fases de concepção e de projeto, haja a minimização ou a compensação de impactos através da proposição de medidas preventivas ou mitigadoras, ou seja, de medidas que visem prevenir, reduzir ou eliminar os malefícios associados à obra. Assim, conhecendo-se problemas comuns nas estações e linhas do Metrô, como impactos sociais ocasionados por desapropriações, problemas

de vibrações durante o período construtivo (resultantes, por exemplo, de cravação de estacas ou de desmonte de rochas para passagem de túneis) e ruídos provocados pela operação dos trens, pode-se atuar de modo a minimizar estes problemas, seja através da escolha de métodos construtivos que reduzam as áreas desapropriadas, da opção por métodos de execução de estacas com baixo nível de vibração ou, simplesmente, através da previsão, em projeto, de barreiras acústicas adjacentes às linhas do Metrô.

Considerando estes aspectos, são apresentados, a seguir, os principais impactos provocados pelo Metrô, estando os mesmos divididos em impactos durante a fase construtiva (que envolvem os períodos de anúncio, de planejamento e de execução propriamente dita da obra) e durante a fase operacional (que envolve o período posterior à obra, quando estações e linhas encontram-se disponíveis para uso da população).

a) Impactos Ambientais durante a Fase Construtiva

Considerando-se as características das obras do Metrô, verifica-se que os principais impactos (ou atividades causadoras de impactos) vinculados ao período construtivo correspondem a:

- Desapropriações

Comuns nos casos de utilização do método construtivo VCA (apresentado anteriormente), as desapropriações representam um grande impacto social na região de implantação de obras do Metrô, por resultarem na retirada e posterior realocação de pessoas de suas casas ou de seus comércios

- Emissão de Ruídos

Durante a fase construtiva, em função da circulação e do uso de equipamentos, como caminhões e vibradores de concreto, além da execução de atividades como montagem de fôrmas, há a geração de ruídos que devem ser controlados para reduzir o incômodo que os mesmos causam à vizinhança da obra

- Emissão de Poluentes

Conforme descrito no item anterior acerca da emissão de ruídos, há, durante o período construtivo, maior circulação de equipamentos, tais como caminhões. Esta

maior concentração de equipamentos, manifestada por um tráfego intenso de veículos que assistem a obra, resulta em uma elevação na emissão de poluentes durante a obra

- Vibrações

De acordo com os métodos construtivos empregados na obra, pode-se obter elevados níveis de vibração que não apenas resultam em incômodo à vizinhança como, também, podem ser fonte de problemas às edificações lindeiras, levando à formação de trincas e, até mesmo, à ocorrência de problemas estruturais em imóveis, aspecto que se agrava na presença de edificações históricas nas adjacências da obra

- Emissão de Partículas Sólidas

Devido às inúmeras atividades que se processam nas obras do Metrô, como escavações, demolição de imóveis para implantação de canteiro, dentre outras, verifica-se a emissão de partículas sólidas no ar, resultando em problemas que vão desde o acúmulo de poeira na vizinhança até ao decréscimo na qualidade do ar (provocando ou acentuando problemas respiratórios na população local)

- Interferências no trânsito

Um dos principais aspectos que caracterizam obras do Metrô corresponde às interferências no trânsito durante o período de construção em função de desvios de tráfego, imposição de restrições a estes e, também, pela intensificação de circulação de equipamentos, prejudicando o trânsito local. Estas interferências representam um impacto à dinâmica da região de implantação da obra, prejudicando moradores e comerciantes

- Interferências nas atividades econômicas lindeiras

Com o aumento de ruídos, com restrições de deslocamentos e com outros impactos negativos citados anteriormente, verifica-se que as obras do Metrô, geralmente, resultam em impactos nas atividades econômicas das regiões nas quais se instalam, reduzindo o movimento em comércios locais. Tal redução é responsável por causar o que se chama de lucros cessantes, ou seja, perdas econômicas nos lucros existentes

antes das obras do Metrô que podem variar de intensidade, indo desde pequenas reduções de faturamento até perdas que culminam no fechamento de lojas da região

Estes correspondem aos principais impactos ambientais negativos observados em obras do Metrô. Naturalmente, existem outros impactos, tais como a maior circulação de trabalhadores e a conseqüente migração de comércio para atender a estes (o que modifica as características da região durante a implantação da obra), ou como os provenientes do uso de substâncias como lama bentonítica (em fundações e contenções) e da retirada de solo, devendo ambos serem corretamente dispostos. Entretanto, desapropriações, emissão de ruídos, vibrações, emissão de poluentes, emissão de partículas sólidas e interferências no trânsito são os impactos mais representativos dos problemas que ocorrem no período construtivo, conforme comprova a Figura 76, elaborada pela Companhia do Metropolitano de São Paulo e ilustrativa das principais reclamações da vizinhança durante o período construtivo da Estação Chácara Klabin da Linha 2 – Verde.

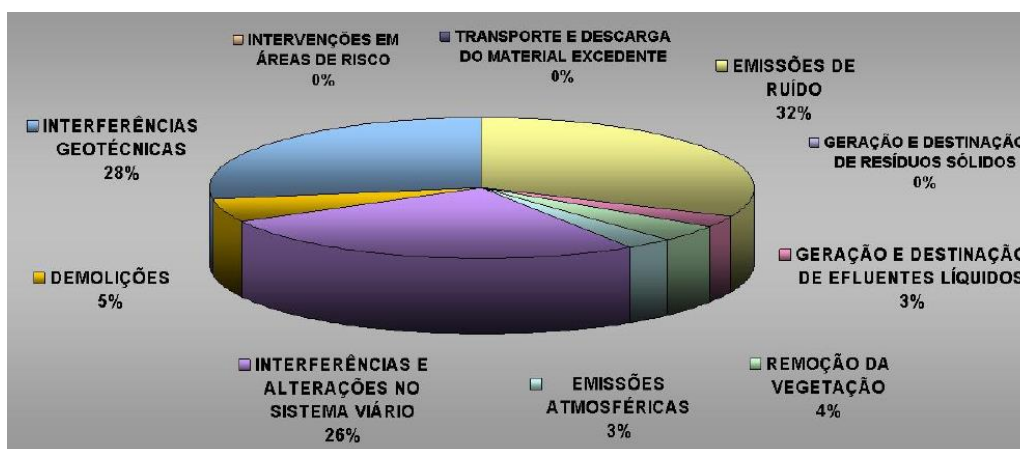


Figura 76: Reclamações da Vizinhança durante fase construtiva da Estação Chácara Klabin – Fonte: [CÔRREA, 2008]

b) Impactos Ambientais durante a Fase Operacional

Após a construção de estações e de linhas do Metrô, segue a operação das mesmas, a qual também resulta em impactos negativos na vizinhança que podem ser assim resumidos:

- Alteração na Paisagem Urbana

A concepção de grandes obras, tais como as que envolvem o Metrô, traz consigo, indubitavelmente, impactos na paisagem urbana. Especialmente na presença de elevados (tais como o Elevado Tamanduateí), há, após a construção dos mesmos, uma clara modificação na paisagem que antes imperava no local. Sendo assim, é fundamental atentar para aspectos estéticos, como indicado anteriormente na concepção da Matriz de Decisão para seleção de método construtivo, para que a obra final resulte em uma paisagem equilibrada e agradável à população, ao invés de se constituir em uma cicatriz urbana

- Adensamento Populacional e Aumento na Circulação de Pessoas

Um dos principais impactos resultantes da operação do Metrô corresponde ao aumento na circulação de pessoas nas regiões que contam com estações e linhas do transporte sobre trilhos. Esta elevação no fluxo altera de forma profunda a dinâmica local, resultando em problemas como maiores incômodos a moradores. Além disso, acompanhando a valorização imobiliária apresentada anteriormente como impacto positivo do Metrô, há um crescimento imobiliário e, conseqüentemente, um adensamento populacional que, caso não seja corretamente avaliado ou não seja previsto pelas companhias responsáveis, pode resultar em sobrecarga de redes de serviços públicos, como redes de água e de esgoto

- Ruídos e Vibrações

Conforme ficará evidente nos itens posteriores, ruídos e vibrações oriundos da passagem de trens pela via permanente do sistema metroviário fazem parte da lista de principais impactos existentes na fase de operação do Metrô, resultando em sensível decréscimo na qualidade de vida e na saúde da população vizinha

Estes são os principais impactos resultantes da operação do Metrô. Em conjunto com os impactos da fase construtiva, estabelecem os efeitos negativos primordiais associados ao transporte metroviário e sobre os quais devem ser elaboradas ações corretivas e mitigadoras. Tais impactos são sintetizados, em conjunto com os benefícios abordados anteriormente, por [RIBEIRO, 2004], que resume os impactos ocasionados

pelo Metrô desde “seu projeto, passando pela preparação do terreno e instalação do canteiro de obras, por sua implementação ou construção, até seu funcionamento”.

Segundo esta autora, os impactos do Metrô iniciam-se com a divulgação da concepção de novas linhas e de novas estações, pois “quando é divulgado seu traçado, começam a aparecer fortes impactos socioeconômicos, como valorização de imóveis, com conseqüente expulsão de grupos de menor renda; as desapropriações causam ansiedade e estresse, saída de grupos de moradores da área, mudança no perfil dos bairros; a demolição dos imóveis para dar lugar ao empreendimento causa ruído, poeira em suspensão (...). Gera, ainda, a vinda de trabalhadores de menor renda para a área com atração de comércio ambulante; a montagem do canteiro de obras estabiliza a moradia de trabalhadores temporários gerando esgoto, ruído, incômodo de vizinhança pela presença de um comércio voltado para esses trabalhadores. Já as atividades de construção de uma linha de metrô têm forte impacto no solo, na hidrogeologia, ocasionam ruídos e vibrações, geram intenso volume de ida e vinda, problemas no trânsito, provocam material em suspensão no ar. Por outro lado, com a linha pronta e em funcionamento, muitos daqueles impactos negativos temporários deixam de existir e cedem lugar a impactos positivos: melhoria do tempo de deslocamento das pessoas, reabilitação de vizinhanças degradadas, valorização imobiliária (...). E também alguns negativos: substituição de usos residenciais por comerciais, expulsão de grupos sociais de renda mais baixa”.

12.3. *Estudos e Relatórios de Impactos Ambientais*

12.3.1. Definições

Em função da crescente preocupação ambiental que se estabelece nos diferentes setores da sociedade, passou-se, desde 1986, a condicionar a aprovação (ou o licenciamento) de grandes obras de Engenharia, caracterizadas como atividades modificadoras do meio ambiente, tais como estradas, ferrovias, aeroportos, oleodutos, aterros sanitários, dentre outros, à elaboração de dois documentos, o Estudo de Impactos Ambientais (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), que são responsáveis pelo levantamento e pela descrição dos impactos ambientais associados às obras que se busca aprovar.

Estes dois documentos são regulamentados pela já citada Resolução número 001 do CONAMA, a qual apresenta definições e conteúdos para o EIA e para o RIMA, estando a metodologia de elaboração destes sintetizada na Tabela 21. Segundo tal resolução, o Estudo de Impacto Ambiental e o Relatório de Impacto Ambiental são documentos complementares assim descritos no corpo da citada regulamentação:

- Estudo de Impactos Ambientais – EIA

“Relatório técnico, elaborado por equipe multidisciplinar, independente do empreendedor, profissional e tecnicamente habilitada para analisar os aspectos físico, biológico e socioeconômico do ambiente, que, além de atender aos princípios e objetivos da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, deve obedecer às seguintes diretrizes gerais:

I – Contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização do projeto, confrontando-as com a hipótese de não-execução do projeto;

II – Identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e de operação;

III – Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza;

IV – Considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação, na área de influência do projeto e sua compatibilidade (inclusive diretrizes específicas e peculiares ao projeto, adicionais, fixadas pelo órgão estadual ou, quando couber, municipal competente)

Como conteúdo mínimo, o EIA deverá apresentar:

I – Informações gerais do empreendedor (identificação, histórico, localização, etc);

II – Caracterização do empreendimento (objetivos, porte, etapas de implantação, etc);

III – Área de influência do empreendimento;

IV – Diagnóstico ambiental da área de influência – descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existentes, com os meios Físico, Biológico e Socioeconômico;

V – Análise dos impactos dos empreendimentos e de suas alternativas – Identificação, Previsão de Magnitude e Importância (permanência, reversibilidade, cumulatividade, sinergismo, distribuição social dos custos e benefícios, etc) dos Impactos Relevantes Prováveis;

VI – Definição de Medidas Mitigadoras dos impactos negativos;

VII – Definição de Programa de Acompanhamento e Monitoramento dos impactos e das medidas mitigadoras através dos fatores e parâmetros ambientais de interesse”

- Relatório de Impacto Ambiental – RIMA

“Relatório-resumo dos estudos do EIA, em linguagem objetiva e acessível para não-técnicos, contendo, no mínimo:

I – Objetivos e justificativas do empreendimento;

II – Descrição do empreendimento e das alternativas locacionais e tecnológicas existentes (área de influência, matéria-prima, energia, processo, efluentes, resíduos, etc);

III – Síntese dos resultados do diagnóstico ambiental;

IV – Descrição dos impactos prováveis;

V – Caracterização da qualidade ambiental futura;

VI – Efeitos esperados das medidas mitigadoras;

VII – Programa de acompanhamento e monitoramento;

VIII – Conclusões e recomendações da alternativa mais favorável”

Tabela 21: Metodologia de Elaboração de EIA/RIMA – Fonte: [BRAGA, 2006]

1. Informações Gerais - identificação do empreendimento, incluindo: - nome e razão social; - endereço para correspondência; e - inscrição estadual e CGC; - histórico do empreendimento; - nacionalidade de origem das tecnologias a serem empregadas; - informações gerais que identifiquem o porte do empreendimento; - tipos de atividades a serem desenvolvidas, incluindo as principais e as secundárias; - síntese dos objetivos do empreendimento e sua justificativa em termos de importância no contexto econômico-social do país, da região, do estado e do município; - localização geográfica proposta para o empreendimento, apresentada em mapa ou croqui, incluindo as vias de acesso e a bacia hidrográfica; - previsão das etapas de implantação do empreendimento; - empreendimento(s) associado(s) e decorrente(s); e - nome e endereço para contatos relativos ao EIA/Rima. 2. Caracterização do empreendimento — com suas fases de planejamento, implantação e operação, com indicação detalhada de etapas e expansões, quando houver. 3. Área de Influência — com delimitação das áreas geográficas direta e indiretamente afetadas pelos impactos, devidamente justificadas e mapeadas. 4. Diagnóstico ambiental da área de influência, com descrição e análise dos fatores ambientais e suas interações, por meio das variáveis que descrevem o estado ambiental, caracterizando a qualidade ambiental — em um quadro sintético onde se expõem os fatores ambientais físicos, biológicos e socioeconômicos, indicando os métodos adotados para sua análise com o objetivo de descrever as inter-relações entre os componentes bióticos, abióticos e antrópicos do sistema a ser afetado pelo empreendimento. Além desses fatores, deverão ser identificadas as tendências evolutivas daqueles fatores importantes para caracterizar a interferência do empreendimento — fatores ambientais — como, por exemplo: Meio Físico - clima e condições meteorológicas da área potencialmente atingida pelo empreendimento; - qualidade do ar na região; - níveis de ruído na região; - formação geológica da área potencialmente atingida pelo empreendimento; - formação geomorfológica da área potencialmente atingida pelo empreendimento; - solos da região que serão potencialmente atingidos pelo empreendimento; e - recursos hídricos, sendo abordados hidrologia superficial, hidrogeologia, oceanografia física, qualidade das águas e usos da água. Meio Biológico - os ecossistemas terrestres existentes na área de influência do empreendimento;	- os ecossistemas aquáticos existentes na área de influência do empreendimento; e - os ecossistemas de transição existentes na área de influência do empreendimento. Meio Antrópico - dinâmica populacional na área de influência do empreendimento; - uso e ocupação do solo, com informações, em mapa, na área de influência do empreendimento; - o nível de vida na área de influência do empreendimento; - estrutura produtiva e de serviços; e - organização social na área de influência. 5. Análise dos impactos ambientais — identificação, valorização e interpretação dos prováveis impactos nas diferentes fases do empreendimento, apresentadas sob as formas, respectivamente, de 'Síntese Conclusiva' e 'Descrição Detalhada', e analisados considerando-os segundo sejam: - impactos diretos e indiretos; - impactos benéficos e adversos; - impactos temporários, permanentes e cíclicos; - impactos imediatos e em médio e longo prazos; - impactos reversíveis e irreversíveis; e - impactos locais, regionais e estratégicos. 6. Proposição de medidas mitigadoras — classificadas quanto: - à sua natureza preventiva ou corretiva, avaliando, inclusive, a eficiência dos equipamentos de controle de poluição em relação aos critérios de qualidade ambiental e aos padrões de disposição de efluentes líquidos, emissões atmosféricas e resíduos sólidos; - à fase do empreendimento em que deverão ser adotadas: planejamento, implantação, operação e desativação, e para o caso de acidentes; - ao fator ambiental a que se destinam: físico, biológico ou socioeconômico; - ao prazo de permanência de suas aplicações: curto, médio ou longo; - à responsabilidade pela implementação: empreendedor, Poder Público ou outros; e - ao seu custo. 7. Programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos — incluindo-se, conforme o caso: - indicação e justificativa dos parâmetros selecionados para a avaliação dos impactos sobre cada um dos fatores ambientais considerados; - indicação e justificativa da rede de amostragem, incluindo seu dimensionamento e distribuição espacial; - indicação e justificativa dos métodos de coleta e análise de amostras; - indicação e justificativa da periodicidade de amostragem para cada parâmetro, segundo os diversos fatores ambientais; e - indicação e justificativa dos métodos a serem empregados no processamento das informações levantadas, visando retratar o quadro da evolução dos impactos ambientais causados pelo empreendimento.
---	--

Conforme destaca [BRAGA, 2006], a instituição dos documentos de levantamento, descrição e proposição de medidas mitigadoras (particularmente, o EIA e o RIMA) representa um grande avanço no campo ambiental, corrigindo deficiências de legislações anteriores. Entretanto, melhorias no corpo técnico (segundo [BRAGA, 2006], “no âmbito técnico, a insuficiência está no número ainda muito reduzido de profissionais experientes e competentes para elaborar os EIA/RIMA e para assessorar as

várias partes envolvidas no processo decisório do licenciamento”) e na participação popular ainda são necessárias para que as ferramentas há pouco descritas de fato atuem de modo a assegurar as qualidades ambiental e socioeconômica pretendidas.

Entretanto, independente das limitações ainda existentes, é indiscutível a importância do EIA e do RIMA quando se abordam impactos ambientais de empreendimentos como o Metrô, o que justifica o item a seguir, de apresentação dos estudos de impactos ambientais elaborados para a Linha 2 – Verde, linha de interesse deste documento.

12.3.2. EIA/RIMA da Linha 2 – Verde da Companhia do Metropolitano de São Paulo

Considerando os impactos anteriormente ressaltados e as definições de EIA/RIMA, é de interesse descrever os estudos de impactos que foram realizados para a Linha 2 – Verde da Companhia do Metropolitano de São Paulo, indicando a metodologia seguida pelos mesmos e os resultados de impactos listados por tais estudos (verificando se estes impactos corroboram a lista anteriormente apresentada).

Tendo tais aspectos em vista, fez-se uma análise do Estudo de Impacto Ambiental da Linha Vila Madalena – Vila Prudente elaborado em 1991 pelo Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S.A. (CNEC). Apesar de se tratar de um documento relativamente antigo e cujo foco de estudo (Linha 2) sofreu alterações nestes 18 anos de sua elaboração (a própria Estação Tamanduateí, por exemplo, não era prevista, havendo, em seu lugar, a Estação Ibitirama, posicionada em outro ponto do rio Tamanduateí), verifica-se que os impactos identificados pelo citado documento continuam sendo aplicáveis quando se aborda o sistema de transporte metropolitano, o que valida seu emprego neste relatório.

12.3.2.1. Objetivos, Metodologia e Resultados do EIA da Linha 2 – Verde

De acordo com o relatório elaborado pelo CNEC, o Estudo de Impacto Ambiental da Linha 2 – Verde tem por objetivo “compreender quais alterações ambientais irão se processar, suas dimensões e relevâncias, mediante análises sistemáticas e extensivas de identificação, mensuração e avaliação de impactos, e propor medidas de mitigação dos impactos negativos e potencialização dos positivos, inclusive de monitoramento”.

Para atingir os objetivos anteriores, o citado estudo emprega uma metodologia matricial, onde são confrontadas duas variáveis distintas, chamadas, no Estudo de Impacto Ambiental, de “Fatos Geradores” e de “Aspectos Ambientais”, verificando se há e quais são os impactos que os primeiros geram nos segundos. Diz-se que a metodologia é matricial, pois “Fatos Geradores” e “Aspectos Ambientais” são reunidos em uma matriz, a Matriz de Impactos, que permitem analisar a ocorrência de alterações ambientais.

O grupo de fatos geradores é formado por seis elementos que correspondem a ações associadas à implantação e à operação do metrô e que se julga serem causadoras de impactos. O relatório elaborado pelo CNEC estabelece, como fatos geradores, os seguintes fatos (que vão ao encontro dos impactos citados anteriormente):

- Divulgação do Empreendimento

Fato gerador associado às consequências de se tornar pública a intenção de se implementar estações e linhas de metrô em determinados locais, tais como ações de especulação imobiliária nestas regiões e outros impactos que serão descritos posteriormente

- Publicação do Decreto de Utilidade Pública

Ação elaborada pelo poder público que define, mediante decreto de cinco anos de vigência, polígonos de utilidade pública, nos quais os imóveis em seu interior podem vir a ser desapropriados

- Processo de Desapropriação

Fato gerador que envolve a identificação das áreas desapropriadas, a transferência da posse dos imóveis e a remoção da população que ocupava a área desapropriada

- Provisão de Infra-estrutura de Apoio às Obras

Conforme texto do Estudo de Impacto Ambiental, este fato gerador “compreende as ações necessárias à demolição de imóveis desapropriados, implantação de canteiro de obras, alojamentos, instalações de apoio como abastecimento de água e energia elétrica, remanejamento de interferências. São ações provocadas pelo empreendedor e pelas empresas contratadas para a construção da obra”.

- Execução das Obras

O item de Execução das Obras aborda todas as atividades encontradas em obras do metrô, tais como abertura de poços, escavação de túneis, estaqueamento, transporte e operação de equipamentos, transporte e disposição final de rejeitos de obras, dentre outros

- Operação

Fato gerador associado ao período posterior à obra, quando o sistema de transporte metropolitano encontra-se em operação

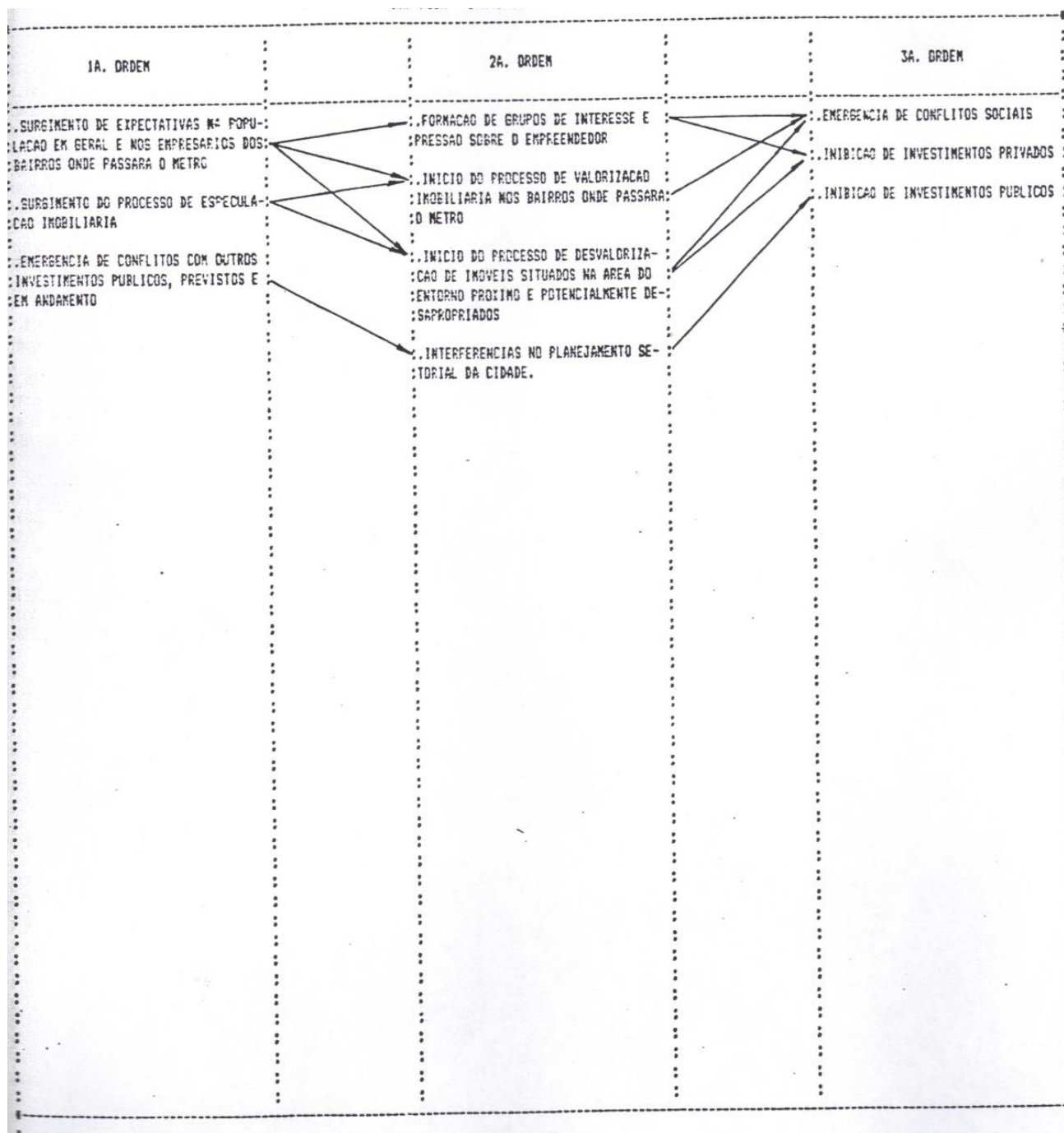
Os Aspectos Ambientais, por sua vez, contemplam os itens que podem vir a ser impactados pela implantação e pela operação do metrô, sendo resumidos, no relatório da Linha 2 – Verde, em oito tópicos, correspondentes a Meio Natural, Condições de Vida da População, Dinâmica Produtiva, Uso e Ocupação do Solo, Mercado Imobiliário, Infra-estrutura e Serviços Urbanos, Patrimônio Histórico e Cultural e Paisagem Urbana.

Definidos os “Fatos Geradores” e os “Aspectos Ambientais” e estruturada a “Matriz de Impactos”, o EIA prossegue com a elaboração de Redes de Impacto, as quais são elaboradas para cada um dos fatos geradores, apresentando os impactos provocados por estes fatos. Tais impactos são segmentados em impactos de primeira ordem (decorrentes diretamente dos fatos geradores), impactos de segunda ordem (impactos indiretos provocados pelos de primeira ordem) e impactos de terceira ordem (impactos indiretos associados aos impactos de segunda ordem).

Segundo o relatório elaborado pelo CNEC, as redes de impacto visam “garantir o exame sistemático e extensivo das relações de causa e efeito dos fatos geradores sobre os aspectos ambientais, compondo um amplo quadro de encadeamento de impactos”. Além disso, por serem a principal fonte de apresentação dos impactos provocados pelo metrô, objetivo deste tópico de impactos ambientais, tais redes são apresentadas nas Tabelas 22 a 27.

Tabela 22: Impactos associados ao Fato Gerador de Divulgação do Empreendimento –

Fonte: [CNEC, 1991]



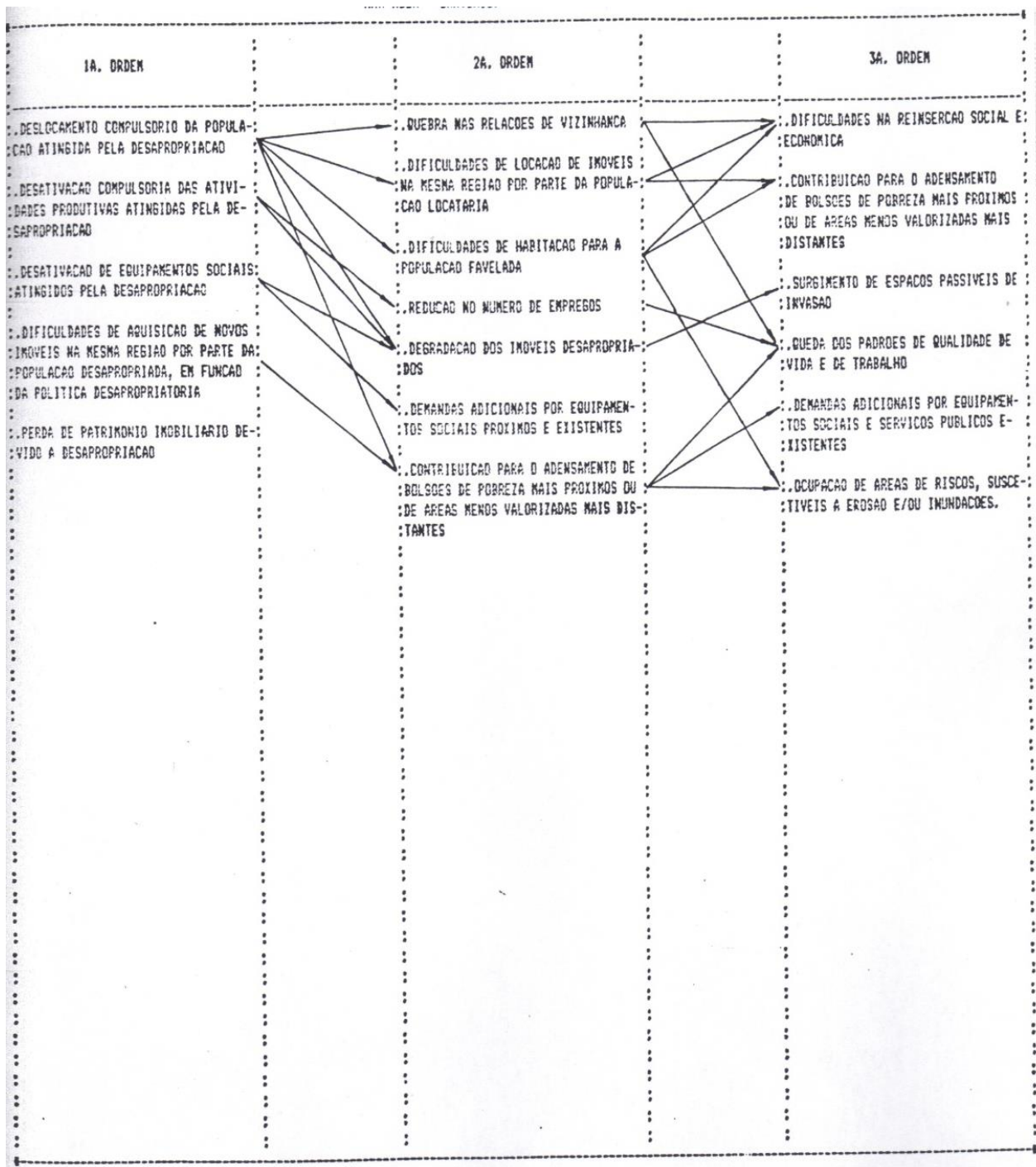
21 de Dezembro de 2009

Tabela 23: Impactos associados ao Fato Gerador de Publicação do Decreto de Utilidade Pública – Fonte: [CNEC, 1991]

1A. ORDEM	2A. ORDEM	3A. ORDEM
INSEGURANÇA NA POPULAÇÃO RESIDENTE NAS ÁREAS DE UTILIDADE PÚBLICA.	EMERGÊNCIA DE CONFLITOS SOCIAIS	DESLOCAMENTO VOLUNTÁRIO DA POPULAÇÃO
INIBIÇÃO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS NAS ÁREAS DECRETADAS DE UTILIDADE PÚBLICA, DEVIDO À NATUREZA RESTRITA DE SEU INSTITUTO.	FORMAÇÃO DE GRUPOS DE INTERESSE PARA DEFINIÇÃO DE UMA POLÍTICA ADEQUADA DE DESAPROPRIAÇÕES.	INÍCIO DO PROCESSO DE EXPULSÃO DA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA
PARALIZAÇÃO TEMPORÁRIA DOS INVESTIMENTOS PÚBLICOS E PRIVADOS NAS ÁREAS DECRETADAS DE UTILIDADE PÚBLICA	EXPECTATIVAS DESFAVORÁVEIS PARA O MERCADO DE TRABALHO.	COMPROMETIMENTO DA QUALIDADE DE VIDA E AMBIENTAL
DESVALORIZAÇÃO DE IMÓVEIS NAS ÁREAS DECRETADAS DE UTILIDADE PÚBLICA	DETERIORAÇÃO DE IMÓVEIS PRIVADOS	
FORMAÇÃO DE ESTOQUES DE TERRAS COM FINS ESPECULATIVOS NAS ÁREAS EXTERIORES AO POLÍGONO, DEVIDO À CONCRETIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO NA REGIÃO	PRESSÕES PARA ALTERAÇÕES DO ZONEAMENTO	
DESVALORIZAÇÃO DOS IMÓVEIS NAS ÁREAS LIMITEIRAS AO POLÍGONO DEVIDO À CONCRETIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO NA REGIÃO	VALORIZAÇÃO IMOBILIÁRIA	
VALORIZAÇÃO DOS IMÓVEIS NAS ÁREAS LIMITEIRAS AO POLÍGONO DEVIDO À CONCRETIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO NA REGIÃO	INÍCIO DO PROCESSO DE EXPULSÃO DA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA	

21 de Dezembro de 2009

Tabela 24: Impactos associados ao Fato Gerador de Processo de Desapropriação – Fonte: [CNEC, 1991]



21 de Dezembro de 2009

Tabela 25: Impactos associados ao Fato Gerador de Implantação de Infra-estrutura de Apoio às Obras – Fonte: [CNEC, 1991]

1A. ORDEM	2A. ORDEM	3A. ORDEM
.BLOQUEIO DE VIAS E DESVIOS DE TRAFEGO, DEVIDO AS NECESSIDADES ESPECIFICAS DA INFRA-ESTRUTURA DE APOIO AS OBRAS .POLUICAO DO AR, SONORA E VISUAL DEVIDO AS DEMOLICOES E A OPERACOES DE CANTEIROS .PERDA DA ATUAL PAISAGEM URBANA (ARREAS E EDIFICACOES) DEVIDO AS DEMOLICOES .INTERRUPCAO TEMPORARIA DE SERVICOS PUBLICOS DEVIDO AO REMANEJAMENTO DAS INTERFERENCIAS	.INIBICAO E/OU PARALIZACAO DAS ATIVIDADES ECONOMICAS .SOBRECARGA NO FLUXO DE VEICULOS NAS VIAS DO ENTORNO .DIFICULDADES DE CIRCULACAO E ACESSO DOS PEDESTRES .PERDA DE REFERENCIAIS URBANOS VALORIZADOS PELA POPULACAO .INCONVENIENTES A POPULACAO E AS ATIVIDADES SOCIAIS E ECONOMICAS.	.REDUCAO DE EMPREGOS .AUMENTO DO TEMPO DE PERCURSO .AUMENTO DE POLUICAO DO AR E SONORA .AUMENTO DE RISCOS DE ACIDENTES DE TRANSITO .ALTERACAO DE IDENTIDADE CULTURAL DO ENTORNO

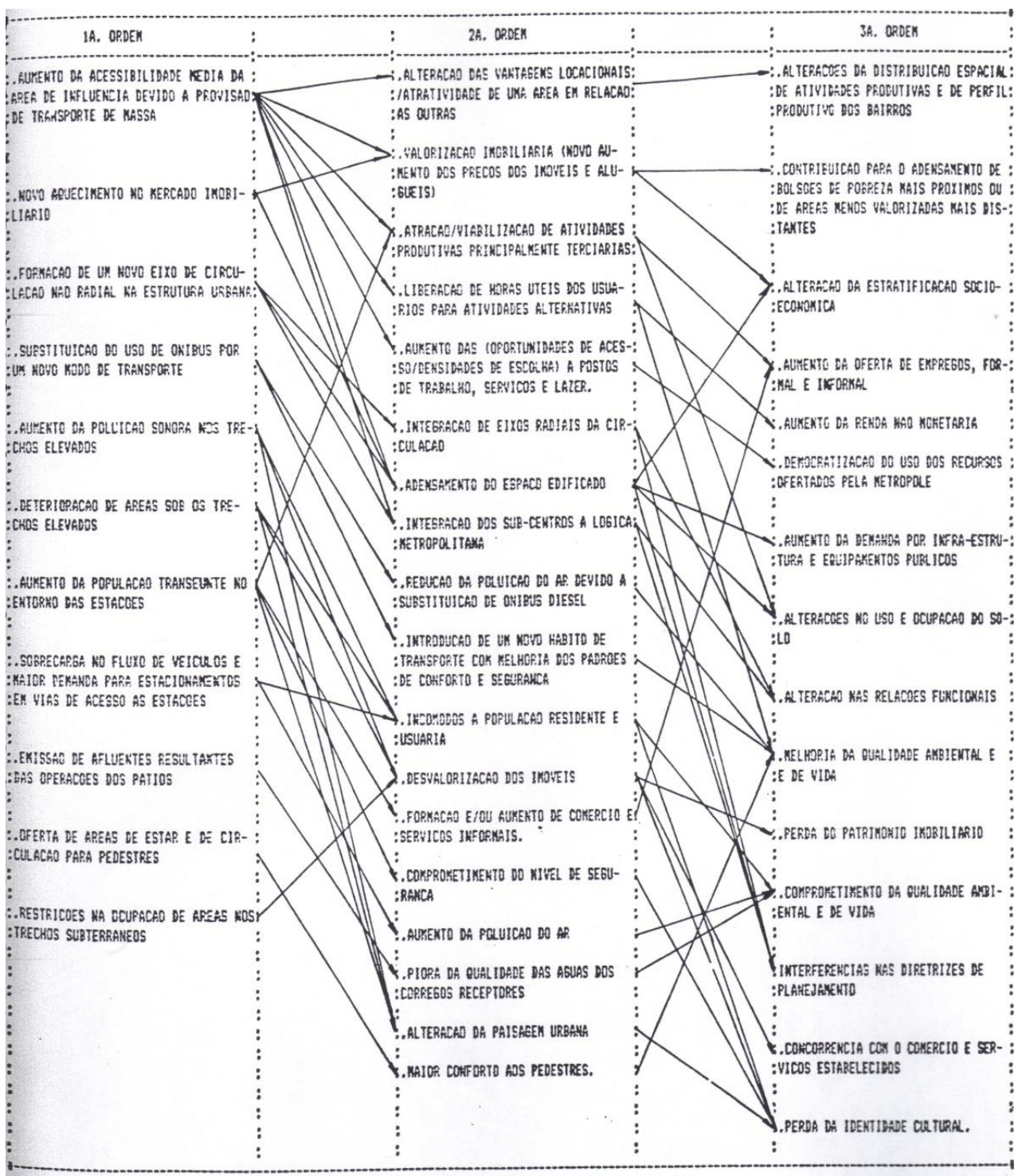
21 de Dezembro de 2009

Tabela 26: Impactos associados ao Fato Gerador de Execução das Obras – Fonte: [CNEC, 1991]

1A. ORDEM	2A. ORDEM	3A. ORDEM
ALTERAÇÕES NO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO, DEVIDO AS ESCAVAÇÕES ABAIXO DO NÍVEL DA ÁGUA	RECALQUES DE SOLO NAS ÁREAS DE ENTORNO	TRINCHAS EM EDIFICAÇÕES
BLOQUEIO DE VIAS E DESVIOS DE TRÁFEGO PARA OBRAS	SOBRECARGA NO FLUXO DE VEÍCULOS NAS VIAS DO ENTORNO	AUMENTO NO TEMPO DE PERCURSO
AUMENTO DO TRÁFEGO PESADO DEVIDO AO TRANSPORTE DE MATERIAL ESCAVADO E DE MATERIAIS/EQUIPAMENTOS PARA AS OBRAS	DIFICULDADES DE CIRCULAÇÃO E ACESSO DOS PEDESTRES	AUMENTO DA POLUIÇÃO DO AR E SONORA
VIBRAÇÃO E RUÍDOS DEVIDO À EXECUÇÃO DA OBRA	FORMAÇÃO DE PONTOS DE CONGESTIONAMENTO	AUMENTO DE RISCOS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO
RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO	INCONVENIENTES À POPULAÇÃO E AS ATIVIDADES SOCIAIS E ECONÔMICAS	COMPROMETIMENTO DA QUALIDADE DE VIDA E AMBIENTAL
RISCOS DE DISPOSIÇÃO INADEQUADA DO MATERIAL ESCAVADO	AUMENTO DA POLUIÇÃO DO AR E SONORA	ENCHENTES LOCALIZADAS
RISCOS DE DISPOSIÇÃO INADEQUADA DOS REJEITOS DA OBRA	RISCOS DE COMPROMETIMENTO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA POR POÇOS	ALTERAÇÃO DA IDENTIDADE CULTURAL DO ENTORNO
REORGANIZAÇÃO URBANA DEVIDO À RECOMPOSIÇÃO DA SUPERFÍCIE (SIST. VIÁRIO, CALÇADAS, PRACAS)	INSTABILIDADE DE ATERROS	INDUÇÃO DE ATIVIDADES INFORMAIS
GERAÇÃO DE EMPREGOS FORMAIS PARA A EXECUÇÃO DAS OBRAS	ASSOREAMENTO DE CURSOS D'ÁGUA E DRENAGEM	INSEGURANÇA DA POPULAÇÃO DO ENTORNO
ACRESCIMENTO DAS OPERAÇÕES IMOBILIÁRIAS NO BAIRRO DEVIDO À EFETIVAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	POLUIÇÃO DE ÁREAS PÚBLICAS E DO AR	INÍCIO DA ALTERAÇÃO DA ESTRATIFICAÇÃO SOCIO-ECONÔMICA
	MELHORIA DA PAISAGEM URBANA	
	MELHORIAS DO FLUXO DE TRÁFEGO E CIRCULAÇÃO DE PEDESTRES.	
	CONCENTRAÇÃO DE TRABALHADORES NOS LOCAIS DE CANTEIROS E ALOJAMENTOS	
	VALORIZAÇÃO IMOBILIÁRIA	

21 de Dezembro de 2009

Tabela 27: Impactos associados ao Fato Gerador de Operação – Fonte: [CNEC, 1991]



Posteriormente, com os impactos identificados nas Redes de Impacto, estes são analisados de forma mais detalhada, sendo considerados quanto à abrangência espacial (impactos localizados ou dispersos), quanto à temporalidade (impactos temporários ou permanentes), quanto à reversibilidade (impactos reversíveis ou irreversíveis), quanto à forma de interferência (impactos intensificadores de problemas existentes ou impactos causadores de novos problemas) e quanto à magnitude (impactos pequenos, médios ou grandes) que apresentam.

A identificação e a mensuração dos impactos de implantação e operação da Linha 2 – Verde serve de embasamento para a etapa posterior do Estudo de Impacto Ambiental, a etapa de proposição de planos e programas ambientais para definição de ações de mitigação e de potencialização de impactos.

No relatório que se descreve, as ações de mitigação e de potencialização foram divididas em ações corretivas ou compensatórias (“ações destinadas a corrigir/mitigar os impactos”), ações preventivas (“ações antecipadas que amenizam, evitam e/ou controlam o desencadeamento dos impactos”), ações de monitoramento (“ações destinadas a acompanhar a evolução do comportamento dos indicadores selecionados”), ações legais (ações decorrentes de exigências da legislação existente”) e ações de desenvolvimento (“ações visando a recomposição e o desenvolvimento de condições de vida da população das áreas de influência”).

A reunião de tais ações, cuja descrição detalhada está fora do escopo deste documento, resultou, para a Linha 2 – Verde, em quatro planos de ação ambiental que atuam em diferentes etapas do empreendimento buscando assegurar a reversão ou compensação dos impactos para se atingir um novo equilíbrio na região do metrô. Tais planos, que se encontram resumidos na Tabela 28, correspondem a:

Plano de Pré-Implantação do Empreendimento: “procura minimizar os custos sociais que antecedem a implementação do empreendimento, atingindo a população residente e atividades produtivas da área afetada diretamente”;

Plano de Implantação do Empreendimento: “constitui uma tentativa de minimizar os transtornos que as obras provocam no cotidiano da vida urbana”;

Plano de Inserção Ambiental do Empreendimento: “ações visando a inserção do empreendimento em sua área de influência, com ganhos e benefícios para o ambiente urbano, reequilibrando-o em um novo patamar de desenvolvimento”;

Plano de Acompanhamento dos Impactos e Programas: “procura acompanhar a implementação dos diversos planos e programas, monitorando o comportamento de algumas de suas variáveis representativas, mediante retroação no prognóstico dos impactos”

Tabela 28: Resumo de Planos e Programas Ambientais – Fonte: [CNEC,1991]

PLANOS	PROGRAMAS	NATUREZA PREVENTIVA OU CORRETIVA	NATUREZA MITIGADORA OU POTENCIALIZADORA	PUBLICOS-ALVO
PLANO DE PRE-IMPLANTACAO DO EMPREENDIMENTO (A)	PROGRAMA DE COMUNICACAO SOCIAL (9.4.1) PROGRAMA DE REMANEJAMENTO DE POPULACAO E ATIVIDADES ECONOMICAS (9.4.2)	PREVENTIVA CORRETIVA	MITIGADORA MITIGADORA	POPULACAO RESIDENTE NAS AREAS AFETADAS PELA DESAPRO- PRIACAO POPULACAO USUARIA DO SISTEMA A SER IMPLANTADO ORGANIZACOES DA SOCIEDADE CIVIL LOCAL E ENTIDADES AM- BIENTALISTAS PUBLICO INTERNO DO METRO PROPRIETARIOS E INQUILINOS RESIDENTES EM IMOVEIS DE- SAPROPRIADOS POPULACAO DAS FAVELAS ATINGIDAS PELAS DESAPROPRIACOES PROPRIETARIOS E INQUILINOS DE IMOVEIS CONTENDO ATIVI- DADES PRODUTIVAS
PLANO DE IMPLANTACAO DO EMPREENDIMENTO (B)	PROGRAMA DE CONTROLE AM- BIENTAL DAS AREAS DE A- POIO AS OBRAS (9.4.3) PROGRAMA DE ADEQUACAO DAS OBRAS A DINAMICA URBANA LOCAL (9.4.4)	PREVENTIVA CORRETIVA	MITIGADORA MITIGADORA	POPULACAO RESIDENTE E ATIVIDADES INSTALADAS NAS AREAS ADJACENTES AOS BOTA-FORAS E EMPRESTIMOS POPULACAO RESIDENTE E ATIVIDADES INSTALADAS NAS AREAS ADJACENTES AS OBRAS
PLANO DE INSERCAO AMBIENTAL DO EMPREENDIMENTO (C)	PROGRAMA DE ADEQUACAO DO EMPREENDIMENTO AO SEU EM- BORNO IMEDIATO (9.4.5) PROGRAMA DE RECOMPOSICAO DA PAISAGEM (9.4.6) PROGRAMA DE POTENCIALIZA- CAO DO ESPACO PUBLICO (9.4.7) PROGRAMA DE DINAMIZACAO DE ATIVIDADES PRODUTIVAS E DE REORGANIZACAO URBANA (9.4.10) PROGRAMA DE REORGANIZACAO VIARIA (9.4.8) PROGRAMA DE VALORIZACAO DO PATRIMONIO HISTORICO, CULTURAL E PAISAGISTICO (9.4.9)	PREVENTIVA CORRETIVA PREVENTIVA PREVENTIVA	MITIGADORA MITIGADORA MITIGADORA POTENCIALIZADORA	POPULACAO RESIDENTE E ATIVIDADES INSTALADAS NAS AREAS ADJACENTES AO EMPREENDIMENTO POPULACAO RESIDENTE E ATIVIDADES INSTALADAS NAS AREAS ADJACENTES AO EMPREENDIMENTO E AREAS ADJACENTES AOS BOTA-FORAS E EMPRESTIMOS USUARIO DO SISTEMA METRO EMPRESARIOS DOS DIVERSOS BAIRROS AFETADOS POPULACAO RESIDENTE NO LOCAL, POPULACAO TRANSEUNTE E USUARIA DO METRO CIA. DO METRO, PMSP, CONDEPHAAT
PLANO DE ACOMPANHAMENTO DOS IMPACTOS E PROGRAMAS (D)	PROGRAMA DE ACOMPANHAMEN- TO E MONITORAMENTO DOS IMPACTOS (9.4.11)	---	---	---

Assim, conhecida a seqüência de elaboração de um Estudo de Impacto do Metrô, os principais impactos listados por tal estudo e os tipos de ações e planos elaborados para se contornar os impactos, espera-se ter apresentado a preocupação do Metrô com as questões ambientais.

12.3.2.2. Estruturas Elevadas: a abordagem do EIA

Antes de se abordar em detalhes ruídos e vibrações, impactos claros de sistemas sobre trilhos, é importante ressaltar um último aspecto em relação ao Estudo de Impactos da Linha 2 – Verde, referente à abordagem destinada pelo mesmo às estruturas elevadas, como o Elevado Tamanduateí.

Assim, verifica-se que o EIA da Linha 2 aborda os elevados como grandes causadores de impactos que se manifestam, prioritariamente, na paisagem urbana, pois provocam poluição visual, redução de amplitude visual, redução de incidência solar e perda, devido às estruturas que sustentam o elevado, de espaços para atividades de lazer.

Para o relatório elaborado pelo CNEC, os impactos provocados pelos elevados ocorrem durante a fase de operação do Metrô, possuindo características que podem ser resumidas no seguinte trecho retirado deste estudo de 1991:

“Sua área de incidência é localizada nas ruas ou espaços onde houver trechos elevados; o impacto é permanente, certo, irreversível e causado por tratar-se do próprio empreendimento; sua natureza é negativa por representar um obstáculo visual permanente à paisagem urbana; e, por fim, sua magnitude e importância relativa podem ser consideradas médias, visto que se trata, em termos estéticos, do empobrecimento de paisagens urbanas localizadas”

12.4. Ruídos e Vibrações: Causas, Efeitos e Sistemas de Atenuação

Conforme descrito há pouco e conforme pode ser observado nas Redes de Impactos apresentados nas Tabelas 22 a 27, ruídos e vibrações são dois dos principais efeitos negativos provenientes da operação do metrô, sendo imprescindível a consideração dos mesmos em projetos de vias permanentes para que sistemas de atenuação sejam propostos e posteriormente instalados, reduzindo os impactos devido ao funcionamento do sistema metropolitano de transporte.

Entretanto, antes de se adentrar na especificação dos citados sistemas de atenuação, é importante descrever a origem de ruídos e de vibrações que ocorrem devido à circulação de trens.

Assim, no que tange aos ruídos, verifica-se que os mesmos provêm, fundamentalmente, conforme artigo publicado na Revista Engenharia número 574 de 2006, do contato roda-trilho em virtude do fato de tal contato se processar entre duas superfícies metálicas sujeitas a atrito. Para tal artigo, “mecanismos associados com a interação da roda e o trilho dominam a produção de ruído de operações ferroviárias em velocidades convencionais”, podendo ser dividido em três tipos distintos: ruído de rolamento, ruído de impacto e ruído de esmerilhamento.

O ruído de rolamento ocorre em trilhos retos, sendo causados, primordialmente, por ondulações na superfície das rodas e dos trilhos que induzem a uma vibração vertical. Os ruídos de impacto assemelham-se aos ruídos de rolamento por induzirem vibrações verticais, mas, ao contrário dos primeiros, são ocasionados por descontinuidades (e não ondulações) entre as rodas e os trilhos. Por último, têm-se os ruídos de esmerilhamento, os quais provêm de excitações laterais oriundas de curvas de elevada curvatura.



Figura 77: Contato Roda-Trilho – Fonte: [METRÔ, 2007]

Além dos ruídos que ocorrem devido ao contato roda-trilho, existem ruídos que se originam do próprio trem, ou seja, de seu tipo de freio, de seu sistema de propulsão e de seus sistemas auxiliares (compressores, sistemas alimentadores, baterias, dentre outros).

Considerando-se estas fontes de ruídos e baseando-se no artigo há pouco citado, pode-se afirmar que “o ruído emitido por um veículo ferroviário depende do tipo de trem em movimento, das condições de operação da via, da velocidade de percurso, das condições de manutenção das vias e, também, do tipo de superestrutura existente (fixação direta, fixação elástica, via em lastro, presença ou ausência de dispositivo para

atenuação de vibrações)”. Além disso, deve-se destacar que, enquanto os ruídos do metrô circulando em meio subterrâneo (túneis) são fonte de incômodos essencialmente para os passageiros (especialmente pela reflexão das ondas sonoras nas paredes dos túneis), os ruídos dos trens circulando em elevados, tais como o Elevado Tamanduateí, possuem alto potencial para provocar incômodos à vizinhança, pois as ondas sonoras são transmitidas por via aérea.

No caso das vibrações, verifica-se que, assim como os ruídos, as mesmas são originadas fundamentalmente do contato roda-trilho durante a passagem dos trens, derivando da presença de desgastes ondulatórios, soldas, calos nos trilhos, dentre outros. Apesar de tais vibrações serem comumente de intensidade insuficiente para danificar estruturas de edifícios, quando chegam a estes geram problemas em equipamentos sensíveis a vibrações, movimentos perceptíveis de lajes, vibrações de janelas e de objetos e, conseqüentemente, devido a efeitos de ressonância, ruídos (denominados, neste caso, de ruídos secundários), motivos pelos quais não podem ser ignoradas.

Conforme apresentado em artigo da Revista Engenharia número 587 de 2008, a intensidade das vibrações produzidas pela passagem de trens e que impactam uma edificação depende, basicamente, de três fatores. Segundo tal artigo, tais fatores correspondem a:

- 1) Fatores relativos à fonte de vibrações

Neste grupo, encontram-se reunidos os fatores associados ao material rodante (aspectos como velocidade dos trens e suspensão do carro metroviário), à infraestrutura da via e à via permanente (superfície dos trilhos e superestrutura da via)

- 2) Fatores relativos ao caminho das vibrações

Neste caso, aspectos como os tipos de solo pelos quais as vibrações propagam-se, a presença de maciços rochosos e a profundidade do nível d'água são fatores que influenciam a intensidade de vibrações que solicitam edifícios nas adjacências das linhas do metrô

- 3) Fatores relativos aos receptores da vibração

Neste grupo, encontram-se as características das edificações solicitadas pelas vibrações, o que envolve tipos de fundações (diretas ou indiretas), tipos de construção (de concreto, de alvenaria, dentre outros), rigidez da estrutura dos edifícios e propriedades dos revestimentos internos e externos das edificações

Estando a propagação de vibrações diretamente associado ao solo, conforme indicado nos fatores anteriores, pode-se compreender a estreita relação existente entre tais vibrações e a passagem de trens por vias superficiais e, principalmente, subterrâneas, pelo fato destas estarem diretamente em contato com o solo.

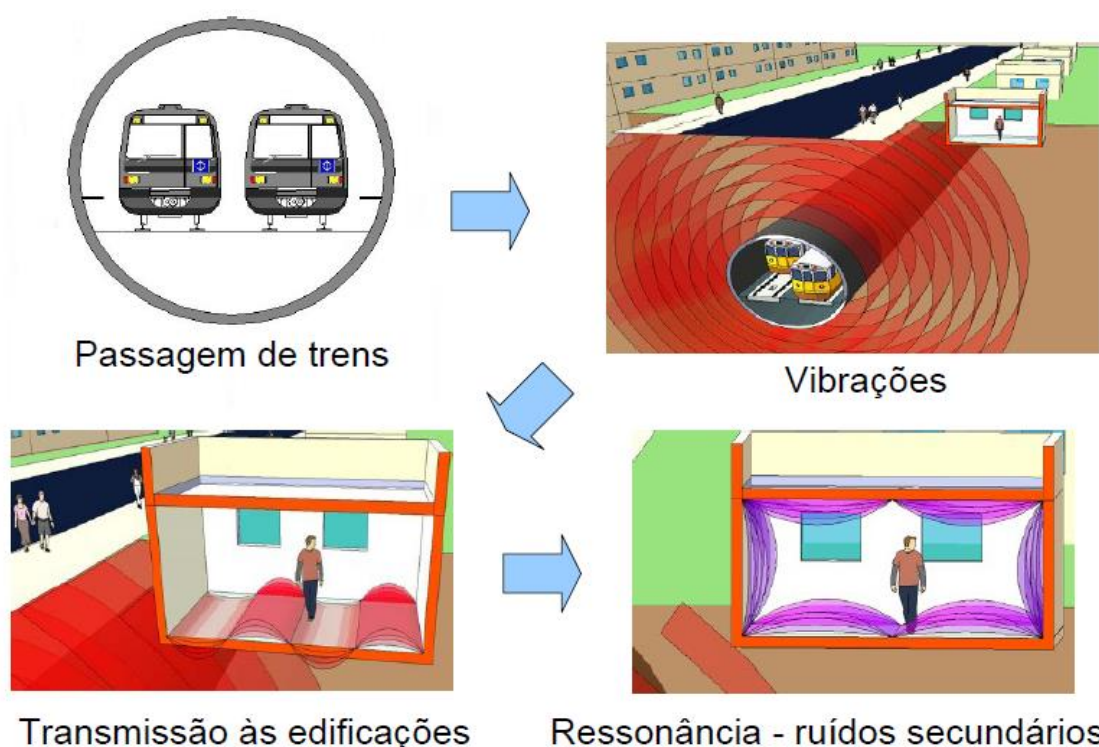


Figura 78: Origem e Propagação de Vibrações e de Ruídos Secundários – Fonte: [METRÔ, 2007]

Entretanto, mesmo sendo um problema acentuado em túneis e em vias de superfície, a questão de vibrações não pode ser desprezada em vias elevadas, tais como o Elevado Tamanduateí. Isto porque, de acordo com a rigidez do conjunto formado pelas superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura dos elevados, também pode haver transmissão de vibrações ao solo e, conseqüentemente, aos edifícios lindeiros. Além disso, vibrações representam carregamentos dinâmicos à estrutura e sua minimização representa um aspecto importante a ser considerado, até mesmo por estar relacionado à

fadiga de estruturas (ponto mais crítico em pontes com estruturas metálicas), conforme destacado por [LUZ, 2008].

Mas não apenas por considerações estruturais deve-se ministrar atenção a vibrações, pois estas, em conjunto com os ruídos, são assunto de saúde pública.

Apesar de soar exagerado, verifica-se que muitos problemas relacionados à vida de cidadãos podem ser associados ao convívio com vibrações e ruídos. As vibrações causam desconforto e sensações de insegurança aos moradores dos edifícios associados pelos movimentos devido à passagem de trens.

Os ruídos, por sua vez, estão associados a problemas ainda maiores. Conforme indicado na Tabela 29, de acordo com a faixa de pressão sonora medida em decibéis (dB) que o ruído atinge, diferentes efeitos na saúde das pessoas podem ser encontrados. Assim, podem ocorrer desde desconfortos e dificuldades de concentração até perdas de audição, passando por perdas de sono e elevação no risco de desenvolvimento de problemas como infartos e derrames.

Tabela 29: Ruídos e seus efeitos na saúde das pessoas – Fonte: Adaptado de [BARRETTO, 2008]

<u>Tabela de Ruídos e seus efeitos na saúde das pessoas</u>	
Faixa de Ruídos (dB)	Efeitos
60-65	Sérios e moderados problemas relacionados à saúde Danos físicos e psíquicos Diminuição da concentração e prejuízo à produtividade no trabalho intelectual Sono prejudicado e piora em desempenhos físico, mental e psicológico Perda provável de alerta auditivo
65-70	EFEITOS ANTERIORES + Diminuição da resistência imunológica Indução de liberação de endorfina, tornando o organismo dependente Aumento da concentração de colesterol no sangue Efeitos cardiovasculares Estresse Aumento nos riscos de derrame cerebral, infecções e osteoporose
70-75	EFEITOS ANTERIORES + Aumento no risco de infartos e outras doenças sérias Alterações no sistema auditivo

Tabela de Ruídos e seus efeitos na saúde das pessoas

Faixa de Ruídos (dB)	Efeitos
75-80	EFEITOS ANTERIORES + Perda de 70% dos estágios profundos do sono
80-85	EFEITOS ANTERIORES + Liberação de morfina, produzindo quadro de dependência
85-90	EFEITOS ANTERIORES + Nível de Alerta Saúde visivelmente afetada
90-95	EFEITOS ANTERIORES + Nível de Perigo Perda de mais de 70% dos estágios profundos do sono
95-100	EFEITOS ANTERIORES + Nível de Perigo Intenso
100-105	EFEITOS ANTERIORES + Possibilidade de perda momentânea de audição
>105	EFEITOS ANTERIORES + Possibilidade de perda permanente de audição

Justamente em função destes efeitos nocivos à população que ruídos e vibrações, impactos ambientais negativos manifestados durante a operação de sistemas metroviários, são limitados por normas técnicas e por regulamentos internos do Metrô.

As limitações de ruídos são precisamente resumidas por artigo publicado na 15ª Semana de Tecnologia Metroferroviária acerca de “Divergências na legislação para os níveis máximos admissíveis para ruídos gerados pelos diversos sistemas lineares de transporte de passageiros em regiões metropolitanas”. Segundo tal artigo, “a fabricação de trens de passageiros deve seguir as disposições da NBR13068/1997 – Ruídos Interno e Externo em Carro Metropolitano para as emissões de ruídos destes veículos. Esta norma fixa valores máximos de pressão sonora ponderada de 80 dB para ruído externo estático e, para os dinâmicos, 85 dB para composições chegando a uma estação, passando por ela ou dela saindo e 90 dB para composições trafegando em trechos entre estações, elevados ou em superfície, respectivamente. Para obter uma licença operacional, uma linha de metrô deve obedecer à legislação pertinente que, por sua vez, remete à NBR10151/2000 – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Assim, este mesmo trem, para poder operar, não poderá acarretar, nos imóveis lindeiros à via, níveis de ruído superiores aos estipulados pela NBR10151/2000, ou seja, em áreas estritamente residenciais urbanas ou de hospitais ou

de escola, os níveis de ruído nos receptores não poderão superar 50 dB para o período diurno e 45 dB para o noturno”.

Em relação a vibrações e ruídos secundários (oriundos das vibrações, conforme explicado anteriormente), tornam-se úteis as Tabela 30 e Tabela 31, que indicam os limites adotados pelo Metrô para tais grandezas de acordo com o tipo de imóvel atingido.

Tabela 30: Limites de Vibração provocados pelo Metrô – Fonte: Documentos internos da Companhia do Metropolitano de São Paulo

CRITÉRIOS PARA VIBRAÇÕES MÁXIMAS PROVOCADAS PELA OPERAÇÃO DE TREM			
A – RESIDÊNCIAS E EDIFÍCIOS EM ÁREAS DE PERNOITE			
Categoria da Área da Comunidade	Níveis Máximos de Vibração Transmitida por via sólida (dB re: 25,4x10 ⁻⁶ mm/s) (2)		
	Moradia Unifamiliar	Edifício Multifamiliar	Hotel
I Residencial de baixa densidade	70	70	70
II Residencial de média densidade	70	70	75
III Residencial de alta densidade	70	75	75
IV Comercial	70	75	75
V Industrial/Rodovia	75	75	75
B - EDIFICAÇÕES COM FUNÇÕES ESPECIAIS			
Tipo de Edificação ou Sala	Níveis Máximos de Vibração Transmitida por via sólida (dB re: 25,4x10 ⁻⁶ mm/s) (2)		
Salas de concerto e estúdios de TV	65		
Auditórios e Salas de Música	70		
Igrejas e teatros	70-75		
Dormitórios de Hospitais	70-75		
Tribunais	75		
Escolas e Bibliotecas	75		
Edifícios de Universidades	75-80		
Escritórios	75-80		
Edifícios Comerciais e Industriais	75-85		
Laboratórios Industriais ou de Pesquisa (sensíveis a vibrações)	60-70		
(1) Os critérios se aplicam a vibração vertical de superfícies de piso dentro dos edifícios			
(2) Referência padrão para níveis de velocidade apresentada logarithmicamente em decibéis			
Fonte: Wilson, Ihring & Associates (Adotado por MARTA, WMATA, BART, BART, MTA, CTA, NFTA, SCTD E MTDB como critérios de projeto)			

Tabela 31: Limites de Ruídos Secundários provocados pelo Metrô – Fonte: Documentos internos da Companhia do Metropolitano de São Paulo

CRITÉRIOS PARA RUÍDOS SECUNDÁRIOS MÁXIMOS PROVOCADOS PELA OPERAÇÃO DE TREM			
A – RESIDÊNCIAS E EDIFÍCIOS COM ÁREAS DE PERNOITE			
Categoria da Área da Comunidade	Nível Máximo de Ruído Secundário (dBA)		
	Moradia Unifamiliar	Edifício Multifamiliar	Hotel
I Residencial de baixa densidade	30	35	40
II Residencial de média densidade	35	40	45
III Residencial de alta densidade	35	40	45
IV Comercial	40	45	45
V Industrial/Rodovia	40	45	50
B – EDIFICAÇÕES DE USO ESPECIAL E ÁREAS EXTERNAS			
Tipo de Edificação ou Sala	Nível Máximo de Ruído Secundário (dBA)		
Salas de concerto e estúdios de TV	25		
Auditórios e Salas de Música	30		
Igrejas e teatros	30-35		
Dormitórios de Hospitais	35-40		
Tribunais	35		
Escolas e Bibliotecas	35-40		
Edifícios de Universidades	35-40		
Escritórios	35-40		
Edifícios Comerciais	45-55		
Fonte: "Diretrizes para projeto de instalações de Trânsito Rápido", 1979, APTA (American Public Transport Association)			

Conhecidas as causas e os problemas vinculados a ruídos e vibrações, é importante destacar os sistemas de atenuação destes impactos ambientais, utilizados para que os limites anteriormente descritos sejam respeitados.

No caso dos ruídos, verifica-se, em função de sua origem no contato roda-trilho, que uma das formas de minimizá-los corresponde a atuar nesta interface. Assim, melhorar o acabamento do contato roda-trilho é uma possível intervenção na busca pela redução de ruídos provenientes de linhas de metrô, podendo-se obter, com base em experiências em sistemas de transporte metroferroviários, ganhos acústicos de até 10 dB.

Outra possibilidade para obter diminuições de sons oriundos de vias do metrô envolve a atuação na propagação de ondas sonoras. Neste caso, tendo-se em vista a propagação aérea dos ruídos, age-se impedindo ou dificultando tal propagação através do emprego de barreiras acústicas, as quais podem atuar refletindo ou absorvendo os ruídos de acordo com o material empregado. Além do material utilizado (podendo ser, por exemplo, concreto ou metal), as dimensões e a localização das barreiras são fatores que interferem na eficiência de isolamento acústico obtido com esta técnica.



Figura 79: Via com Barreiras Acústicas Laterais

No que tange às vibrações, verifica-se, com base no citado artigo da Revista Engenharia número 587 de 2008, que a atenuação pode ser obtida atuando-se nos três fatores de influência nos níveis de vibração anteriormente destacados (fatores relativos à fonte de vibrações, fatores relativos ao caminho das vibrações e fatores relativos aos receptores das vibrações).

Segundo o citado artigo, a atuação no caminho das vibrações corresponde à medida de maior grau de dificuldade de execução por envolver alterações em condições de contorno já estabelecidas (condições geológicas do terreno próximo à via). Entretanto, caso se julgue necessário intervir neste grupo de fatores, pode-se construir valas profundas preenchidas com materiais que alterem o caminho das vibrações (medida incomum devido ao seu alto custo de execução).

A atuação nos fatores relativos aos receptores das vibrações, por sua vez, envolve o emprego de tratamentos acústicos (que, apesar de não alterarem as vibrações, reduzem os ruídos secundários), ou a alteração da frequência natural das estruturas mediante alteração da rigidez das mesmas (algo que pode ser feito, por exemplo, através de contraventamentos).

Contudo, em vista da maior dificuldade de intervenções nos caminhos e nos receptores das vibrações, observa-se que as medidas mais comuns, eficazes e de menor custo estão associadas aos fatores relativos à fonte de vibrações. Assim, pode-se atuar no material rodante ou na infraestrutura da via visando-se reduzir as vibrações.

As ações sobre o material rodante referem-se à correção de calos e rugosidades nas rodas (buscando-se, com isso, melhorar o contato roda-trilho) e a alterações nas suspensões dos carros, empregando-se molas de suspensão (amortecedores instalados entre o truque e o rodeio dos trens) com materiais elastoméricos devidamente ensaiados e homologados de modo a se garantir um comportamento adequado da suspensão frente a vibrações.



Figura 80: Suspensão de Carros Metroviários – Fonte: [LUZ, 2008]



Figura 81: Molas de Suspensão

Conforme artigo da Revista Engenharia, “atuações na via permanente podem ser feitas por meio de ações de manutenção para garantir uma superfície de rodagem suave (correção de desgastes ondulatórios em trilhos, defeitos nos jacarés de aparelhos de mudança de via, troca de trilhos e fixações, etc) ou ações de projeto, concebendo sistemas de superestrutura com controles especiais de vibração como, por exemplo, fixações elásticas, mantas sob lastro, palmilhas amortecedoras e fixação direta sobre laje flutuante (sistema com laje massa-mola)”.

Em relação aos “sistemas de superestrutura com controles especiais de vibração”, a Figura 82 ilustra de forma clara, os três possíveis níveis de intervenção, ou seja, de possibilidades de implementação de sistemas de atenuação de ruídos para vias compostas por trilhos, dormentes ou placas de apoio, lastros ou lajes flutuantes e infraestruturas.

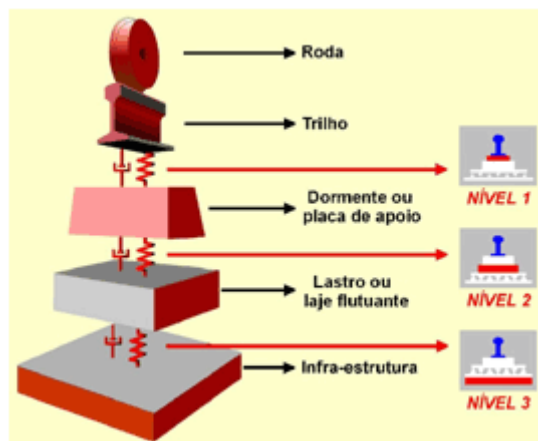


Figura 82: Níveis de Intervenção na Via Permanente para Atenuação de Vibrações

No que tange ao Metrô de São Paulo, verifica-se que as formas de atenuação mais empregadas envolvem placas resilientes que atuam nos níveis 1 e 2 apresentados na Figura 82 e sistemas massa-mola atuantes no nível 3.

O sistema com placas resilientes envolve dois elastômeros, estando um posicionado entre a placa resiliente e o trilho e outro sob a placa de apoio do trilho.



Figura 83: Placas Resilientes – Fonte: [METRÔ, 2007]

O sistema massa-mola, por sua vez, corresponde, de acordo com fabricantes de sistemas de atenuação, a uma estrutura pesada (geralmente de concreto armado) apoiada sobre elementos de baixa frequência natural (grande flexibilidade relativa) onde são colocados os trilhos ou, segundo definição própria do Metrô, a uma “laje de concreto pousada sobre material flexível, que ameniza ruídos e vibrações provocados durante a passagem dos trens”. Este sistema com laje flutuante (correspondente à “massa” do sistema massa-mola) apoiada sobre bases elastoméricas ou de aço (correspondentes à

“mola” do sistema massa-mola) é de grande utilidade para atenuar vibrações especialmente quando são consideradas as limitações do sistema de fixação resiliente dos trilhos (placas resilientes) que, para evitar deformações nos trilhos e torção destes devido a esforços laterais, possui restrições nas flexibilidades dos elastômeros empregados, o que reduz a eficiência de atenuação.

O sistema de atenuação massa-mola possui diferentes configurações que diferem, fundamentalmente, nos elementos elastoméricos ou de aço que desempenham o papel de mola. Assim, conforme indicado na Figura 84 e na Figura 85, as bases flexíveis podem ser compostas por apoios elásticos discretos, tiras elastoméricas, mantas elastoméricas ou isoamortecedores com molas helicoidais de aço (solução de durabilidade superior aos sistemas com bases elastoméricas cujo processo de execução é apresentado na Figura 86).

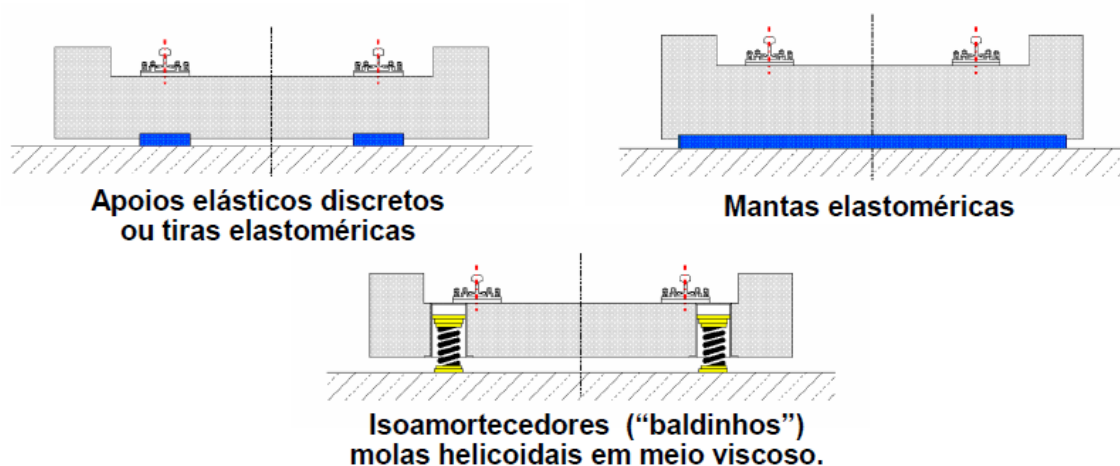


Figura 84: Configurações de Sistemas Massa-Mola – Fonte: [METRÔ, 2007]

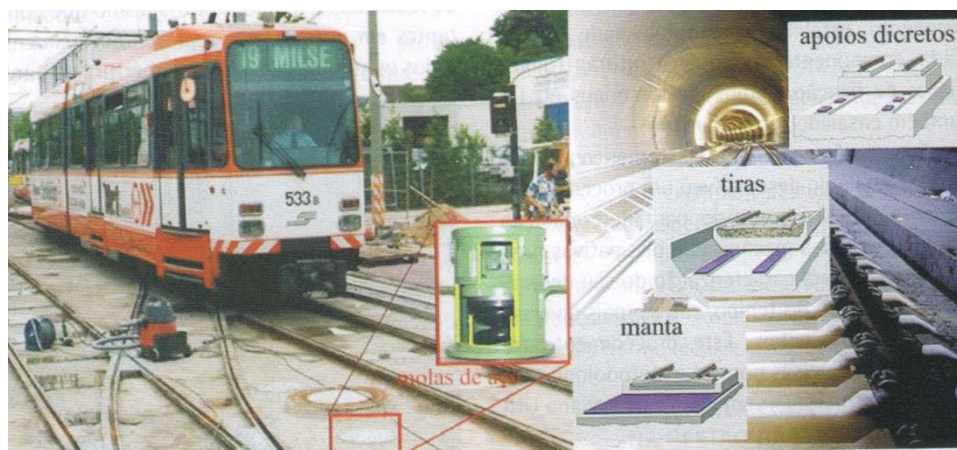


Figura 85: Configurações de Sistemas Massa-Mola – Fonte: [Revista Engenharia 587 de 2008]

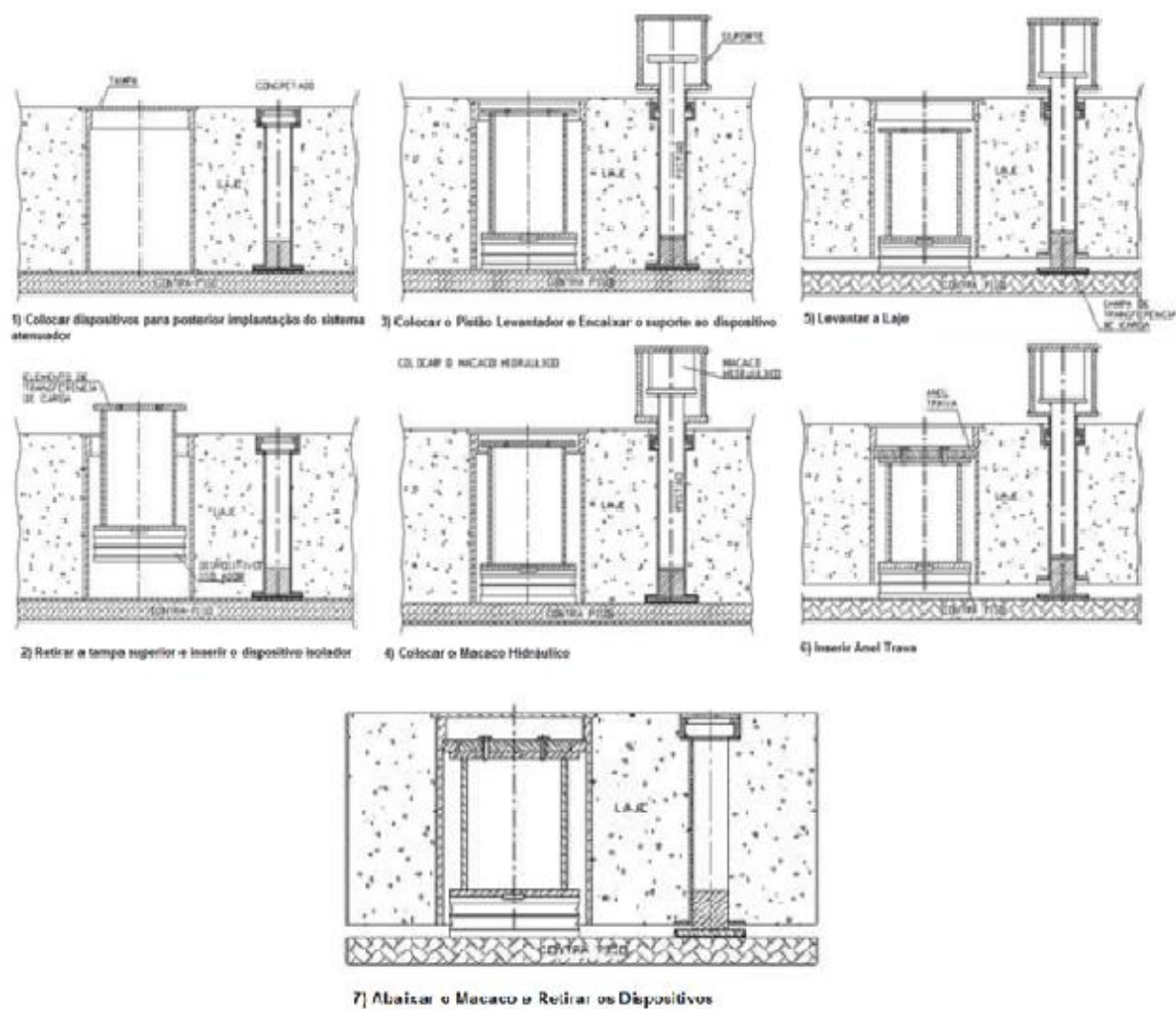


Figura 86: Seqüência de Montagem de Isoamortecedores

A consideração destes sistemas de atenuação pelo Metrô de São Paulo dá-se ainda na fase de concepção da via permanente, conforme indicado no fluxograma da Figura 87.

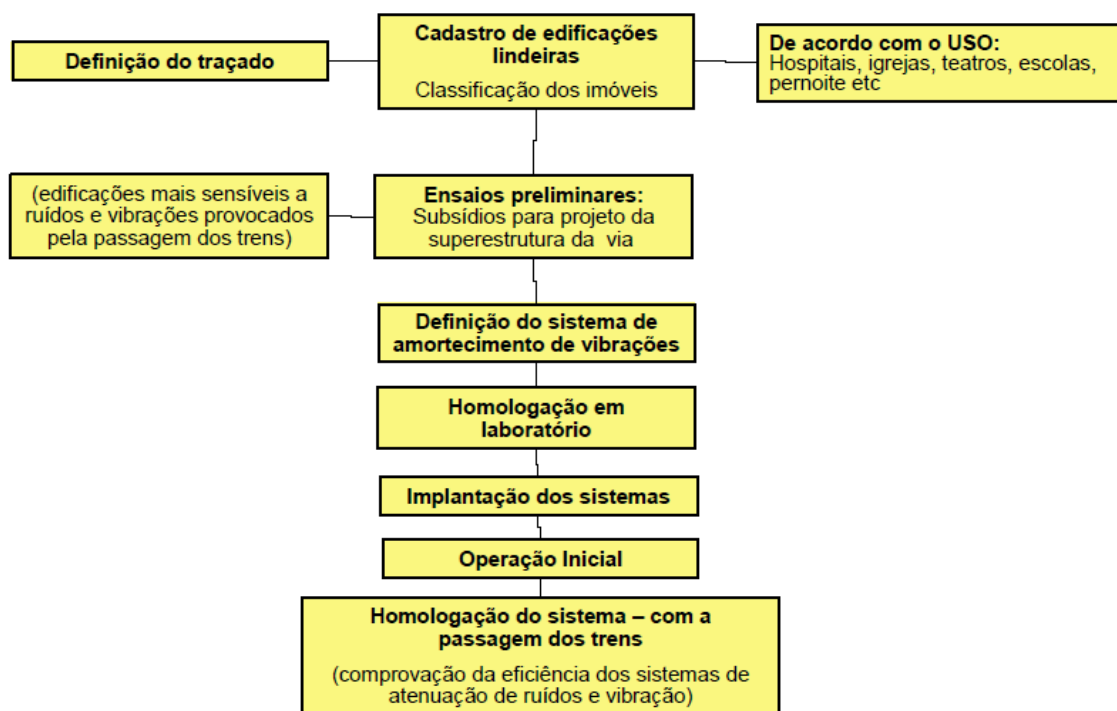


Figura 87: Processo de Concepção de Vias Permanentes – Fonte: [METRÔ, 2007]

O fluxograma anterior indica os procedimentos para definição e homologação dos sistemas de atenuação, procedimentos estes que são necessários para evitar que o sistema proposto seja ineficaz para reduzir vibrações a níveis aceitáveis ou para que o sistema proposto seja superdimensionado, resultando em custos superiores aos necessários.

Dessa forma, verifica-se que a definição da necessidade de sistemas de atenuação e, em caso de necessidade, a definição se estes serão com isoamortecedores, mantas elastoméricas ou outra configuração possível, ocorre mediante uma seqüência de passos que se inicia com o estudo da vizinhança, identificando-se as edificações lindeiras quanto aos seus tipos (tais como igrejas, estúdios de gravação, escolas, dentre outros) e quanto ao seu comportamento dinâmico (fator importante no que tange à intensidade de vibrações, conforme destacado anteriormente). Conforme artigo da Revista Engenharia número 587 de 2008, “nestas construções, realizam-se ensaios e monitorações dinâmicas com o objetivo de estimar o impacto das vibrações nas adjacências da linha, a fim de dimensionar adequadamente o sistema (sistema massa-mola)”.

Tais ensaios e monitorações representam a segunda etapa na definição dos sistemas de atenuação, consistindo em ensaios de impacto (ensaio no qual são aplicados no solo golpes de pilão de massa conhecida) para obter informações acerca das características

dinâmicas das edificações notáveis (edificações identificadas na etapa anterior) e das características de transmissibilidade do solo e da própria edificação e monitorações com o trânsito, medindo-se, nos edifícios de interesse, as vibrações provenientes da passagem de veículos.

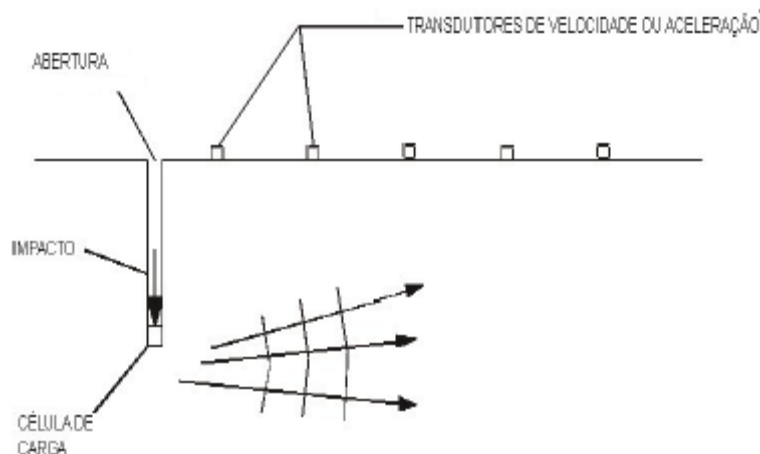


Figura 88: Esquema de Realização de Ensaios de Impacto – Fonte: Adaptado de [METRÔ, 2007]

Com os dados dos ensaios anteriores disponíveis, faz-se o dimensionamento do sistema de atenuação necessário para que os limites de vibração e de ruídos secundários indicados nas Tabelas 30 e 31 sejam respeitados.

Após o dimensionamento do sistema de atenuação, focando-se no sistema massa-mola, há, por parte do Metrô, uma preocupação de homologação do sistema, sendo esta feita mediante ensaios em laboratório, os quais envolvem ensaios nos materiais elastoméricos (buscando-se determinar suas propriedades mecânicas e dissipativas e seu comportamento ao longo do tempo), ensaios de placas resilientes para fixação de trilhos e ensaios em protótipos (“para avaliação do desempenho em termos de amortecimento, estabilidade e durabilidade da via”, conforme artigo da Revista Engenharia), e ensaios em campo, avaliando-se vibrações e ruídos com a passagem de trens fora da operação comercial (utilizando-se cenários distintos, tais como trens vazios e trens carregados com sacos de areia) e durante a operação comercial. Os resultados obtidos em tais ensaios indicam se há necessidade de intervenções no sistema de atenuação para que os mesmos funcionem do modo desejado.



Figura 89: Ensaio de Protótipos com Sistema Massa-Mola composto por Isoamortecedor
– Fonte: [METRÔ, 2007]



Figura 90: Ensaio em Placas Resilientes para Fixação de Trilhos – Fonte: [METRÔ, 2007]



Figura 91: Ensaios de Sistemas de Atenuação em Campo – Fonte: [METRÔ, 2007]

Com isso, busca-se especificar um sistema de atenuação eficiente e de custo adequado para minimizar aqueles que podem ser considerados os principais impactos devido à operação do transporte metroviário, os ruídos e as vibrações.

12.4.1. Sistemas de Atenuação de Vibrações e de Ruídos para o Elevado Tamandateí

Tendo em vista os aspectos ressaltados anteriormente, percebe-se a necessidade de se conceber para o Elevado Tamandateí, sistemas de atenuação de vibrações e de ruídos para que os impactos na região de sua implantação sejam minimizados.

Naturalmente, ensaios como os de impacto não se encontram disponíveis, mas, com base em obras de características semelhantes e tomando-se por base informações do projeto atual do Elevado Tamandateí, pode-se definir como sistema de atenuação de

vibrações um sistema massa-mola composto por mantas elastoméricas (sistema de fácil implementação e custo adequado aos propósitos da obra).

No que tange aos ruídos, estando previsto um crescimento imobiliário na região devido à chegada da Estação Tamanduateí, é necessário que um sistema para atenuação destes também seja previsto adicionalmente ao sistema massa-mola anterior. Assim, considera-se para o Elevado Tamanduateí a implementação de barreiras acústicas que, mesmo que não instaladas desde o início da operação da linha do metrô, devem ser previstas ainda na fase de projeto para que dispositivos de fixação sejam colocados e para que a carga oriunda de tais barreiras (peso-próprio e, especialmente, cargas de vento atuantes nestes dispositivos de isolamento acústico) sejam inclusas nos cálculos das superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura do elevado.

Com a instalação de barreiras acústicas e de sistemas massa-mola com mantas elastoméricas, espera-se a seguinte configuração para a Via Permanente do Elevado Tamanduateí, tendo-se e vista conceitos anteriormente apresentados no Capítulo 10 – Estudo do Material Rodante e da Superestrutura Ferroviária:

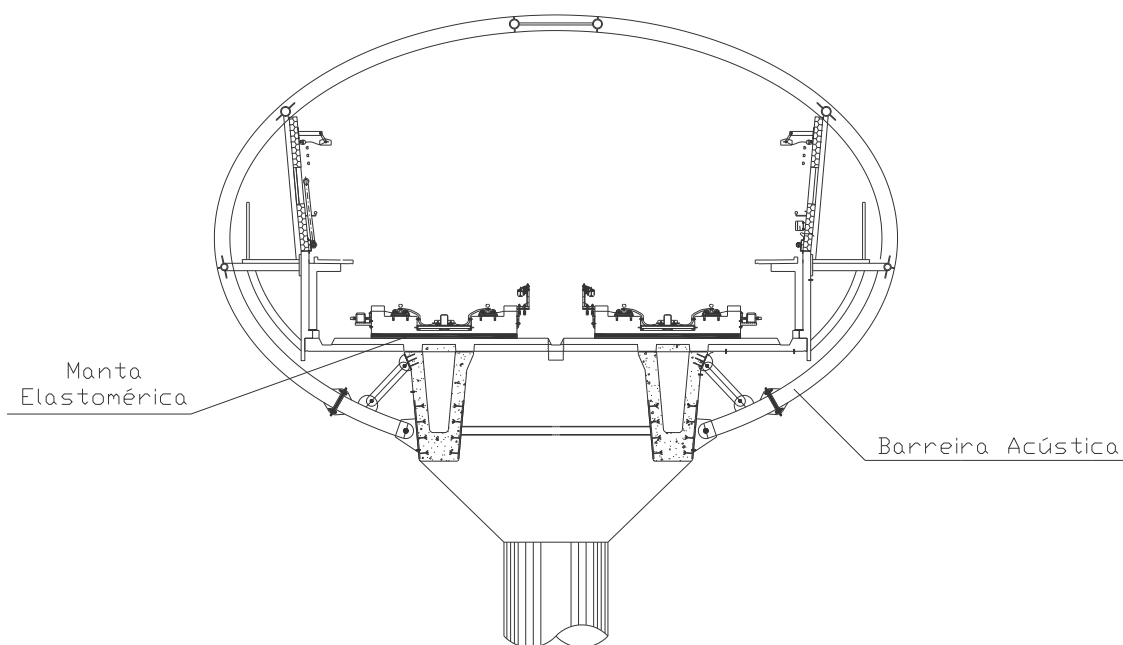


Figura 92: Possível Configuração de Seção Transversal com Barreira Acústica e Manta Elastomérica

13. Concepção Estrutural Inicial do Elevado Tamanduateí

Conhecidos os impactos ambientais provocados pelo Metrô e sendo providenciadas as medidas mitigadoras adequadas, pode-se licenciar a obra e iniciar a análise do Elevado Tamanduateí para a obtenção de esforços.

A obtenção de tais esforços atuantes no Elevado Tamanduateí durante as fases construtiva e de operação será feita mediante modelagem estrutural do elevado em software específico apresentado posteriormente. Entretanto, antes de se proceder à elaboração do modelo, deve-se definir toda a concepção do elevado. Em relação a isso, verifica-se que uma das decisões iniciais tomadas em relação ao Elevado Tamanduateí corresponde à sua construção sem execução de juntas de dilatação, ponto que deve ser analisado e justificado principalmente em relação à sua importância para o comportamentos dos trilhos que compõem a via permanente do Metrô. Por este motivo, inclui-se este item, buscando descrever e justificar a inexistência de juntas de dilatação intermediárias no Elevado Tamanduateí, mostrando que tal concepção não impõe esforços inaceitáveis aos trilhos, sendo compatível, portanto, com uma operação segura dos trens metropolitanos.

Neste item, dá-se ênfase exclusiva à citada influência dos trilhos longos soldados na concepção do Elevado Tamanduateí. Outros tópicos concernentes à concepção estrutural do elevado, tais como locação de pilares, serão abordados posteriormente, concomitantemente à descrição do modelo adotado para a obtenção de esforços.

13.1. Influência do Trilho Longo Soldado na Concepção Estrutural de Elevados

Antes de se iniciar a modelagem do Elevado Tamanduateí para a obtenção de esforços que servirão de base para o cálculo de sua protensão e para o dimensionamento de suas fundações, é importante estudar a interação entre a via permanente, constituída de trilhos continuamente soldados, e a superestrutura do Elevado Tamanduateí.

A necessidade de se proceder a tal estudo deriva do fato de que o tratamento dos trilhos como elemento estrutural leva à imposição de restrições que influenciam na concepção da superestrutura de elevados metroviários. É o caso, por exemplo, da limitação de distância entre juntas nestes elevados, conforme destaca [MAUBERTEC, 1996], documento de referência para a análise de TLS (trilho longo soldado) em estruturas elevadas que aqui se apresenta.

De acordo com este documento, “os trilhos não só sofrem pelos esforços gerados pelo carregamento e operação dos trens e pela variação de temperatura, mas também pelos esforços gerados por deformações da estrutura”, encontrando-se dentro destas deformações as decorrentes de retração e fluência do elevado.

Assim, verifica-se ser imprescindível conceber a estrutura de elevados de modo a limitar os esforços nos trilhos a valores aceitáveis que, com base na resistência destes elementos, não devem conduzir os trilhos à ruptura (o que, dentre outros, leva a esforços adicionais na estrutura do elevado e pode provocar oscilações em pontes e estações, afetando psicologicamente os usuários do Metrô).

Para se ter uma idéia de como aspectos como a variação de temperatura solicitam os trilhos, é interessante observar a Figura 93, que mostra forças normais de tração em trilhos oriundas de resfriamento dos mesmos. No caso apresentado, para trilhos TR-57, comumente utilizados no Metrô de São Paulo, tem-se forças de tração de até 64 tf para variações de temperatura de 35°C.

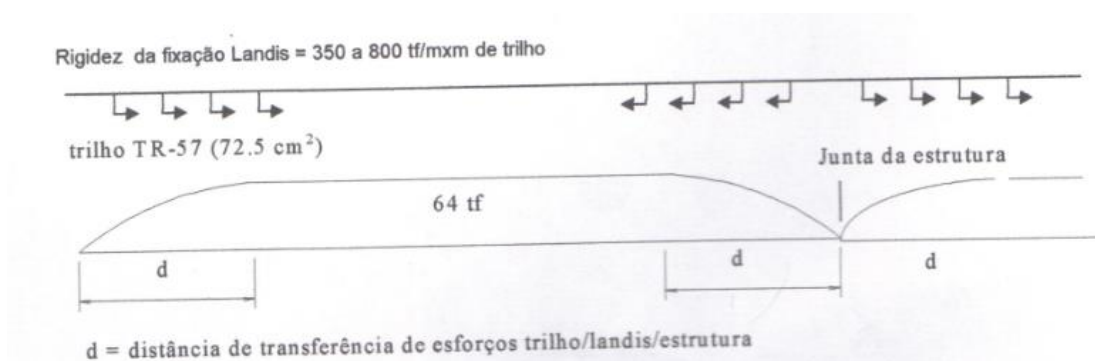


Figura 93: Forças Normais em Trilhos Longos Soldados – Fonte: [MAUBERTEC, 1996]

Na Figura 93, é possível observar, ainda, a presença da fixação Landis (caracterizada na Figura 94), utilizada para evitar movimentos inaceitáveis do trilho e que possui grande influência nos esforços nestes elementos, especialmente em relação à distribuição de tais esforços.

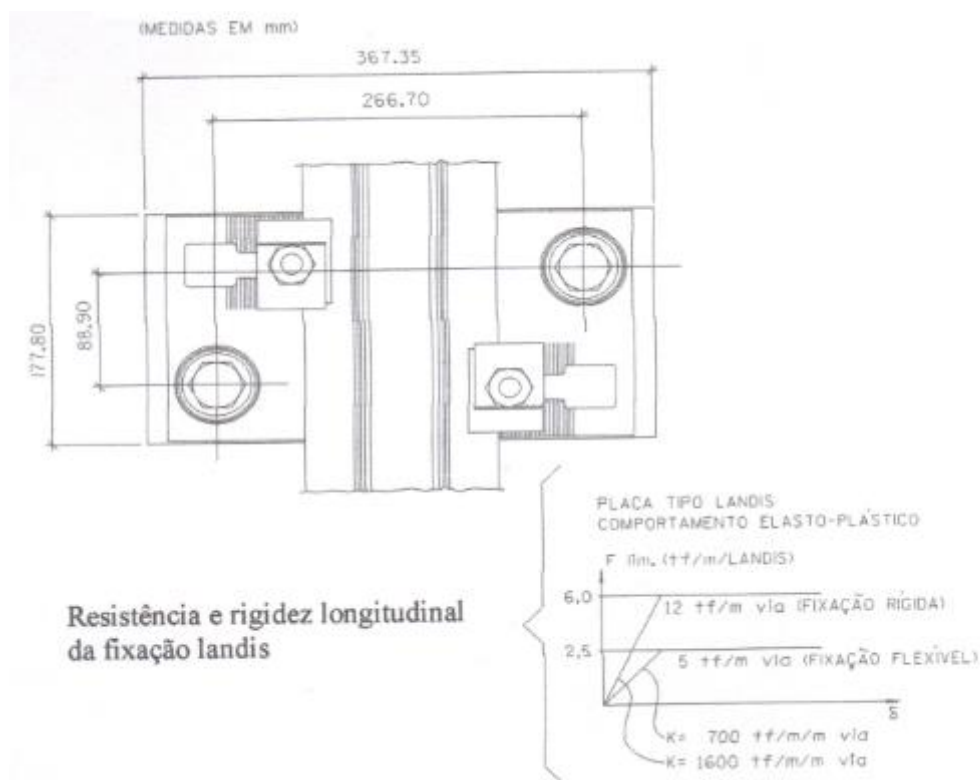


Figura 94: Fixação Landis em Planta – Fonte: [MAUBERTEC, 1996]

A rigidez da fixação Landis utilizada pelo Metrô de São Paulo é um dos motivos que conduzem aos esforços em trilhos citados anteriormente. Segundo [MAUBERTEC, 1996], “como a resistência longitudinal nas fixações dos trilhos é bastante elevada, elas acabam gerando esforços exagerados nos trilhos, em decorrência das deformações impostas na superestrutura (provenientes de temperatura, retração e fluência), principalmente na região das juntas das estruturas”.

Em função disto, verifica-se que a distribuição de esforços nos trilhos pelas deformações impostas pela superestrutura apresenta a seguinte configuração, com esforços máximos nas juntas da superestrutura que corroboram o trecho anterior extraído do relatório elaborado pela Maubertec:

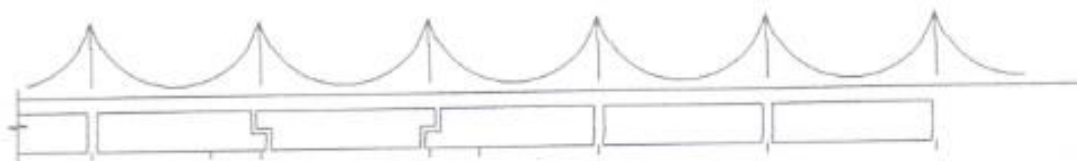


Figura 95: Diagrama de Esforços em TLS (valores máximos nas juntas) – Fonte: [MAUBERTEC, 1996]

A análise da figura anterior permite identificar que juntas menos espaçadas reduzem os esforços nos trilhos, havendo comportamento contrário no caso de grandes vãos sem juntas. Mais do que isso, com base na necessidade de limitação dos esforços nos aparelhos de apoio da estrutura, na necessidade de limitação de sobretensões em trilhos oriundas da ruptura de outros trilhos da mesma via permanente e na necessidade de limitação da abertura de um trilho rompido (tal abertura deve ser inferior a 3 cm para evitar riscos à operação dos trens), o documento [MAUBERTEC, 1996] apresenta gráficos que indicam os espaçamentos L entre juntas de dilatação que tornam viáveis a concepção estrutural de estruturas elevadas para diferentes valores de k (rigidez do conjunto aparelho de apoio, mesoestrutura e infraestrutura).

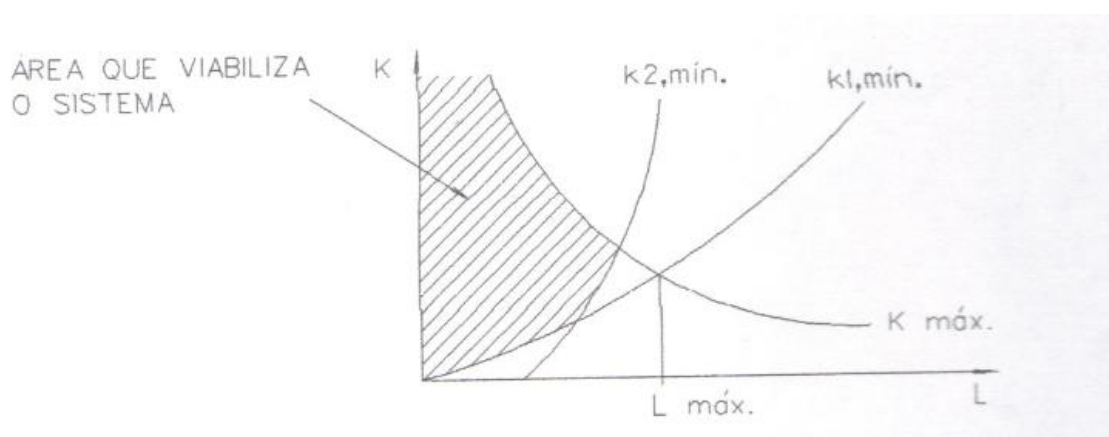


Figura 96: Gráfico para Obtenção de Espaçamentos Admissíveis entre Juntas – Fonte: [MAUBERTEC, 1996]

Para o caso de elevado em seção celular de concreto protendido, com aparelhos de apoio em neoprene, fundação profunda com pilares de altura constante ou variável, via dupla, fixação da via em placas tipo Landis e ruptura de 1 trilho (características que compõem um cenário mais próximo do Elevado Tamanduateí), o gráfico obtido por [MAUBERTEC, 1996] corresponde a:

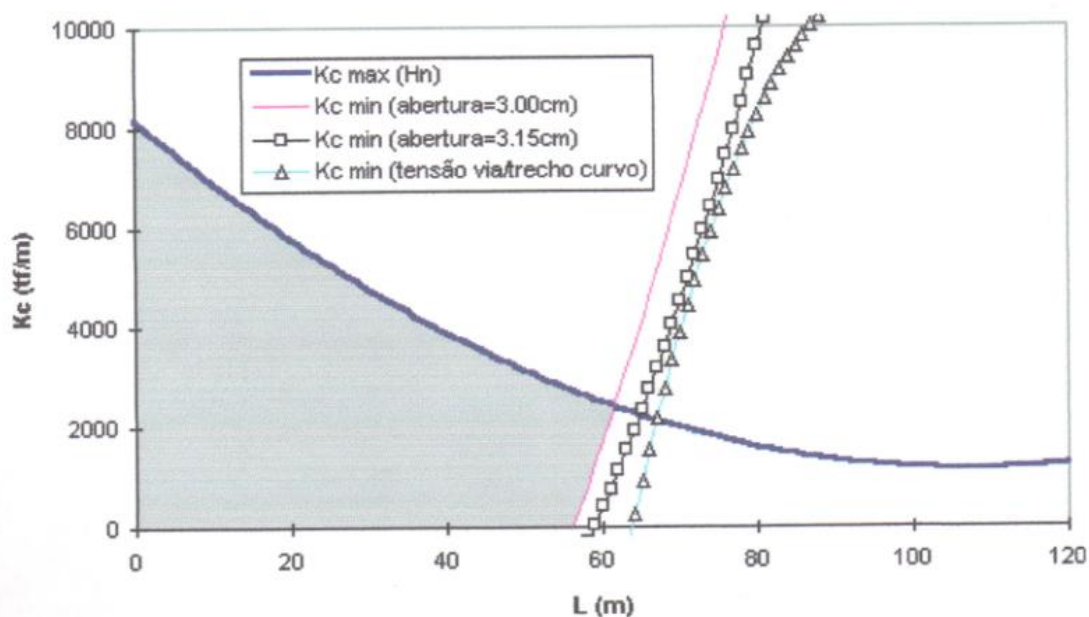


Figura 97: Gráfico de Espaçamento entre Juntas para Elevados semelhantes ao Elevado Tamanduateí – Fonte: [MAUBERTEC, 1996]

Tal gráfico mostra que o espaçamento máximo entre juntas de dilatação em elevados de características análogas as do Elevado Tamanduateí é de cerca de 60 metros.

Neste ponto, verifica-se a principal influência dos trilhos longos soldados na concepção do Elevado Tamanduateí. Isto porque a concepção inicial do Elevado Tamanduateí apresentada neste documento não introduz juntas de dilatação ao longo do elevado, havendo juntas apenas nos encontros do elevado com a Estação Tamanduateí e com o emboque do túnel em direção à Estação Vila Prudente, o que resultaria em um espaçamento entre juntas de cerca de 370 metros, incompatível com o limite de 60 metros indicado anteriormente e que levaria a esforços nos trilhos distribuídos segundo a forma indicada na Figura 98.



Figura 98: Esforços em TLS – Fonte: [MAUBERTEC, 1996]

Para resolver este problema, seria necessário introduzir juntas no elevado ou aumentar o intervalo admissível entre juntas. De acordo com [MAUBERTEC, 1996], o aumento dos intervalos entre juntas de dilatação em estruturas elevadas (opção adotada neste relatório) pode-se dar com a revisão periódica dos trilhos (por permitir que reduções de seção por desgaste mecânico do trilho que precipitam a ruptura do mesmo sejam identificadas antecipadamente) e, principalmente, com alívios periódicos de tensão nos trilhos (através de, por exemplo, desligamento de fixações dos trilhos).

No caso do Elevado Tamanduateí, optou-se pelo alívio de tensões nos trilhos. Entretanto, ao invés de se diminuir a quantidade de fixações, adotou-se juntas nos trilhos, coincidentes com as juntas do Elevado Tamanduateí (conforme esquema indicado na Figura 99), o que reduz significativamente os esforços nos trilhos e permite a manutenção da concepção inicial do Elevado Tamanduateí sem juntas intermediárias.

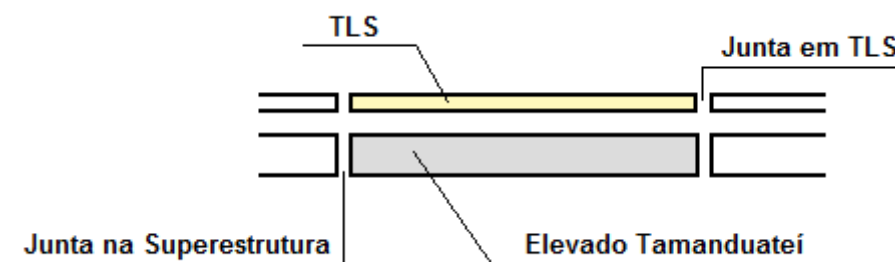


Figura 99: Esquema de Juntas nos Trilhos Longos Soldados do Elevado Tamanduateí

Entretanto, uma última verificação deve ser feita para comprovar a viabilidade da solução adotada.

Sendo assim, tomando-se por base, novamente, o documento elaborado pela Maubertec, será feito a seguir o cálculo da tensão existente no trilho considerando variações de temperatura, fluência e retração (considerados através de variações de temperatura equivalentes), efeitos de desgastes nos trilhos, cargas horizontais e verticais associadas ao trem-tipo metroviário e tensões internas nos trilhos (decorrentes de defeitos dos mesmos), verificando se a tensão resultante é inferior à resistência dos trilhos TR-57 (indicados na Figura 100) utilizados pelo Metrô. As verificações restantes, correspondentes ao cálculo da abertura do trilho em caso de ruptura e ao cálculo do acréscimo de tensão nos demais trilhos devido a esta ruptura, encontram-se fora do escopo deste documento.

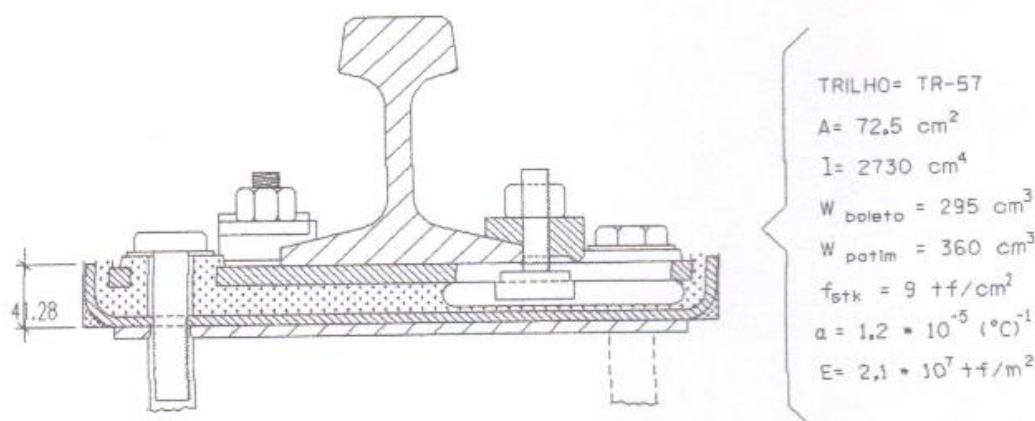


Figura 100: Trilhos TR-57 – Fonte: [MAUBERTEC, 1996]

Para a verificação das tensões nos trilhos, tem-se que a seguinte condição deve ser respeitada:

$$\frac{f_{stk}}{1,15} \geq 1,2 \cdot (\sigma_d + \sigma_i) + 1,4 \cdot (\sigma_v + \sigma_h + \sigma_\theta)$$

Onde:

f_{stk} é a tensão máxima de tração em valor característico em trilhos TR-57 (9tf/cm²);

σ_d é a tensão para consideração de desgastes dos trilhos, de valor igual a 0,20 tf/cm² ([MAUBERTEC, 1996]);

σ_i representa as tensões internas nos trilhos, de valor adotado igual a 0,80 tf/cm² ([MAUBERTEC, 1996]);

σ_v é a tensão associada a cargas verticais do trem-tipo metroviário, igual a 0,70 tf/cm² ([MAUBERTEC, 1996]);

σ_h é a tensão associada a cargas horizontais (frenação, por exemplo) do trem-tipo metroviário, igual a 0,17 tf/cm² para trechos retos ou de pequena curvatura, como o Elevado Tamanduateí ([MAUBERTEC, 1996]);

σ_θ é a tensão decorrente de efeitos de variação de temperatura, de retração e de fluência do concreto, sendo calculada da seguinte forma:

$$\sigma_{\theta} = E \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Com:

$E = 2,1 \times 10^3 \text{ tf} / \text{cm}^2$ é o módulo de elasticidade do aço do trilho TR-57;

$\Delta\theta = 65^{\circ}\text{C}$ é a variação de temperatura total (15°C de variação de temperatura propriamente dita, 20°C relacionados à retração do concreto e 30°C referentes à fluência do concreto);

$\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ é o coeficiente de dilatação térmica do concreto;

$\alpha \cdot \Delta\theta$ corresponde à deformação da superestrutura do elevado que é imposta aos trilhos

Considerando todos estes valores, chega-se a:

$$\sigma = 1,2 \cdot (\sigma_d + \sigma_i) + 1,4 \cdot (\sigma_v + \sigma_h + \sigma_{\theta})$$

$$\sigma = 1,2 \cdot (0,2 + 0,8) + 1,4 \cdot (0,70 + 0,17 + 2,1 \times 10^3 \cdot 65 \cdot 10^{-5})$$

$$\sigma = 4,33 \text{ tf} / \text{cm}^2 \leq \frac{f_{stk}}{1,15} = 7,83 \text{ tf} / \text{cm}^2$$

Assim, verifica-se que a concepção do Elevado Tamanduateí sem juntas de dilatação intermediárias, a qual servirá de base para a modelagem estrutural do elevado indicada na seqüência, é adequada em relação aos esforços impostos aos trilhos da via permanente, cabendo a etapas posteriores, como projetos executivos, o cálculo da abertura entre trilhos devido à sua ruptura.

14. Dimensionamento da Superestrutura

Neste capítulo será apresentado o raciocínio no qual se baseou a concepção da estrutura a ser modelada no software de elementos finitos STRAP. Nesta primeira etapa de concepção foram realizados pré-dimensionamentos das subestruturas do elevado a fim de posteriormente realizar um maior detalhamento das mesmas.

14.1. *Obra Pronta*

Abaixo serão apresentados os aspectos geométricos e os carregamentos utilizados no modelo computacional desenvolvido no software STRAP.

14.1.1. Aspectos Geométricos

14.1.1.1. Modelo Longitudinal

Primeiramente procurou-se definir os vãos do elevado baseando-se nas características do método construtivo, conforme apresentado no item 8 deste documento: “Estudo de Alternativas de Métodos Construtivos para o Elevado Tamanduateí”. Assim, estipulou-se que os 377,13 metros de Elevado seriam distribuídos em vão típicos de aproximadamente 40 metros, havendo algumas exceções:

- Vão sobre o córrego do Tamanduateí;
- Dois primeiros vãos por questões de equilíbrio na atividade de empurrar a primeira fase concretada.

Para a primeira peculiaridade, o grupo preocupou-se em minimizar os efeitos deletérios do Elevado tanto no Rio Tamanduateí quanto na Avenida Francisco Mesquita de grande fluxo de veículos. Assim, os pilares foram locados de modo a não invadirem a avenida e nem tampouco se localizarem no leito do rio Tamanduateí, conforme indicado na figura abaixo:

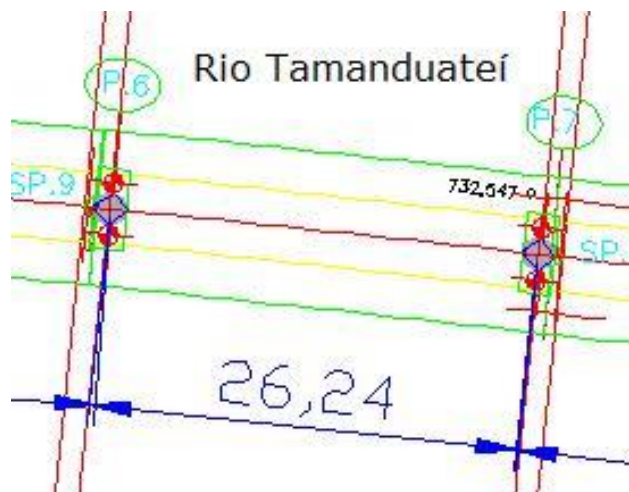


Figura 101: Detalhe da Localização dos Pilares junto ao Rio Tamanduateí.

Já para a definição dos dois primeiros vãos foi-se necessário estabelecer o comprimento da treliça metálica a ser utilizada no método construtivo. Definiu-se, portanto que a treliça teria 60% do comprimento do vão típico, e logo 25 metros. Ademais desta informação, é necessário estipular o peso por metro linear da treliça metálica. Tal valor foi estimado baseando-se no projeto da ponte da CESP sobre o córrego Três Irmãos, o que levou a um valor de aproximadamente 1,2 tf/m. Tal valor será confrontado posteriormente quando o grupo definir os detalhes da treliça metálica.

Assim, estabeleceu-se o equilíbrio da primeira fase da obra empurrada tal que o momento no primeiro apoio fosse nulo, ou seja, não houvesse a tendência ao tombamento:

- ✓ $\gamma_{conc} = 2,5 \text{ tf/m}^3$;
- ✓ $\rho_{treliça} = 1,2 \text{ tf/m}$;
- ✓ $A_{st} = 5,28 \text{ m}^2$;
- ✓ $L_{treliça} = 25 \text{ m}$;
- ✓ $L_{aduela} = 21 \text{ m}$.

Eq.:

$$L_{treliça} \cdot \rho_{treliça} \cdot \left(L_{vão} - \frac{L_{treliça}}{2} \right) + \gamma_{conc} \cdot A_{ST} \cdot \frac{(L_{vão} - L_{treliça})^2}{2} \leq \gamma_{conc} \cdot A_{ST} \cdot \frac{(L_{aduela} - L_{vão} + L_{treliça})^2}{2}$$

$$25 \cdot 1,2 \cdot \left(L_{vão} - \frac{25}{2} \right) + 2,5 \cdot 5,28 \cdot \frac{(L_{vão} - 25)^2}{2} \leq 2,5 \cdot 5,28 \cdot \frac{(21 - L_{vão} + 25)^2}{2}$$

$$L_{vão} \leq 33,3 \text{ m}$$

O grupo adotou, portanto que o pilar fica disposto tal que haja uma divisão dos vãos com o primeiro vão de 28 metros e o subsequente de 33,5 metros. Deste modo tem-se a seguinte disposição final dos pilares:

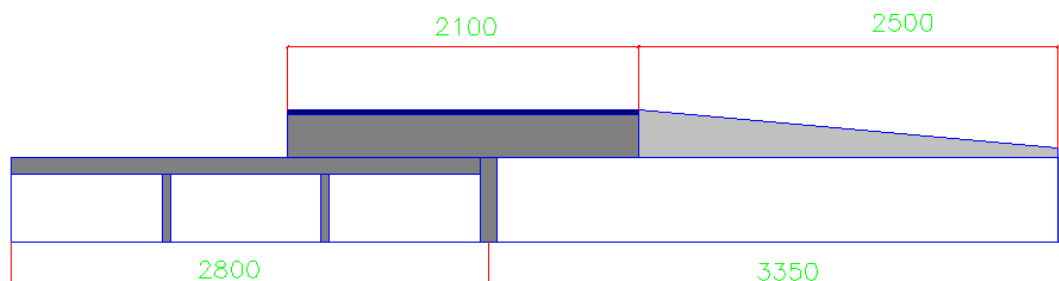


Figura 102: Detalhe da Locação dos Pilares na Região do Emboque.

Uma vez definida a disposição dos pilares tem-se que definir as dimensões dos elementos da estrutura a ser modelada. Tais dimensões foram obtidas através de um pré-dimensionamento apenas, de modo que o grupo está ciente de que seriam necessários cálculos mais aprofundados para um dimensionamento mais adequado e coerente com a estrutura real. Abaixo apresentamos os cálculos preliminares em função dos elementos estruturais, desde as fundações até a superestrutura, incluindo suas respectivas condições de vinculação.

14.1.1.2. Fundação

A fundação do Elevado Tamanduateí será de estacões escavados preenchidos de concreto com f_{ck} de 20 MPa. A escolha da fundação em estacões se deve principalmente ao alto desempenho para grandes cargas, a disponibilidade de equipamentos no mercado e a familiaridade com as técnicas de execução. Em um capítulo adiante a questão dos estacões escavados será tratada mais detalhadamente. Cabe neste momento explicitar as dimensões adotadas para a modelagem computacional.

Assim, foi-se adotado preliminarmente estacões com diâmetro de 120 cm e comprimento de 20 metros. O diâmetro foi definido baseando-se na sugestão do professor orientador, o qual possui maior conhecimento das cargas as quais virão a carregar as fundações. Contudo, tal valor não é definitivo e será confirmado adiante com auxílio dos métodos de cálculo de fundações profundas de Aoki e Velloso. Se por

ventura não forem satisfeitas as condições estabelecidas por norma para as fundações, o modelo será realimentado com as novas dimensões dos estacões.

O pré-dimensionamento do comprimento do estação foi feito pelo método empírico baseado no SPT da região, tal que:

$$1,5 \cdot \sigma_{conc} \leq \sum N_{SPT}$$

Segundo a norma NBR 6122 o valor de σ_{conc} para estações de 120 cm de diâmetro está entre 5 e 6 MPa. Assim, para o cálculo preliminar utilizou-se 6 MPa, que resultará uma tensão a ser superada pela somatória de SPT de 900 tf/m². A tabela abaixo indica os perfis de sondagem disponíveis e o respectivo cálculo do comprimento necessário:

Tabela 32: Estimativa do Comprimento Mínimo das Fundações.

SONDAGEM 1					SONDAGEM 2					SONDAGEM 3				
SPT	ΣSPT	Z (m)	L (m)	Teste	SPT	ΣSPT	Z (m)	L (m)	Teste	SPT	ΣSPT	Z (m)	L (m)	Teste
0	0	729.768	1	CONTINUAR	0	0	731.618	1	CONTINUAR	0	0	732.616	1	CONTINUAR
0	0	728.768	2	CONTINUAR	0	0	730.618	2	CONTINUAR	0	0	731.616	2	CONTINUAR
0	0	727.768	3	CONTINUAR	7/29	7	729.618	3	CONTINUAR	0	0	730.616	3	CONTINUAR
3/24	4	726.768	4	CONTINUAR	3/25	11	728.618	4	CONTINUAR	1/30	1	729.616	4	CONTINUAR
2	6	725.768	5	CONTINUAR	2/25	13	727.618	5	CONTINUAR	2	3	728.616	5	CONTINUAR
6/25	13	724.768	6	CONTINUAR	2	15	726.618	6	CONTINUAR	14	17	727.616	6	CONTINUAR
21	34	723.768	7	CONTINUAR	3	18	725.618	7	CONTINUAR	22	39	726.616	7	CONTINUAR
33	67	722.768	8	CONTINUAR	4/29	22	724.618	8	CONTINUAR	21	60	725.616	8	CONTINUAR
36	103	721.768	9	CONTINUAR	22	44	723.618	9	CONTINUAR	21	81	724.616	9	CONTINUAR
46/22	166	720.768	10	CONTINUAR	41	85	722.618	10	CONTINUAR	50	131	723.616	10	CONTINUAR
20/10	226	719.768	11	CONTINUAR	41	126	721.618	11	CONTINUAR	50	181	722.616	11	CONTINUAR
53/25	289	718.768	12	CONTINUAR	40	166	720.618	12	CONTINUAR	42	223	721.616	12	CONTINUAR
10/11	317	717.768	13	CONTINUAR	53	219	719.618	13	CONTINUAR	46	269	720.616	13	CONTINUAR
20/06	417	716.768	14	CONTINUAR	60	279	718.618	14	CONTINUAR	35/13	350	719.616	14	CONTINUAR
30/15	477	715.768	15	CONTINUAR	56	335	717.618	15	CONTINUAR	63/23	432	718.616	15	CONTINUAR
32/15	541	714.768	16	CONTINUAR	62	397	716.618	16	CONTINUAR	35/13	513	717.616	16	CONTINUAR
30/12	591	713.768	17	CONTINUAR	59	456	715.618	17	CONTINUAR	34/08	640	716.616	17	CONTINUAR
30/15	651	712.768	18	CONTINUAR	35/10	561	714.618	18	CONTINUAR	30/03	940	715.616	18	OK
50/21	722	711.768	19	CONTINUAR	34/11	654	713.618	19	CONTINUAR	35/13	1021	714.616	19	OK
30/15	782	710.768	20	CONTINUAR	58/25	724	712.618	20	CONTINUAR	51	1072	713.616	20	OK
30/10	872	709.768	21	CONTINUAR	30/05	904	711.618	21	OK	57	1129	712.616	21	OK
47/17	955	708.768	22	OK	34/11	996	710.618	22	OK	62	1191	711.616	22	OK
30/15	1015	707.768	23	OK	60	1056	709.618	23	OK	66	1257	710.616	23	OK
30/11	1097	706.768	24	OK	60/25	1128	708.618	24	OK	35/10	1362	709.616	24	OK
20/04	1247	705.768	25	OK	33/13	1205	707.618	25	OK	60	1422	708.616	25	OK
30/05	1427	704.768	26	OK	30/02	1655	706.618	26	OK	62/20	1515	707.616	26	OK
30/10	1517	703.768	27	OK	48/20	1727	705.618	27	OK	35/15	1585	706.616	27	OK
30/05	1697	702.768	28	OK	47/18	1805	704.618	28	OK	62/25	1659	705.616	28	OK
30/06	1847	701.768	29	OK	43/20	1869	703.618	29	OK	33/12	1742	704.616	29	OK
28/15	1903	700.768	30	OK	61/17	1977	703	30	OK	30/09	1842	703.616	30	OK

Logo, chegou-se à conclusão de que estacas de 20 metros satisfaziam o comprimento necessário para o pré-dimensionamento. Ressalta-se, contudo, que este não é o método mais adequado para o dimensionamento final das fundações e que tal

atividade foge do escopo deste capítulo, o qual se limitará a verificar se para as cargas obtidas no modelo espacial, o pré-dimensionamento está suficiente ou não.

Para a representação no modelo plano, considerou-se um bloco com dois estações, tal que estes apresentassem área e inércias equivalentes às do conjunto original de 4 estações. Ou seja, foram dispostos no modelo estações com área e inércia multiplicadas por dois em relação àquelas correspondentes ao diâmetro de 120 cm.

14.1.1.3. Pilares

O Elevado Tamanduateí apresenta 9 pilares dispostos ao longo de sua estrutura. Tais pilares possuem alturas variáveis tal que os pilares mais baixos encontram-se próximos ao emboque do túnel e os mais altos próximos à Estação Tamanduateí. Além disso, tais pilares foram definidos com paredes inclinadas, o que apesar de oferecer maior dificuldade construtiva e de fôrmas, concederá uma paisagem mais agradável ao usuário e àqueles que utilizam a região do entorno. O concreto adotado é de $f_{ck} = 40$ MPa.

Para definir as dimensões dos pilares fixou-se primeiramente que todos os pilares teriam a mesma inclinação das paredes e que a dimensão superior de todos seria limitada pela dimensão da laje de fundo da seção caixão, ou seja, 4,5 metros. Ademais, fixou-se que, na outra dimensão, os pilares teriam 1 metro de largura, o que o grupo considerou adequado, tanto esteticamente quanto estruturalmente.

Ressalta-se que tais valores fazem parte de um pré-dimensionamento e não do dimensionamento final, o que não se trata do escopo deste relatório. Portanto, tais dimensões servirão como base para a modelagem computacional, a qual tem por objetivo final fornecer subsídios ao dimensionamento da superestrutura apenas.

Assim, os pilares foram dimensionados um a um e suas dimensões estão explicitadas na tabela abaixo:

Tabela 33: Dimensões dos Pilares.

Pilares	Altura(m)	Lado _{inf} (m)	Inclinação	1:V	Base (m)
1	12.46	3.50	4.0%	1:25	1X3.5
2	11.46	4.42	4.0%	1:25	1X4.4
3	10.41	5.26	4.0%	1:25	1X5.3
4	9.47	6.02	4.0%	1:25	1X6.0
5	8.48	6.70	4.0%	1:25	1X6.7
6	7.48	7.30	4.0%	1:25	1X7.3

Pilares	Altura(m)	Lado _{inf} (m)	Inclinação	1:V	Base (m)
7	6.86	7.85	4.0%	1:25	1X7.9
8	5.86	8.32	4.0%	1:25	1X8.3
9	5.06	8.72	4.0%	1:25	1X8.8

A fim de simplificar a modelagem computacional foram lançados pilares de dimensões constantes. A definição da dimensão que melhor representasse os pilares baseou-se no diagrama de tensões das quais os pilares estariam sendo submetidos, ou seja, esforços de flexo-compressão. À favor da segurança, o grupo considerou a seção localizada à um terço da altura total do pilar como representativa destes no modelo computacional, considerando assim que o diagrama de momento fletor é crítico para a obtenção da inércia equivalente. Tais propriedades estão dispostas na tabela a seguir:

Tabela 34: Propriedades dos Pilares Inseridas no Modelo Computacional.

Pilares	Altura(m)	L X B _{mod} (m)	I (cm ⁴)	A (cm ²)
1	12.46	3.8 X 1.0	4.69	3.83
2	11.46	3.9 X 1.0	4.89	3.89
3	10.41	3.95 X 1.0	5.11	3.94
4	9.47	4.0 X 1.0	5.31	3.99
5	8.48	4.05 X 1.0	5.52	4.05
6	7.48	4.1 X 1.0	5.74	4.10
7	6.86	4.15 X 1.0	5.88	4.13
8	5.86	4.2 X 1.0	6.11	4.19
9	5.06	4.25 X 1.0	6.30	4.23

14.1.1.4. Blocos

Os elementos a serem levados em conta para o dimensionamento dos blocos são os estações e os pilares. Os estações e os pilares, definidos nos itens acima, irão condicionar a biela de concreto, a qual servirá para conduzir os esforços de compressão provenientes dos pilares até a fundação. Além disso, as dimensões dos estações também são importantes para a definição das dimensões em planta do bloco, as quais são recomendadas em norma, para resultarem na configuração de quatro estações/bloco disposta abaixo:

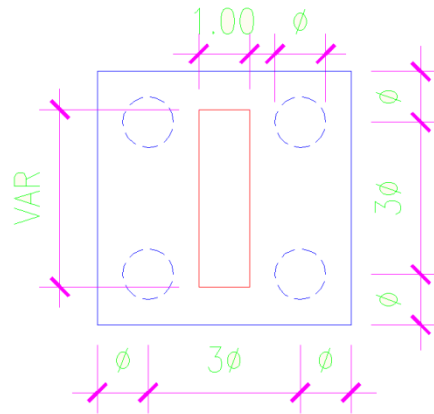


Figura 103: Dimensão Usual dos Blocos de Fundação em Função do Diâmetro Φ da Estaca.

Para o cálculo da altura do bloco, a norma baseia-se principalmente na limitação da angulação da biela de concreto, conforme demonstrado na figura abaixo:

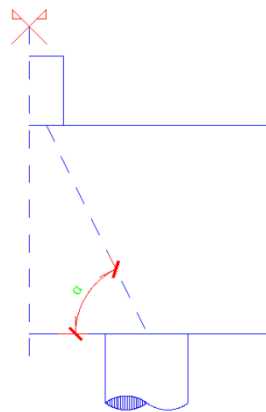


Figura 104: Ângulação da Biela de Concreto.

Tal que o ângulo α deve ser superior 45° e inferior à 55° . Assim desenvolveu-se a formulação abaixo resultando num intervalo recomendado para dimensões de altura do bloco:

$$d_{x,y} = \left(\frac{B}{2} - \frac{b_p}{2} \right)_{x,y}$$

$$L = \sqrt[2]{(d_x^2 + d_y^2)} = \sqrt[2]{(1,55^2 + 1,05^2)} = 1,872 \text{ m}$$

$$tg(45^\circ) \leq tg(\theta) \leq tg(55^\circ)$$

$$tg(\theta) = \frac{H_b}{L} = \frac{H_b}{1,872}$$

Para:

$d_{x,y}$ = distância entre o CG de um quadrante do pilar até o CG do estação (em planta e em cada direção);

B = distância, em planta, entre CGs de dois estações numa mesma direção. Neste caso, B vale $1,5\Phi$;

b_p = lado do pilar nas direções x e y em planta. Neste caso, b_p vale 3 m na direção y e 1 m na direção x, correspondendo à situação crítica (uma vez que temos dimensões variadas dos pilares);

L = valor da diagonal do retângulo de dimensões d_x e d_y ;

Θ = ângulo de inclinação com a horizontal da biela de concreto;

H_b = altura do bloco.

Assim:

$$1,872 \text{ m} \leq H_b \leq 2,673 \text{ m}$$

Portanto, adotou-se um bloco de 6 X 6 X 2,3 m.

14.1.1.5. Aparelhos de apoio.

Para o Elevado Tamanduateí foram previstos dois tipos de aparelhos de apoio: aparelhos elastoméricos fretados e aparelhos metálicos. Os últimos foram dispostos nos dois pilares extremos, enquanto os aparelhos elastoméricos fretados foram dispostos nos demais. Tal configuração foi adotada para que, com o uso dos aparelhos metálicos nos dois pilares de extremidade, fosse reduzido o comprimento resistente à dilatação linear e demais propagações de esforços horizontais, tal que a máxima distorção no aparelhos de apoio de neoprene fretado fosse menor, ocorrendo agora nos pilares P2 e P8. Ao mesmo tempo, não se adotou aparelhos metálicos em todos os pilares devido ao custo implicado nesta solução, apesar da menor necessidade de manutenção e para efeito acadêmico, a fim de estudar os dois tipos de aparelho de apoio.

Os aparelhos metálicos impõem um vínculo entre a superestrutura e os pilares apenas na direção normal a estes, de modo que o deslocamento na direção longitudinal e a rotação ficam livres. A figura abaixo ilustra um detalhe da representação do aparelho de apoio metálico no programa STRAP:

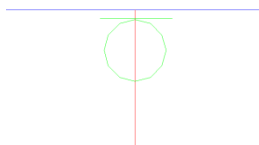


Figura 105: Representação do Aparelho de Apoio Metálico no Modelo Computacional.

Já a representação do aparelho de apoio elastomérico fretado exige maior detalhamento. Primeiramente, há que se definir as dimensões deste, de acordo com os deslocamentos horizontais induzidos, o número de aparelhos por pilar, as características do material e as dimensões disponíveis no mercado. Para tal, definiu-se que haveria 2 aparelhos/pilar e seria adotado como típico aparelhos de apoio de dimensões 60 X 60 cm.

Como no software STRAP não existe uma propriedade equivalente à do neoprene fretado, foi necessário introduzir um elemento que representasse o aparelho de apoio real. Para tal adotou-se as seguintes propriedades:

- ✓ $F_{ck} = 40 \text{ MPa}$;
- ✓ $E_{conc} \approx 30 \text{ GPa}$;
- ✓ $E_f = 1 \text{ GPa}$ (à favor da segurança, menor do que valores usuais de E_f , usuais entre 2 e 5 GPa);
- ✓ Dureza Shore 60 $\rightarrow G = 1 \text{ GPa}$.

Objetivou-se introduzir um elemento que tivesse rigidez transversal compatível com a rigidez transversal do neoprene fretado e rigidez à solicitação normal também compatível com a do aparelho de apoio, ou seja:

$$\frac{N \cdot G \cdot A_H}{h_b} = \frac{3 \cdot E_{conc} \cdot I}{h^3}$$

$$\frac{2 \cdot 1 \cdot (0,6 \cdot 0,6)}{0,06} = \frac{3 \cdot 30104 \cdot I}{0,06^3}$$

$$I = 2,87 \text{ cm}^4$$

$$E_{conc} \cdot A_{conc} = N \cdot E_f \cdot A_H$$

$$30,10488 \cdot A_{conc} = 2 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 0,6$$

$$A_{conc} = 240 \text{ cm}^2$$

Para:

N: N° de aparelhos de apoio (2);

A_H: Área em planta do aparelho de apoio (60 X 60 cm);

h_b: Altura do aparelho de apoio : estimado em 6 cm;

h: Altura do elemento representativo (6 cm);

I: inércia equivalente a ser disposta no elemento;

E_{conc} e G: conforme definidos anteriormente.

Observa-se que há um problema iterativo quanto à representação do aparelho de apoio no modelo, uma vez que a inércia equivalente depende da altura deste, a qual depende do deslocamento horizontal no topo do aparelho de apoio, uma vez imposta a distorção máxima de 0,5, o qual depende por sua vez da inércia adotada. Assim, se faz necessário estimar uma altura inicial de aparelho de apoio, alimentar o modelo com esta e iterá-la até que se obtenha uma distorção, nos aparelhos de apoio mais solicitados, menor do que 0,5.

Ou seja, o esforço solicitante devido à dilatação da viga pela temperatura não irá solicitar apenas o aparelho de apoio, mas sim todo o conjunto do apoio, o qual responderá de acordo com sua rigidez equivalente (fundação + bloco + pilar + aparelho de apoio). Como tal rigidez não foi calculada analiticamente, o grupo lançou mão do próprio modelo plano para avaliar quanto da deformação total no topo do apoio era proveniente da flexão do pilar e quanto era proveniente da distorção do aparelho. Assim, dados os valores de I e de A, calculados conforme as equações acima, para cada h_{neo} estimado, e dado o h_{neo} no modelo, avaliou-se as distorções no aparelho de apoio, objetivando um h_{neo} que levasse a tais distorções menores do que 0,5.

Para efeito deste relatório, demonstrou-se aqui o valor de h_{neo} final, ou seja, que satisfaz os objetivos acima expostos.

14.1.1.6. Superestrutura

A seção transversal da superestrutura foi definida no capítulo “Estudo do Material Rodante e da Superestrutura Ferroviária”, conforme critérios do metrô e estruturais, os quais estão explicitados no referido capítulo. Abaixo, apresentamos novamente a seção transversal da viga, já em conjunto com os demais subsistemas:

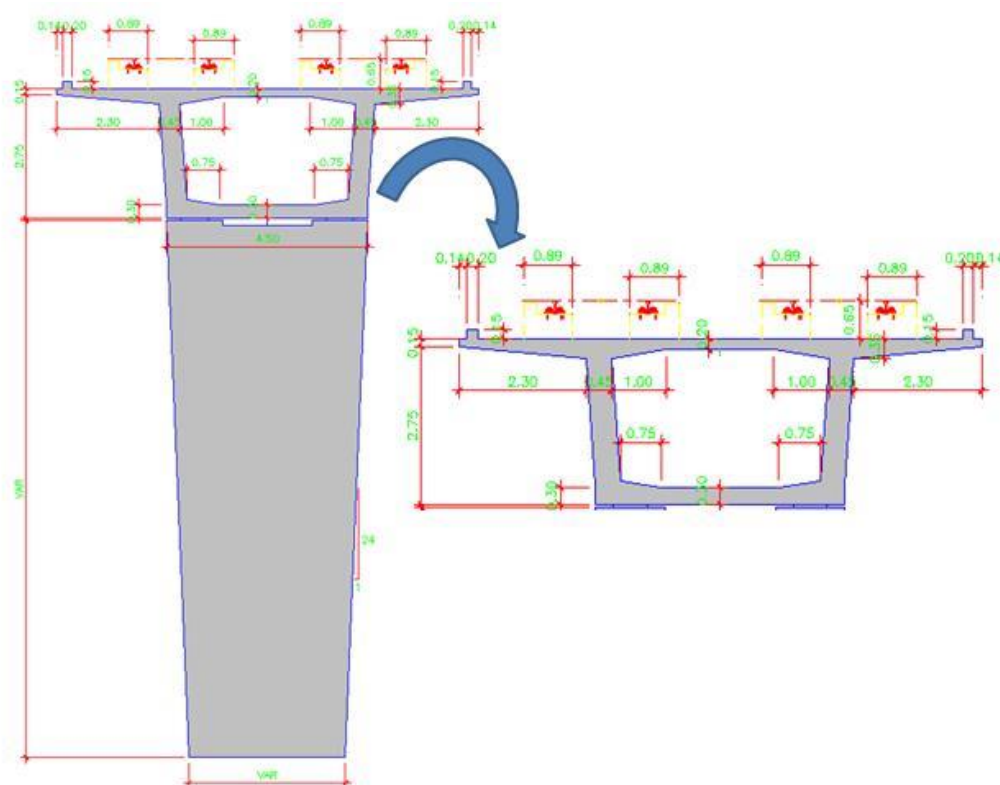


Figura 106: Ilustração do Conjunto da Meso e Superestrutura do Elevado.

Tal seção transversal possui uma inércia de aproximadamente $6,5 \text{ m}^4$ e uma área de $5,17 \text{ m}^2$. Além disso, adotou-se concreto com f_{ck} de 40 MPa. A fim de modelar adequadamente a superestrutura, considerou-se uma viga contínua, apoiada nos aparelhos de apoio e nas extremidades, apoiada na estação e no emboque do túnel.

14.1.1.7. Condições de Vinculação

A representação da vinculação real do Elevado Tamanduateí foi obtida através da observação das condições reais e do auxílio de relações empíricas que representassem a resistência transversal do solo.

Nas extremidades da superestrutura se dispôs de apoios móveis, os quais representam a situação da superestrutura “apoiando” tanto na Estação Tamanduateí quanto no emboque do túnel rumo à Estação Vila Prudente. Tal vinculação representa a impossibilidade de movimentação na direção vertical, mas a liberdade de movimentação na direção horizontal, a qual por mais que seja pequena e restrita ocorre nas situações de retração, fluência e variação de temperatura.

Nas extremidades inferiores dos estacões, ou seja, nos apoios verticais das fundações, foram adotados também apoios móveis, com restrições apenas na direção vertical. Acredita-se que com tal vinculação representa-se a situação real, tal que o estacão tem sua resistência aos deslocamentos transversais concedida apenas pelas molas, a serem descritas a seguir, e não na ponta, tal que a fundação não está engastada no solo, a favor da segurança.

Finalmente tem-se a vinculação elástica dos estacões, representadas por molas na direção horizontal, perpendiculares ao eixo dos mesmos. Tais molas foram dimensionadas em função dos perfis de sondagem e do diâmetro dos estacões, segundo a equação abaixo:

$$K_{mola} = K_{solo} \cdot b \cdot \phi$$

Onde b é a altura da área de influência (considerada unitária), Φ é o diâmetro do estacão, no caso do estacão equivalente disposto no modelo (ou seja, $\Phi_e = 2\Phi$) e K_{solo} é dado pela equação empírica:

$$K_{solo} = \frac{300 \cdot SPT}{1,5 \cdot \phi}$$

onde ϕ é o diâmetro do estacão e SPT é o número de golpes.

Portanto, a tabela abaixo apresenta os valores de mola calculados conforme descrito acima para cada agrupamento de sondagem:

Tabela 35: Dimensionamento das Molas.

	Sondagem 1			Sondagem 2			Sondagem 3		
Profundidade (m)	SPT médio	K solo (tf/m ³)	K mola (tf/m)	SPT médio	K solo (tf/m ³)	K mola (tf/m)	SPT médio	K solo (tf/m ³)	K mola (tf/m)
0 a 6	2	179.9	431.7	3	211.7	508.0	3	236.1	566.7
6 a 10	38	3181.8	7636.4	18	1461.2	3506.9	29	2375.0	5700.0
10 a 20	62	5135.8	12326.0	64	5319.4	12766.5	94	7841.5	18819.6

Na tabela a seguir estão dispostos os valores de mola que foram adotados no modelo. Ressalta-se que, apesar de haver adotado os menores valores de K_{mola} , esperando a menor resistência aos deslocamentos na fundação, o grupo está ciente de que isto reduzirá a rigidez do conjunto como um todo, o que pode levar a uma variação nas solicitações dos demais elementos devido a tal redução.

Tabela 36: Valores de K_{mola} Inseridos no Modelo Computacional.

Profundidade (m)	SPT médio	K solo (tf/m ³)	K mola (tf/m)
0 a 6	2	179.9	431.7
6 a 10	18	1461.2	3506.9
10 a 20	62	5135.8	12326.0

Enfim, dadas as disposições geométricas definidas nos subitens acima, têm-se o modelo do Elevado Tamanduateí, para a obra definitiva, conforme a figura abaixo:

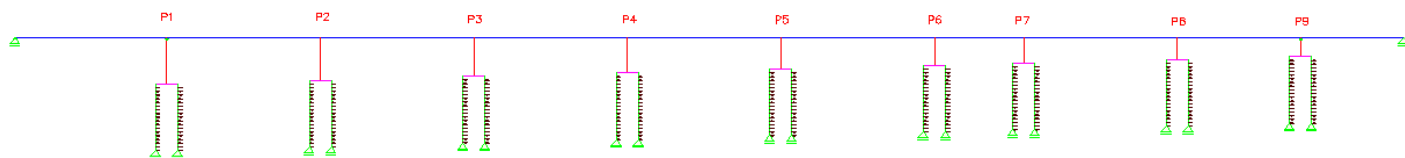


Figura 107: Esquema Geral do Modelo Longitudinal Representativo da Obra Pronta.

14.1.2. Carregamento Atuante

14.1.2.1. Cargas Permanentes

As cargas permanentes a serem consideradas para a obra pronta são o peso próprio da aduela, os acabamentos do pré-moldado de concreto e de barreira acústica, além do peso referente aos apoios dos trilhos. A tabela abaixo apresenta os valores das cargas mencionadas, tal que para as cargas de acabamentos adotaram-se valores usuais propostos tanto pela NC03/80 do Metrô, quanto pela EGT Engenharia.

Tabela 37: Valores de Cargas Permanentes para o Modelo de Obra Pronta.

Carga	Nome	Valor	Unidade
Peso Próprio	$g_1 = A_{ST} \cdot \gamma_{conc}$	12.925	tf/m
Apoio Trilhos	g_2	7.5	tf/m
Barreira		1.8	tf/m
Pré-moldados		2	tf/m
Total	$g_1 + g_2$	24.225	tf/m

14.1.2.2. Cargas Variáveis

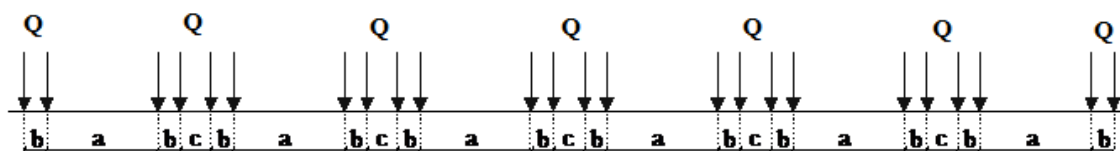
A estrutura do Elevado Tamanduateí será solicitada pelas seguintes cargas variáveis: multidão na passagem de emergência, trem-tipo do Metrô, frenação e

aceleração, colisão nos pilares e vento (sendo que estas últimas, a título de simplificação, não foram consideradas). Tais cargas serão descritas abaixo, de modo que o grupo baseou-se na norma NC03/80 do Metrô para a obtenção dos valores a serem considerados.

Não foi considerada força centrífuga, pois se admitiu a geometria da ponte como reta, tampouco se admitiu o impacto lateral, pois tal carga resulta transversal ao eixo longitudinal da superestrutura, não conseguindo representá-la no modelo plano. Como o comprimento da obra entre juntas de dilatação é de cerca de 377m, serão previstas juntas nos trilhos nas extremidades do elevado, de modo que, neste trecho, os trilhos estejam comprimidos, assim por evitar forças elevadas na meso e infra-estrutura em caso de ruptura de trilhos e, portanto as cargas dos trilhos serão desconsideradas.

A multidão na passagem de emergência é dada por uma carga por unidade de área de $0,5 \text{ tf/m}^2$. Uma vez que está prevista uma largura de passagem de emergência de 0,8 m, nos dois lados do tabuleiro, obtém-se uma carga distribuída de $0,8 \text{ tf/m}$, a qual deverá ser disposta nas regiões que provoquem maiores esforços na superestrutura e fundações. Tais situações são analisadas através do conceito de linha de influência, de modo que o grupo plotou todas as linhas de influência significativas para obter os momentos máximos positivos e negativos, além da maior carga na fundação, e carregou-as de acordo com os exemplos dispostos em anexo neste relatório.

O trem tipo adotado já foi apresentado no capítulo “Estudo do Material Rodante e da Superestrutura Ferroviária” deste relatório e representa a versão mais atualizada do que os valores sugeridos pela NC03/80 do Metrô, dado que houve uma atualização da frota na Linha 2 – Verde. Independentemente apresenta-se abaixo o trem-tipo utilizado na modelagem matemática:



Tal que:

- ✓ $a = 13,1$ metros
- ✓ $b = 2,59$ metros
- ✓ $c = 3,56$ metros
- ✓ $Q = \text{Carga Unitária por Eixo} = 17,5 \text{ tf}$

Também para o carregamento de trem-tipo foi necessário analisar as situações de posicionamento críticas, as quais levariam aos maiores esforços de momento fletor e de força normal na infra-estrutura. Para tal analisou-se as linhas de influência dos pontos de interesse e que resultariam nos diagramas de interesse para posterior análise. Ademais, como se tem duas vias sobre o Elevado Tamanduateí, o grupo adotou a concomitância de dois trens, num mesmo posicionamento sobre a via, de modo que a carga unitária de 17,5 tf/eixo foi multiplicada por dois, a fim de analisar a favor da segurança, a situação idealizada.

Além disso, há também cargas de frenação e de aceleração decorrentes da passagem do trem-tipo sobre o Elevado, principalmente dado que este está diretamente conectado à Estação Tamanduateí, ou seja, numa região de variação da velocidade dos trens, seja por estes estarem se aproximando ou partindo da Estação. Para efeito de cálculo, considerou-se a situação crítica de, numa mesma posição, haver um trem-tipo acelerando e um trem-tipo freando.

A norma do Metrô NC03/80 recomenda cargas longitudinais de 2,15 tf para frenação e de 1,95 tf para aceleração do trem-tipo. Contudo, como estas cargas dependem do peso por eixo do trem-tipo, chegou-se à conclusão de que tais cargas estariam abaixo das reais atuantes com a adoção dos novos trens por parte do Metrô. Logo realizou-se uma interpolação linear, chegando aos novos valores de 2,69 tf para frenação e 2,44 tf para aceleração. As cargas foram dispostas no modelo nas mesmas posições do trem-tipo críticos, segundo a recomendação da NC03/80 do Metrô.

A carga de colisão dos pilares é de 100 tf a uma altura de 1,2 m acima do nível de tráfego e representa significativo esforço nos pilares e por consequência na infra-estrutura do Elevado. As cargas de vento devem, quando consideradas, ser extraídas da NBR 6123 (Forças Devido ao Vento em Edificações). Ambas as cargas mencionadas não foram consideradas no modelo plano do STRAP, por constituírem-se de cargas transversais ao mesmo. Contudo, por serem cargas consideráveis no pilares e na fundação, devem ser, em projetos mais detalhados e através do cálculo analítico em conjunto com as saídas do programa, serem consideradas de modo a auxiliar na verificação da fundação.

14.1.2.3. Efeitos do Concreto, Gradiente e Variação de Temperatura.

Uma estrutura de concreto de tamanho porte certamente induz a esforços significativos de retração e fluência, os quais não podem ser desconsiderados nesta análise. Contudo, devido às limitações deste trabalho, tais esforços não foram calculados detalhadamente, de modo que se lançou mão de um acréscimo de variação de temperatura a fim de representá-los corretamente no modelo. Tal acréscimo foi estimado em torno de 35°C , a ser somado com o valor de temperatura.

A variação de temperatura propriamente dita para a cidade de São Paulo foi considerada de 15°C , o que se trata de um valor muito usual em projetos. Assim, tem-se que o modelo deverá ser alimentado com uma carga de variação de temperatura equivalente a $15+35 = 50^{\circ}\text{C}$ a ser disposta ao longo de todo o tabuleiro do Elevado.

Além do fenômeno de variação de temperatura, há que se levar em consideração a variação diferencial de temperatura entre a face superior e inferior do tabuleiro, ou seja, o esforço de gradiente. Para representar adequadamente tal esforço no modelo plano utilizou-se o valor de $5,5^{\circ}\text{C}$ de gradiente, o que caracteriza uma variação adequada na análise deste Elevado e sugeria pela equipe da EGT Engenharia, a qual serviu de orientação neste âmbito.

Tais esforços induzirão a cargas nas meso e infra-estrutura, uma vez que foram escolhidos aparelhos de apoio elastomérico fretados. Contudo, nos dois pilares de extremidade, os quais possuem aparelho de apoio metálico, espera-se que não haja solicitações induzidas por tais esforços, dado que tais aparelhos não devem transferir cargas longitudinais às estruturas subjacentes.

14.2. *Obra Provisória*

Por se tratar de uma obra empurrada, a superestrutura estará submetida a esforços particulares de seu método construtivo. Tais esforços são consideráveis e, portanto devem ser analisados no modelo computacional, de modo a investigar as piores solicitações da super e infra-estruturas resultando em posterior armadura ativa de fase construtiva. Abaixo apresentaremos os parâmetros e geometria utilizados na análise.

14.2.1. Aspectos Geométricos

Os aspectos geométricos da obra provisória são em parte distintos daqueles da obra pronta, uma vez que a estrutura está sendo “empurrada” ao longo de toda a sua

extensão. Logo, os modelos longitudinais a serem estudados deverão ser outros, tais que avaliem os pontos críticos provenientes da fase de construção. Além destes, também as condições de contato entre a super e a meso-estrutura deverão ser reavaliadas a fim de melhor representar o “telefone” utilizado em obra. Para efeito de modelo computacional, considerou-se apenas cargas verticais de peso próprio, sendo acrescentadas posteriormente em cálculo analítico as forças de atrito devido à atividade de “empurre” sobre os aparelhos de apoio. Assim, nestes modelos computacionais de fase construtiva o aparelho de apoio no modelo não é importante, e por isto considerou-se um contato direto pilar-superestrutura.

A respeito dos demais elementos que compõem a estrutura, como fundações, blocos, pilares, entre outros, não houve modificações consideráveis entre a obra pronta e o estudo das fases construtivas. Ou seja, as dimensões dos pilares, blocos e estações se mantiveram as mesmas daquelas utilizadas na obra pronta e descritas nos itens acima. O mesmo ocorreu com a superestrutura, a qual se manteve com a mesma seção transversal já apresentada anteriormente. Portanto, os componentes que sofreram maiores modificações foram os aparelhos de apoio (já mencionados acima) e a introdução no modelo de um elemento metálico que representasse o bico metálico a ser utilizado na atividade de empurre.

14.2.1.1. Modelos Longitudinais

A obra empurrada tem a peculiaridade de passar por todos os pontos da estrutura, apoios e meios de vão, de modo que uma mesma aduela é solicitada tanto por momentos positivos, quanto por momentos negativos altos. Assim, estudou-se diversos modelos longitudinais que representassem as situações críticas de momento positivo e de momento negativo, discretizando cada passo da superestrutura a cada 5 metros.

Os modelos que forneceram os momentos críticos foram os dois dispostos abaixo:

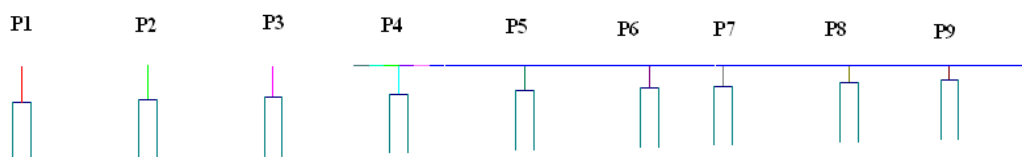


Figura 108: Posicionamento da Superestrutura que Conduz ao Máximo Momento Positivo.

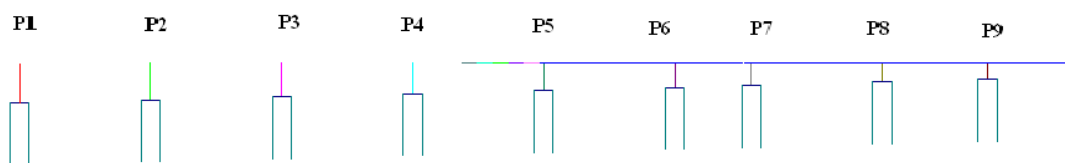


Figura 109: Posicionamento da Superestrutura que Conduz ao Máximo Momento Negativo.

14.2.1.2. Bico Metálico

O dimensionamento do bico metálico foi realizado de modo iterativo, em que considerou-se preliminarmente um peso linear de treliça de 1,2 tf/m. Isto será importante pois o bico metálico será dimensionado para resistir às situações de momento negativo e positivo críticos localizados na região do contato entre este e a superestrutura. Iniciou-se o dimensionamento por este primeiro, considerando o bico metálico completamente em balanço, ou seja:

$$M^- = 1,2 \cdot \frac{25^2}{2} \cong 375 \text{ tfm}$$

Logo, para resistir a tal momento deve-se prever uma ligação que resulte num binário, balanceando a seção. Considerando um braço de alavanca de 2,80 m (pouco menor do que a altura da seção de 2,90 m) tem-se que a força reativa necessária deverá ser de 67 tf/alma. Por facilidade, previmos uma armação do tipo Diwydag, de 2Φ32 (cada Φ com 8,0 cm² e $f_y = 8,0 \text{ tf/cm}^2$) adotando fator $\gamma_f = 1,2$. Ressalta-se que se houver problemas de disposição de tal armação na seção transversal da viga também pode-se prever uma amadura em cabos protendidos em lugar do Diwydag, o que não será escopo deste relatório.

Para o ponto de máximo momento positivo na região do contato, fez-se primeiramente uma estimativa do valor de tal momento, dado que trata-se de um dimensionamento preliminar. Logo, estimou-se um momento positivo de 1200 tfm, que solicitará a seção de contato e deverá ser resistido pelo binário introduzido pelas barras Diwydag. Obteve-se um valor de força de binário de 214 tf/alma, muito superior àquela prevista para o momento negativo. Adotando-se as mesmas propriedades anteriores tem-se que será necessário 6Φ32 para conceder tal força.

Ressalta-se que neste relatório não foi considerada uma etapa muito crítica da zona de contato: o apoio quase completo da superestrutura no pilar. Isto se deve, pois tal etapa representa uma enorme cortante à treliça, uma vez que o vão está quase que

totalmente preenchido pela viga de concreto, a qual representa um esforço muito superior ao da treliça metálica, de modo que nesta situação as almas da treliça metálica serão solicitadas por cortantes muito altas e próximas daquelas da fase final.

O grupo não analisou tal situação, pois tratava-se de um pré-dimensionamento, de modo que se espera que o esforço de ancoragem necessária na situação de proximidade ao apoio não seja excessivamente discrepante em relação àquele dado pelo momento positivo, ou seja 214 tf/alma. Também espera-se que a escolha de um perfil mais robusto, seja mais adequado ao grande esforço de cisalhamento. Para efeito deste relatório, executaremos um pré-dimensionamento simples, uma vez que não se trata de dimensionar a treliça (representada de alma cheia), mas sim de bem representá-la no modelo computacional.

Dando prosseguimento ao pré-dimensionamento, adotou-se para os perfis I do bico metálico tensão de escoamento $f_y = 3,45 \text{ tf/cm}^2$, e a distribuição tal que a flexão fosse resistida pelas ancoragens e estas solicitariam apenas as mesas, enquanto as almas seriam solicitadas pelas tensões de cisalhamento, conforme descrito acima. Assim, obteve-se o seguinte equacionamento:

$$A_{Mesa\ Sup} = A_{Mesa\ Inf} = \frac{214 \cdot 1,2}{\frac{3,45}{1,15}} \cong 86 \text{ cm}^2$$

$$\text{Segundo AASHTO, } e_{min\ Alma} = \frac{h}{140} = \frac{2800}{140} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Logo para } e_{alma} = e_{mesa}, \quad A = 86 \text{ cm}^2 = 2 \cdot b \rightarrow b = \frac{86}{2} = 43 \text{ cm}$$

Assim, adotou-se duas chapas contínuas, superior e inferior com a propriedade da mesa dimensionada acima, e entre elas enrijecedores na transversal, com propriedades da alma também dimensionada acima. Pode-se representar um lado do bico metálico em um corte com forma semelhante à de um perfil I:

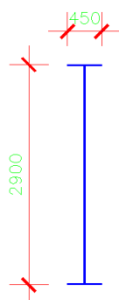


Figura 110: Perfil I Ilustrativo com Espessura de 20 mm.

Cabe recordar que a seção acima é para a região do contato entre o bico metálico e superestrutura, tal que as dimensões do bico vão sendo modificadas ao longo de sua extensão, uma vez que este será menos solicitado nestas regiões. Assim, teremos alturas menores e conseqüentemente espessuras de alma também menores. O peso obtido, uma vez que temos o pré-dimensionamento, foi de:

$$Peso\ Linear = 600 \frac{kg}{m} \cdot 2\ almas \cdot 1,15 = 1,35\ tf/m$$

A constante 1,15 representa o acréscimo de 15% ao peso linear, uma vez que além dos dois perfis metálicos, tem-se duas treliças localizadas nos banzos superior e inferior, que apesar de nestes cálculos não serem de grande relevância, são importantes para a estabilidade estrutural do bico metálico e contribuem no valor do peso linear da ponte.

A tabela abaixo apresenta as 5 seções de perfil I em que o bico metálico foi subdividido, suas dimensões, áreas e inércias, fixando uma declividade constante que parte de 2,90 m até zero no banzo superior:

Tabela 38: Propriedades das Subdivisões do Bico Metálico.

Seção	H (cm)	Bf (cm)	Tf (cm)	Tw (cm)	A (cm ²)	I (cm ⁴)
1	2.90	4.5	2.0	2.0	1504	15262962
2	2.30	4.5	2.0	2.0	1264	8526404
3	1.75	4.5	2.0	1.5	873	3943782
4	1.15	4.5	2.0	1.0	582	1377268
5	0.60	4.5	2.0	0.5	416	307514

Observa-se que estes são valores teóricos e que devem ser contestados com a disponibilidade de tal material no mercado e sua facilidade de aquisição, transporte e montagem na obra.

14.2.2. Carregamento Atuante

O carregamento atuante a ser considerado na obra provisória são os carregamentos devido ao peso próprio dos elementos estruturais e o atrito horizontal nos apoios devido ao esforço imposto para empurrar a viga. Conforme descrito anteriormente, este último será analisado de forma analítica e não será considerado na elaboração do modelo matemático.

O carregamento de peso próprio da estrutura resultou em 12,925 tf/m (disposto na Tabela 37) e foi carregado ao longo de toda a superestrutura de concreto. Além disso, houve que se considerar o carregamento de peso próprio do bico metálico, o qual varia ao longo de sua extensão dada a sua altura variável. Portanto, para efeito do modelo computacional, dividiu-se as características geométricas do bico metálico em 5 segmentos, cada qual com a altura relativa à máxima daquele trecho. A tabela abaixo indica os cálculos e valores utilizados no modelo:

Tabela 39: Carregamentos Inseridos no Modelo de Obra Provisória.

BICO METÁLICO			
Seção	A (cm²)	I (cm⁴)	Peso (tf/m)
1	1504	1.5E+07	1.35
2	1264	8526404	1.13
3	873	3943782	0.78
4	582	1377268	0.52
5	416	307514	0.37
VIGA DE CONCRETO			
Seção	A (cm²)	I (cm⁴)	Peso (tf/m)
Única	51700	6.5E+08	12.925

Além destas tem-se as seguintes cargas devido ao atrito, a qual pode ser calculada para o topo de cada pilar como 5% da carga vertical solicitante no mesmo. A tabela abaixo demonstra os valores obtidos (a serem estudados analiticamente):

Tabela 40: Valores de Carga Horizontal Proveniente do Atrito nos Apoios.

Pilar	Compr. Colaborante	Peso por Pilar (tf)	Força de atrito (tf)
P1	41.44	535.5	26.8
P2	41.70	539.0	26.9
P3	41.70	539.0	26.9
P4	41.70	539.0	26.9
P5	41.70	539.0	26.9
P6	32.95	425.9	21.3
P7	32.95	425.9	21.3
P8	37.60	486.0	24.3
P9	30.75	397.4	19.9

Tal tabela foi obtida considerando como comprimento de influência a distancia mediana entre pilares, o que implica a admissão de o bico metálico não estar na região de influência, uma vez que foi considerada a seção mais pesada, ou seja, de concreto. Isto não é válido para o último pilar, uma vez que parte de sua linha de influência de reação está coberta pelo bico. Contudo, estimou-se desta maneira nesta etapa de pré-dimensionamento a fim de facilitar os cálculos, sem prejudicar muito a análise.

14.3. Esforços Solicitantes

Uma vez executados os modelos, obteve-se os diagramas de esforços solicitantes de momento fletor e de força axial. Não foi considerado o esforço de cisalhamento, apesar de reconhecida sua importância, pois este influenciaria no dimensionamento da armadura passiva, o qual não faz parte do escopo deste relatório.

Abaixo apresenta-se os valores críticos dos esforços de ambos os modelos, tanto de obra pronta, quanto de fase provisória, obtidos dos diagramas de esforços solicitantes apresentados em anexo:

Tabela 41: Esforços Solicitantes Obtidos dos Modelos Computacionais.

Carregamentos	M+ (tfm)	N (tf)	M- (tfm)
Obra Pronta			
g₁	1714	-	2288
g₂	1498	-	2000
Fren.+Acel.	-	101	-
TT Metrô	1116	-	1317
Multidão	129	-	154
Temp.+Retr.+Fluência	-	136	-
Gradiente	467	-	467
Obra Provisória			
g₁	2132	-	2526

14.4. Dimensionamento e Detalhamento da Armadura Ativa

Segundo a norma NBR 6118:2003 para ambientes medianamente agressivos devem ser feitas as seguintes verificações:

- ✓ Para as combinações quase permanentes de ações (CQP), previstas no projeto, é respeitado o estado limite de descompressão (ELD);

- ✓ Para as combinações freqüentes de ações (CF), previstas no projeto, é respeitado o estado limite de formação de fissuras (ELF).

Para a elaboração das combinações quase permanente e frequente utilizou-se as recomendações da norma NBR 8681:2003 de Ações e Segurança nas estruturas. A tabela abaixo indica os valores utilizados na análise:

Tabela 42: Valores de Ψ Segundo a NBR 8681.

Cargas	CQP	CF
Carga Permanente	1	1
Trem – Tipo	0,6	1
Multidão	0,3	0,4
Fren.+Acel.	0,6	1
Temperatura	0,3	0,5
Retração+Fluência	1	1
Temp+Retr+Fluência ⁽¹⁾	0,79	0,85
Gradiente	0,3	0,5

(1) Valor calculado da seguinte forma:

$$\Psi_{Temp} + \Psi_{(Retr+Fl)} = \frac{15}{50} \cdot \Psi_{CF \text{ ou } CQP} + \frac{35}{50} \cdot \Psi_{CF \text{ ou } CQP}$$

Uma vez definidos tais valores pode-se calcular o momento solicitante e a força normal para a CQP e para a CF na situação de Obra Pronta resultando em:

- ✓ CQP:

$$M_{CQP}^+ = (g_1 + g_2) \cdot 1,0 + TT \cdot 0,6 + SC_{Mult} \cdot 0,3 + Grad \cdot 0,3$$

$$M_{CQP}^+ = (1714 + 1489) \cdot 1,0 + 1116 \cdot 0,6 + 129 \cdot 0,3 + 467 \cdot 0,3$$

$$M_{CQP}^+ = 4060,4 \text{ tfm}$$

$$M_{CQP}^- = (g_1 + g_2) \cdot 1,0 + TT \cdot 0,6 + SC_{Mult} \cdot 0,3 + Grad \cdot 0,3$$

$$M_{CQP}^- = (2288 + 2000) \cdot 1,0 + 1317 \cdot 0,6 + 154 \cdot 0,3 + 467 \cdot 0,3$$

$$M_{CQP}^- = 5264,5 \text{ tfm}$$

$$N_{CQP} = (Fren. + Acel.) \cdot 0,6 + (Temp + Retr + Fl) \cdot 0,79$$

$$N_{CQP} = (101,0) \cdot 0,6 + (136,0) \cdot 0,79$$

$$N_{CQP} = 168,1 \text{ tf}$$

- ✓ CF:

$$M_{CF}^+ = (g_1 + g_2) \cdot 1,0 + TT \cdot 1,0 + SC_{Mult} \cdot 0,4 + Grad \cdot 0,5$$

$$M_{CF}^+ = (1714 + 1489) \cdot 1,0 + 1116 \cdot 1,0 + 129 \cdot 0,4 + 467 \cdot 0,5$$

$$M_{CF}^+ = 4613,1 \text{ tfm}$$

$$M_{CF}^- = (g_1 + g_2) \cdot 1,0 + TT \cdot 1,0 + SC_{Mult} \cdot 0,4 + Grad \cdot 0,5$$

$$M_{CF}^- = (2288 + 2000) \cdot 1,0 + 1317 \cdot 1,0 + 154 \cdot 0,4 + 467 \cdot 0,5$$

$$M_{CF}^- = 5900,1 \text{ tfm}$$

$$N_{CQP} = (Fren. + Acel.) \cdot 1,0 + (Temp + Retr + Fl) \cdot 0,85$$

$$N_{CQP} = (101,0) \cdot 1,0 + (136) \cdot 0,85$$

$$N_{CQP} = 216,6 \text{ tf}$$

Para a Obra Provisória, tem-se os valores de momento fletor iguais aos característicos, uma vez que independente do tipo de combinação, a carga permanente possui peso 1,0.

14.4.1. Dimensionamento - Obra Provisória

Para o dimensionamento da Obra Provisória é prevista protensão centrada, uma vez que a finalidade desta é fazer com que a viga consiga suportar tanto os momentos negativos, quanto os momentos positivos atuantes durante a atividade de “empurre” e facilitar a montagem da gaiola metálica no canteiro. Assim, primeiramente deve-se definir o posicionamento do centro de gravidade (CG) da seção transversal da superestrutura e o valor de d' . A figura abaixo ilustra tais valores:

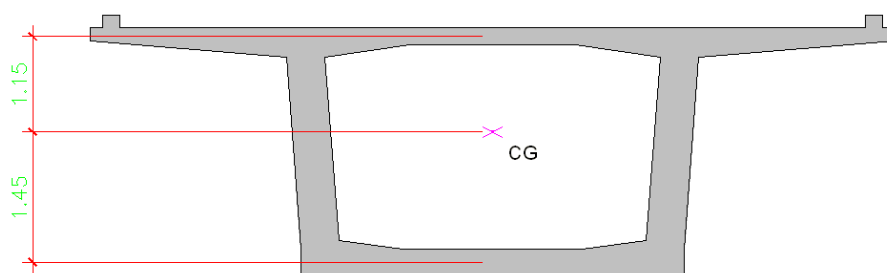


Figura 111: Valores de Excentricidade para a Protensão.

Deste modo, serão dimensionados cabos de protensão superiores e inferiores, tal que os valores destes sejam proporcionais à sua excentricidade, indo de acordo com a definição de protensão centrada:

$$P_i \cdot e_i = P_s \cdot e_s$$

$$P_i \cdot (1,6 - 0,15) = P_s \cdot (1,3 - 0,15)$$

$$P_i = P_s \cdot 0,7931$$

Ao mesmo tempo, relaciona-se P_i e P_s através da verificação do estado limite de formação de fissuras, tal que:

$$\sigma_i = \frac{M^+}{W_i} - \frac{(P_i + P_s)}{A} \leq fctk_i$$

$$\sigma_s = \frac{M^-}{W_s} - \frac{(P_i + P_s)}{A} \leq fctk_s$$

Para:

$$fctk_{i,s} = 0,7 \cdot 0,3 \cdot \sqrt[3]{fck^2} = 0,7 \cdot 0,3 \cdot \sqrt[3]{40^2} = 2,46 \text{ MPa}$$

A tabela abaixo indica os cálculos executados para a obtenção de $P_i + P_s$:

Tabela 43: Cálculos das Protensões ($P_i + P_s$).

Fibra Superior				
M- (tfm)	A (m ²)	Ws (m ³)	fctk,s (Mpa)	(Pi+PS)≥ (tf)
2526	5.17	5	2.46	1340.064
Fibra Inferior				
M+ (tfm)	A (m ²)	Wi (m ³)	fctk,l (Mpa)	(Pi+PS) ≥(tf)
2132	5.17	4.1	2.46	1441.396

Logo, tem-se que a situação mais restritiva ocorre na fibra inferior, com $P_i + P_s \geq 1442 \text{ tf}$. Resolvendo as equações:

$$P_i + P_s = 1442 \text{ tf}$$

$$P_i = (1442 - P_i) \cdot 0,7931$$

$$P_i = 637,8 \text{ tf} \text{ e } P_s = 804,2 \text{ tf}$$

Admitiu-se cordoalhas de Cord. CP 190 RB 12,5 da Belgo Mineira, com força de protensão $P_{\text{útil}} \approx 11 \text{ tf}$, já considerando as perdas imediatas de atrito entre o cabo e a bainha, de acomodação do cabo nas ancoragens e de encurtamento do concreto durante a protensão, além de considerar as perdas progressivas de retração e fluência do concreto e relaxação do aço (o fabricante indica uma perda máxima por relaxação após 1.000 horas a 20°C, para carga inicial de 80% da carga de ruptura, de 3,5%).

Portanto são necessários 2 X 6 cabos de 6Φ12,5 na mesa superior e 2 X 5 cabos de 6Φ12,5 na mesa inferior.

14.4.2. Dimensionamento - Obra Pronta

Para chegar à armadura de protensão excêntrica realiza-se a verificação do ELF e do ELD para CF e CQP respectivamente através do seguinte equacionamento:

✓ Fibra Inferior

$$CF : \frac{(P_s + P_i) + P_{CF} + N_{CF}}{A} - \frac{(M_{CF}^+ - P_{CF} \cdot e)}{W_i} \geq -2,46 \text{ MPa}$$

$$CQP : \frac{(P_s + P_i) + P_{CQP} + N_{CQP}}{A} - \frac{(M_{CQP}^+ - P_{CQP} \cdot e)}{W_i} \geq 0$$

✓ Fibra Superior

$$CF : \frac{(P_s + P_i) + P_{CF} + N_{CF}}{A} - \frac{(M_{CF}^- - P_{CF} \cdot e)}{W_s} \geq -2,46 \text{ MPa}$$

$$CQP : \frac{(P_s + P_i) + P_{CQP} + N_{CQP}}{A} - \frac{(M_{CQP}^- - P_{CQP} \cdot e)}{W_s} \geq 0$$

A tabela abaixo apresenta os valores utilizados para a obtenção da protensão necessária:

Tabela 44: Valores de Protensão Necessária em Função da Seção Solicitada.

Fibra Superior								
CF	M- (tfm)	A (m ²)	Ws (m ³)	fctk,s (Mpa)	e (cm)	N (tf)	(Pi+PS) (tf)	P (tf)
	5900	5.17	5	2.46	1.15	216.6	1442	1448.2
CQP	M- (tfm)	A (m ²)	Ws (m ³)	fck,s (Mpa)	e (cm)	N (tf)	(Pi+PS) (tf)	P (tf)
	5264.5	5.17	5	0	1.15	168.1	1442	1751.1
Fibra Inferior								
CF	M+ (tfm)	A (m ²)	Wi (m ³)	fctk,i (Mpa)	e (cm)	N (tf)	(Pi+PS) (tf)	P (tf)
	4613.1	5.17	4.1	2.46	1.45	216.6	1442	1033.4
CQP	M+ (tfm)	A (m ²)	Wi (m ³)	fctk,i (Mpa)	e (cm)	N (tf)	(Pi+PS) (tf)	P (tf)
	4060.4	5.17	4.1	0	1.45	168.1	1442	1250.2

Assim, deverão ser propostos cabos de protensão que satisfaçam a necessidade de 1752 tf nas fibras superiores e 1251 tf nas fibras inferiores. Adotando as mesmas cordoalhas adotadas anteriormente na fase provisória são obtidos 2 X 5 cabos de 12Φ12,5 na região de momento positivo e 2 X 7 cabos de 12Φ12,5 na região dos apoios.

14.4.3. Detalhamento da Armadura Ativa

A disposição na seção transversal nos cabos de protensão calculadas acima foi feita considerando que as barras de protensão centrada, previstas para a fase provisória, serão dispostas nas mesas, justo nas laterais das almas. Já as barras de protensão excêntrica serão dispostas ao longo da alma, com sua excentricidade variando com seu posicionamento longitudinal. As figuras abaixo objetivam exemplificar o detalhamento da armação ativa na seção transversal da superestrutura e ao longo de um trecho da elevação da viga contínua:



Figura 112: Trecho Representativo da Disposição Longitudinal dos Cabos

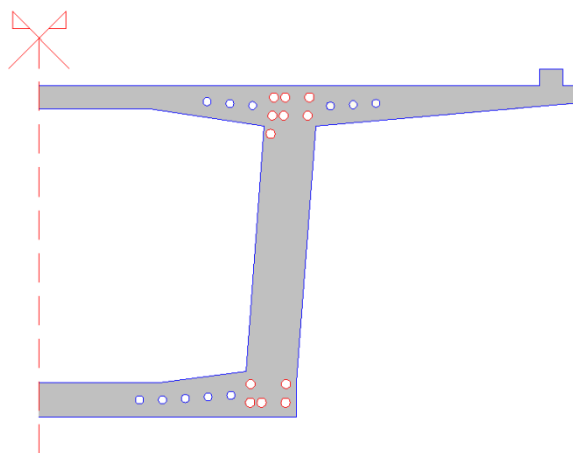


Figura 113: Disposição dos Cabos de Protensão na Seção Transversal.

Além destas disposições, o grupo também estudou brevemente as emendas de protensão, de modo a sugerir um comprimento dos cabos de máximo 100 metros. Isto se deve, pois espera-se que a partir deste valor, o comprimento passe a significar grandes perdas ao longo do cabo, não garantindo a protensão necessária para suportar os esforços atuantes.

Assim foram previstas emendas nos cabos a cada 100 metros e, por consequência, nichos de protensão em tais regiões. Estes por sua vez estariam dispostos em alargamentos das almas, na parte interna da seção caixão, de modo que devem ser considerados durante a concretagem das aduelas em questão. Abaixo apresenta-se um detalhe ilustrativo das emendas na longitudinal e na transversal do nicho de protensão:

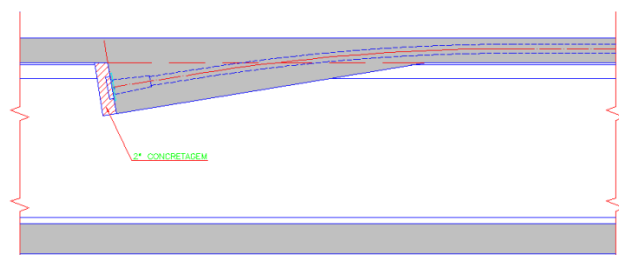


Figura 114: Detalhe Longitudinal do Nicho de Protensão.

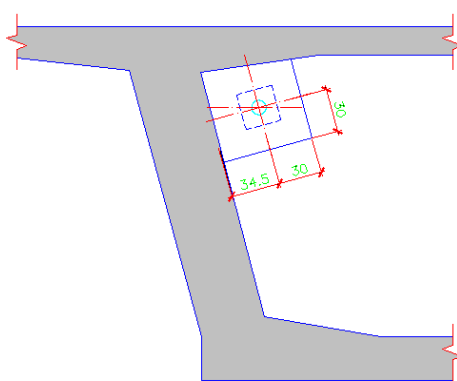


Figura 115: Detalhe Transversal do Nicho de Protensão.

15. Dimensionamento das Fundações do Elevado Tamanduateí

Dando continuidade ao projeto do Elevado Tamanduateí, torna-se iminente, após sua análise estrutural e o cálculo de sua protensão, o dimensionamento de suas fundações, mais precisamente, dos estacões que dão sustentação ao elevado, transferindo as cargas verticais e horizontais atuantes na superestrutura para o solo.

Para atender a tal objetivo de projeto das fundações do elevado, faz-se, neste item, o detalhamento de seus estacões, o qual é composto pelas seguintes etapas:

- **Cálculo do Comprimento dos Estacões:** etapa de dimensionamento das fundações do Elevado Tamanduateí na qual se procede à definição do comprimento individual de estacões tendo por base as cargas verticais existentes na fase de operação. Para a obtenção de tal comprimento, são utilizados métodos semi-empíricos de cálculo de capacidade de carga de estacas, destacando-se, no caso deste documento, o Método de Aoki & Velloso, posteriormente descrito em maiores detalhes;
- **Análise dos Estacões submetidos a Esforços Especiais:** considerando que as fundações de elevados metroviários estão constantemente submetidas a esforços especiais (forças horizontais e momentos fletores), aspecto que se reforça em pontes construídas através do método de Lançamento Progressivo, onde as etapas nas quais a ponte é empurrada impõem de forma mais clara estes esforços especiais, torna-se necessário analisar o comportamento dos estacões a tais cargas. Para isso, faz-se uso do Método de Matlock & Reese (descrito posteriormente), o qual permite a obtenção da deformada das estacas e, principalmente, o diagrama de momentos fletores dos estacões ao longo da profundidade. Para a execução desta etapa, são considerados os esforços oriundos da fase de operação do Elevado Tamanduateí e, também, os esforços existentes nas fases construtivas do elevado;
- **Definição da Armação dos Estacões:** conhecidos os esforços axiais e os momentos fletores que solicitam os estacões, é possível dimensionar a armação dos mesmos. Para isso, são considerados dois cenários distintos, que envolvem

os pares críticos de força normal e momento fletor para a fase construtiva (Cenário I) e para a fase de operação do Metrô (Cenário II). Nesta etapa do dimensionamento de fundações, utilizaram-se os Ábacos de Montoya ([MONTAYA, 1981]), conhecidos instrumentos para definição de armação em seções submetidas à flexão composta (incluindo seções circulares como as das estações)

Antes de se iniciar a apresentação de cada uma das etapas anteriormente listadas, é importante fazer algumas observações em relação às fundações do Elevado Tamanduateí.

Em primeiro lugar, deve-se justificar o emprego de estações como fundação do elevado ao invés da utilização de outras alternativas igualmente viáveis, como tubulões a ar comprimido e estacas pré-moldadas. Neste caso, considerou-se que, por ser um método seguro (diferentemente de fundações constituídas por tubulões a ar comprimido), com capacidade estrutural compatível com as cargas oriundas de elevados metroviários e, principalmente, por apresentar viabilidade de execução nas condições geotécnicas locais, as estações seriam uma solução adequada à obra estudada neste documento, eliminando a necessidade de elaboração de matrizes de decisão voltadas à definição das fundações do Elevado Tamanduateí. Além disso, tendo-se em vista que os projetos básicos e executivos elaborados para a obra que se encontra de fato em execução indicavam o uso de estações e que estes foram executados sem problemas perceptíveis na obra, não haveria justificativa para alterar esta solução.

Outro ponto a ser ressaltado corresponde à definição dos esforços que foram utilizados nas diferentes etapas de dimensionamento das fundações. Assim, tomando-se por base o objetivo deste documento, de se aproximar do projeto básico do Elevado Tamanduateí, sem adentrar em especificidades e focando na apresentação de métodos construtivos e de procedimentos de análise, optou-se por dimensionar as estações com esforços envoltórios. Em outras palavras, para cada situação analisada, foram utilizados os esforços (forças axiais, forças horizontais e momentos fletores) críticos, mesmo que existentes em estações distintos. Assim, para cada fase (fase construtiva e fase de operação), foram empregados os valores máximos e mínimos de cada solicitação de modo a resultar em estações dimensionadas para qualquer combinação de esforços que porventura venha a se manifestar no Elevado Tamanduateí. Naturalmente, em etapas de

maior detalhamento do projeto do elevado, tais como o seu projeto executivo, seria recomendável a análise individual das fundações de cada pilar da ponte metroviária, de modo a otimizar o emprego de recursos na obra.

Por último, cabe observar que todo o processo de dimensionamento de estacas foi feito considerando-se estações individuais, ou seja, fatores de grupo (existentes devido à presença de 4 estações por bloco) não foram considerados.

Feitas estas ressalvas, pode-se apresentar o processo de dimensionamento dos estações do Elevado Tamanduateí:

15.1. *Cálculo do Comprimento dos Estações*

Dentro da Engenharia de Solos, mais especificamente na área de Fundações, é generalizada a visão de que o projeto de estacas tem por objetivo determinar o comprimento destes elementos em diferentes posições do terreno necessário para transferir a este terreno cargas compatíveis com seu comportamento estrutural (cargas que não excedam a resistência das estacas como elemento estrutural) com segurança adequada e sob recalques aceitáveis.

Para se atingir este objetivo, encontram-se à disposição diferentes métodos de cálculo de estacas, destacando-se os chamados métodos Teóricos, Empíricos e Semi-Empíricos.

Os métodos teóricos são aqueles que procuram determinar as tensões de atrito lateral e de ponta existentes nas estacas a partir de parâmetros da Mecânica dos Solos, destacadamente parâmetros de adesão entre solo e estaca e de ângulo de atrito no contato solo-estaca. Como tais parâmetros são de difícil obtenção, por serem distintos de grandezas comuns como coesão e ângulo de atrito do solo e por serem extremamente dependentes do comportamento do solo (durante a cravação de estacas, solos fofos sofrem compactação e, portanto, aumento de resistência no contato solo-estaca, enquanto solos sensíveis sofrem amolgamento e, portanto, queda de resistência no contato solo-estaca), os métodos teóricos são comumente preteridos pelos métodos empíricos e semi-empíricos.

No caso dos métodos empíricos, verifica-se que os mesmos são empregados, geralmente, para estimativas iniciais de comprimento de estacas, destacando-se, neste caso, o método proposto pelo Professor Victor de Mello, o qual estimava o comprimento de estacas de concreto (divididas em estacas de ponta e em estacas de

atrito e ponta) com base nos resultados de SPT e nos valores de tensão de trabalho do concreto das estacas. Trata-se do método que foi utilizado neste documento para a estimativa inicial de comprimento de estações de valor igual a 20 metros empregado na modelagem do Elevado Tamanduateí apresentada há pouco.

Por último, tem-se os métodos semi-empíricos, que calculam os valores de tensão de atrito e de tensão de ponta existentes em estacas a partir de resultados de ensaios in situ, tais como ensaios Standard Penetration Test (SPT), ensaios de cone (CPT), ensaios dilatométricos (DMT) e ensaios pressiométricos (PMT). Nesta categoria de métodos de cálculo de estacas, são primordialmente utilizados os métodos de Décourt & Quaresma e de Aoki & Velloso.

Neste documento, tendo-se em vista a simplicidade do método, sua adequação aos solos da cidade de São Paulo (comprovada pelo seu largo emprego em escritórios de Engenharia de São Paulo) e a possibilidade de emprego de valores de SPT na sua solução, optou-se pelo uso do método de Aoki & Velloso, o qual é sucintamente descrito no item subsequente.

15.1.1. Método de Aoki & Velloso

O Método de Aoki & Velloso corresponde a um dos principais métodos semi-empíricos para determinação da capacidade de carga de estacas. Trata-se de método que, conforme [HACHICH, 1998], foi apresentado em 1975 no V Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações.

Este método apóia-se nos resultados de ensaios de penetração de cone (CPT) para a definição dos valores de tensão limite de ruptura de ponta (q_p) e de tensão limite de atrito lateral (q_s). Assim, sendo q_c a tensão de ponta obtida no ensaio CPT, o método de Aoki & Velloso apresenta as seguintes expressões características, nas quais os coeficientes F_1 e F_2 são coeficientes de correlação entre o cone (modelo de estaca) e a estaca real (protótipo) e α representa o Coeficiente de Begemann, responsável pela correlação entre o atrito do ensaio de cone com a tensão de ponta q_c definida pelo mesmo ensaio:

$$q_p = \frac{q_c}{F_1}$$

$$q_s = \frac{\alpha \cdot q_c}{F_2}$$

Como o cotidiano de dimensionamento de fundações lida com ensaios de SPT ao invés de ensaios CPT, é de grande utilidade a utilização de correlações entre estes dois ensaios, as quais permitem o emprego do Método de Aoki & Velloso quando encontram-se disponíveis apenas resultados de sondagens à percussão. Neste caso, tem-se que a principal correlação entre os ensaios SPT e CPT envolve a seguinte expressão:

$$q_c = K \cdot N_{SPT}, \text{ onde:}$$

N_{SPT} é o resultado do ensaio SPT;

q_c é a tensão de ponta obtida no ensaio CPT já citada anteriormente;

K é o coeficiente de correlação entre os ensaios CPT e SPT

Considerando esta correlação, chega-se às seguintes expressões finais para emprego do Método de Aoki & Velloso:

$$q_p = \frac{K \cdot N_{SPT}}{F_1}$$

$$q_s = \frac{\alpha \cdot K \cdot N_{SPT}}{F_2}$$

Os valores de K e de α são definidos de acordo com o solo no qual o trecho analisado da estaca se encontra, sendo referência a Tabela 45 indicada a seguir:

Tabela 45: Parâmetros do Método de Aoki & Velloso – Fonte: [HACHICH, 1998]

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

Quanto aos valores de F_1 e de F_2 , verifica-se que estes são dependentes do tipo de estaca, apresentando os seguintes valores:

$$F_1 = \begin{cases} 1,75 & \text{para estacas pré – moldadas} \\ 3,50 & \text{para estacas escavadas (caso dos estacões)} \end{cases}$$

$$F_2 = \begin{cases} 3,50 & \text{para estacas pré – moldadas} \\ 6,00 & \text{para estacas escavadas (caso dos estacões)} \end{cases}$$

Estando disponíveis todos estes valores, pode-se partir para o emprego propriamente dito do método, que envolve os seguintes passos:

- 1) Cálculo de P_{rupt} das estacas (carga de ruptura das estacas) a cada metro adicional de estaca, sendo esta carga de ruptura composta pela carga de ponta da estaca (tensão de ponta multiplicada pela área de ponta da estaca) e pela somatória de carga de atrito (tensão de atrito multiplicada pela área lateral de estaca) ao longo de todo o comprimento da estaca;

- 2) Cálculo de $P_{adm} = \frac{P_{rupt}}{FS}$, onde P_{adm} é a carga resistente da estaca para um fator de segurança FS , com FS , no caso do Método de Aoki & Velloso, igual a 2

Os dois passos anteriores são repetidos até que a carga resistente P_{adm} supere a carga vertical atuante no topo da estaca (carga em valor característica), respeitando, ao mesmo tempo, a condição imposta pela NBR6122 – Projeto e Execução de Fundações, datada de 1996, que limita a carga de ponta a 20% da carga resistente. Ao final deste processo, obtém-se um comprimento de estaca que mobiliza atrito lateral e carga de ponta suficientes para garantir a transferência segura das cargas da superestrutura para o solo.

15.1.2. Aplicação de Aoki & Velloso ao Elevado Tamanduateí

Descrito o Método de Aoki & Velloso, pode-se detalhar sua aplicação ao Elevado Tamanduateí, definindo-se, assim, os comprimentos dos estações que compõem sua fundação.

Considerando que todas as expressões características do método foram apresentadas, resta, para sua utilização no Elevado Tamanduateí, a definição de dois aspectos básicos:

- Geotecnia Local;
- Carga Vertical Máxima atuante nos Estações

Para a caracterização do primeiro ponto (Geotecnia Local), serão utilizadas as sondagens disponíveis que foram realizadas no local da obra. No caso, encontram-se disponíveis três sondagens, realizadas na Rua Guamiranga, no Central Plaza Shopping e na Avenida Dr. Francisco Mesquita e que foram apresentadas no Capítulo 11 – Levantamento Preliminar de Dados.

Conforme foi destacado anteriormente, o dimensionamento dos estações foi feito considerando-se uma situação envoltória, de modo que para a aplicação do método de Aoki & Velloso apenas uma das três sondagens existentes foi utilizada, sendo, para isso, adotada a mais crítica (sondagem cujos horizontes apresentavam solos com menores resistência de atrito e de ponta), correspondente à sondagem realizada na Rua Guamiranga e que se encontra novamente apresentada na Figura 116



Figura 116: Sondagem de Referência

Além disso, considerando as classificações de solo disponíveis na Tabela 45, verifica-se que o perfil anterior deve ser simplificado para se adequar às categorias de materiais para os quais K e α encontram-se definidos. Sendo assim, tem-se que o perfil

geotécnico final para emprego do método de Aoki & Velloso pode ser assim caracterizado:

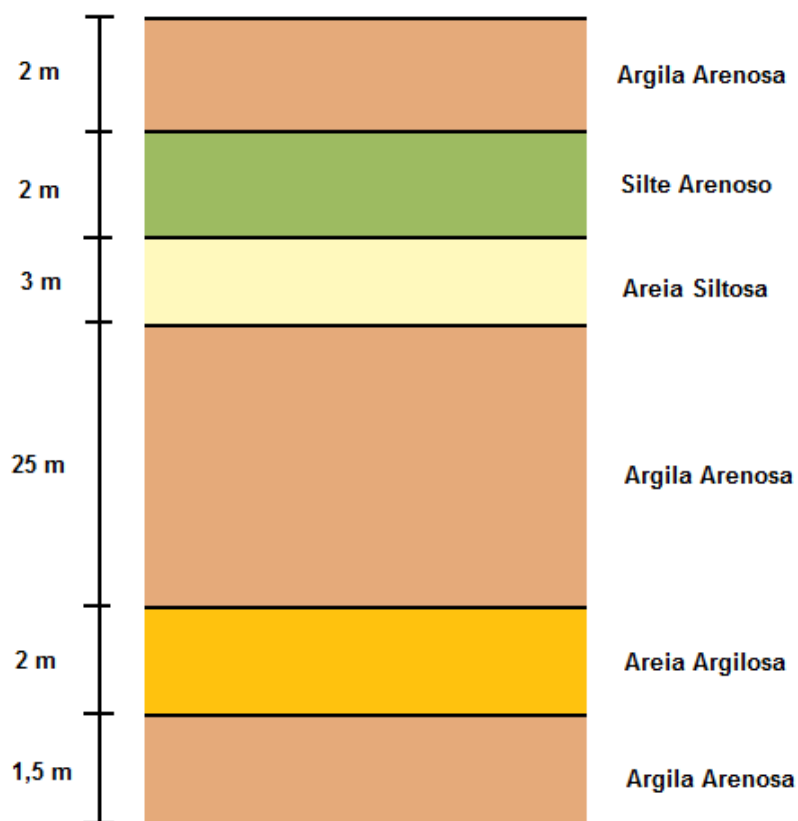


Figura 117: Simplificação da Sondagem de Referência

A análise do perfil simplificado indicado na Figura 117 permite identificar a presença de quatro tipos básicos de solo, correspondentes à Argila Arenosa, a Silte Arenoso, à Areia Siltosa e à Areia Argilosa, cujos parâmetros básicos para emprego de Aoki & Velloso encontram-se resumidos na Tabela 46, onde a coluna Código do Solo refere-se a uma classificação arbitrária definida com o intuito de operacionalizar em planilhas o Método de Aoki & Velloso, conforme ficará evidente posteriormente.

Tabela 46: Parâmetros K e α para os solos do Elevado Tamanduateí

Parâmetros de Solos			
Código do Solo	Tipo do Solo	k (tf/m²)	Alfa
1	Argila Arenosa	35	0,024
2	Silte Arenoso	55	0,022
3	Areia Siltosa	80	0,02
4	Areia Argilosa	60	0,03

No que tange ao segundo aspecto (Carga Vertical Máxima atuante nos Estações), foram utilizados, para a obtenção da citada carga máxima, os diagramas de esforços axiais correspondentes à fase de operação do Elevado Tamanduateí, sendo adotado, para efeito de cálculo, a máxima força de compressão atuante em um estação individual.

Neste caso, verificou-se que a solicitação crítica ocorria no pilar P8 (cujo diagrama de Forças Axiais encontra-se anexo), apresentando valor de 500 tf em um único estação (valor obtido pela divisão da força axial máxima no topo do estação, de valor igual a 1339 tf, para consideração da presença de dois estações no modelo estrutural e, posteriormente, pela divisão do valor resultante por 1,4, valor referente ao fator de segurança aplicado às cargas do elevado e que visava fornecer a força axial em valor característico).

Para esta carga de 500 tf (valor arredondado a favor da segurança), verifica-se pela Tabela 47, que o diâmetro inicialmente adotado no modelo estrutural, de 1,2 m para o estação, é adequado, devendo, pois, ser mantido neste dimensionamento de fundações. Considerando-se, além disso, um concreto de 20 MPa nos estações, valor permitido pela NBR6122, chega-se ao seguinte resumo de características dos estações:

Tabela 47: Resumo de Características dos Estações do Elevado Tamanduateí

Parâmetros de Estacas				
Tipo de Estaca		Estação		
F1		3,5		
F2		6		
Características das Estacas				
Pilar	Carga (tf)	Tensão do Concreto (tf/m²)	Área de Ponta (m²)	Perímetro (m)
P8	500	2000	1,13	3,77

Com a geotecnia local e com a carga máxima disponíveis, pode-se obter o comprimento dos estações. Para isso, foi desenvolvida uma planilha que verifica, a cada metro, se a carga resistente obtida é superior ou não ao carregamento de 500 tf imposto às estacas e se tal carga resistente é composta por uma combinação de atrito e carga de ponta onde esta última representa, no máximo, 20% da carga resistente total (condição descrita anteriormente e imposta pela NBR6122).

A partir do emprego desta planilha, indicada a seguir, verificou-se que o comprimento de estação que atende as condições definidas pela NBR6122 e que transfere com segurança (fator de segurança igual a 2, como citado anteriormente) as cargas do Elevado Tamanduateí ao solo apresenta valor igual a 18 metros.

Assim, os estações do Elevado Tamanduateí apresentarão a seguinte configuração final (a ser verificada, ainda, em relação aos esforços especiais de forças horizontais e momentos fletores):

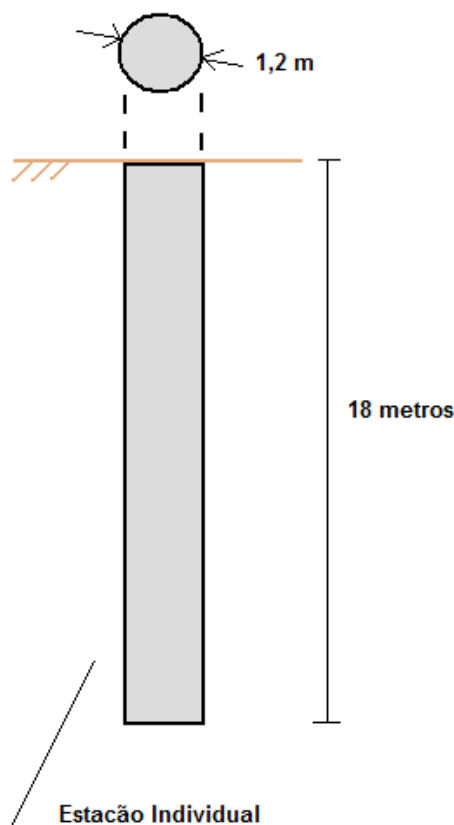


Figura 118: Características Gerais do Estação

15.2. *Análise dos Estações submetidos a Esforços Especiais*

A existência de esforços especiais em fundações, especialmente forças horizontais e momentos fletores atuantes no topo de estacas, impõe a estas deslocamentos e rotações que podem não apenas levar à plastificação do solo adjacente à estaca (pela mobilização de empuxo passivo) como também podem resultar na ruptura do próprio elemento de fundação por flexão.

Sendo assim, no caso do Elevado Tamanduateí, caracterizado pela presença de esforços horizontais e momentos derivados do processo de Lançamento Progressivo e por esforços horizontais oriundos de frenagem e de variações de temperatura (também presentes em outros elevados), é necessária a consideração destes esforços nos seus estações.

A análise do comportamento dos estações submetidos a esforços especiais tem por objetivo calcular os deslocamentos horizontais das estacas ao longo da profundidade para verificação da aceitabilidade dos mesmos e, principalmente, fornecer os diagramas de momentos fletores que solicitam as fundações para possibilitar o cálculo da armação dos estações.

Para se atingir tais objetivos, encontram-se disponíveis diferentes métodos (assim como no caso de cálculo de comprimento de estacas), destacando-se métodos baseados na Teoria da Elasticidade, tais como o Método de Poulos & Davis, e métodos baseados no Modelo de Winkler (modelo de viga sobre apoio elástico), especialmente o Método de Matlock & Reese, os quais admitem como hipótese fundamental a proporcionalidade entre a reação do solo e seu deslocamento horizontal.

Pela importância e simplicidade dos métodos baseados no Modelo de Winkler, optou-se pelo emprego destes na análise dos estações submetidos a esforços especiais, mais especificamente com o uso do citado método de Matlock & Reese.

15.2.1. Método de Matlock & Reese

O Método de Matlock & Reese corresponde a um método baseado no modelo de Winkler que, considerando vigas sobre apoios elásticos, considera o solo como molas discretas (modelando o solo, portanto, como meio descontínuo) com coeficiente de reação de mola K_s definido pela proporcionalidade entre a pressão no contato estaca-

solo (pressão p) e o deslocamento horizontal da estaca (y). Em termos matemáticos, tem-se:

$$K_s = \frac{p}{y}$$

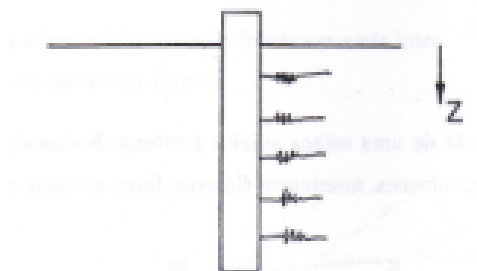


Figura 119: Modelo de Viga (Estaca) sobre Apoio Elástico (Solo)

A resolução do problema acima, de estacas apoiadas em molas, envolve a solução de equações diferenciais que tornam complexa a solução analítica do problema. Por este motivo, são consideradas diferentes hipóteses simplificadoras que permitem a confecção de ábacos para obtenção das grandezas desejadas.

Nesta situação, encontra-se o Método de Matlock & Reese que, abordando de forma distinta estacas rígidas e estacas flexíveis, estabelece as seguintes expressões, oriundas da solução de viga sobre apoio elástico pelo método de diferenças finitas, conforme cita [HACHICH, 1998], e os seguintes diagramas característicos (para estacas flexíveis):

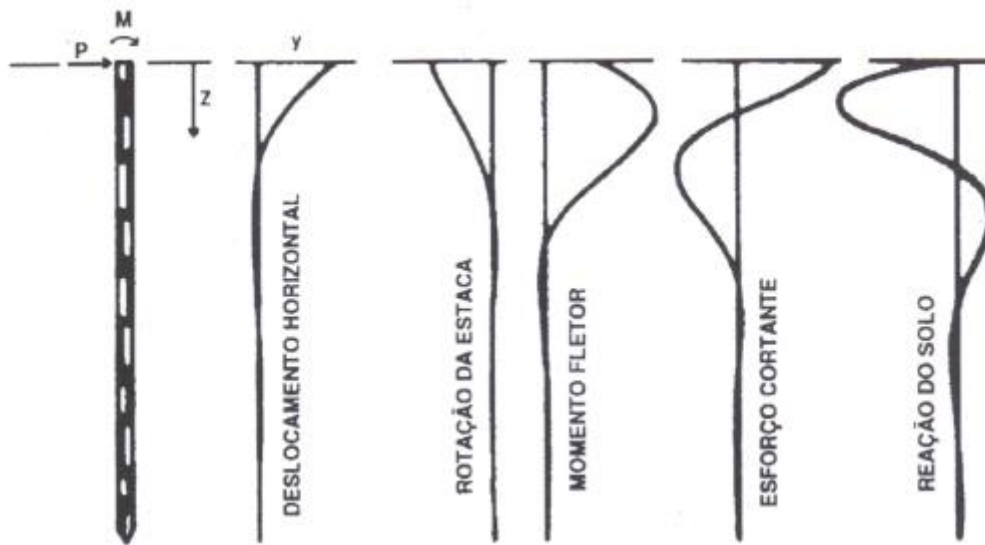


Figura 120: Diagramas Característicos de Matlock & Reese para Estacas Flexíveis –

Fonte: [HACHICH, 1998]

- Para Estacas Rígidas

$$y(z) = \frac{A_y(z) \cdot H_0}{\eta_h \cdot L^2} + \frac{B_y(z) \cdot M_0}{\eta_h \cdot L^3}$$

$$M(z) = A_m(z) \cdot H_0 \cdot L + B_m(z) \cdot M_0$$

- Para Estacas Flexíveis

$$y(z) = \frac{A_y(z) \cdot H_0 \cdot T^3}{E \cdot I} + \frac{B_y(z) \cdot M_0 \cdot T^2}{E \cdot I}$$

$$M(z) = A_m(z) \cdot H_0 \cdot T + B_m(z) \cdot M_0$$

Nas expressões anteriores, as seguintes grandezas são utilizadas:

$y(z)$ representa os deslocamentos horizontais das estacas ao longo da profundidade z da estaca;

$A_y(z)$ é um coeficiente adimensional obtido em ábacos (indicados nas Figura 122 e Figura 123) de acordo com o tipo de estaca (estaca flexível ou estaca rígida);

$B_y(z)$ é um coeficiente adimensional obtido em ábacos (indicados nas Figura 122 e Figura 123) de acordo com o tipo de estaca (estaca flexível ou estaca rígida);

$A_m(z)$ é um coeficiente adimensional obtido em ábacos (indicados nas Figura 122 e Figura 123) de acordo com o tipo de estaca (estaca flexível ou estaca rígida);

$B_m(z)$ é um coeficiente adimensional obtido em ábacos (indicados nas Figura 122 e Figura 123) de acordo com o tipo de estaca (estaca flexível ou estaca rígida);

H_0 corresponde à força horizontal atuante no topo da estaca;

M_0 corresponde ao momento fletor atuante no topo da estaca;

L é o comprimento total da estaca;

E é o módulo de elasticidade do material constituinte da estaca;

I é o momento de inércia da estaca;

T é uma medida de rigidez relativa entre estaca e solo (possuindo unidade em metros) calculada pela seguinte expressão:

$$T = \left(\frac{E \cdot I}{\eta_h} \right)^{\frac{1}{5}}$$

η_h representa a razão de crescimento de K_s com a relação z/D , onde z é a profundidade e D , o diâmetro da estaca, conforme indicado na Figura 121 e expresso na seguinte expressão:

$$K_s = \eta_h \cdot \frac{z}{D}$$

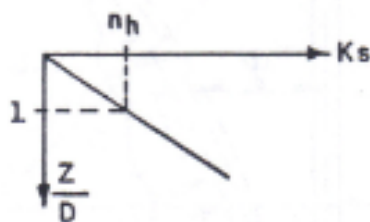


Figura 121: Variação de K_s com a Profundidade

Em relação aos ábacos anteriormente citados, tem-se:

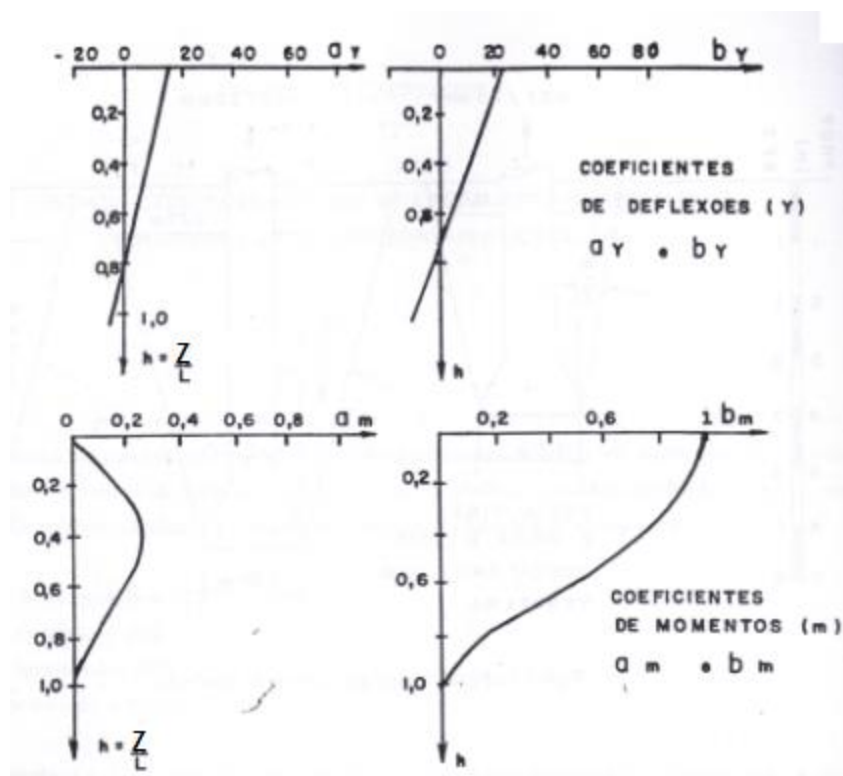


Figura 122: Ábacos de Matlock & Reese para Estacas Rígidas

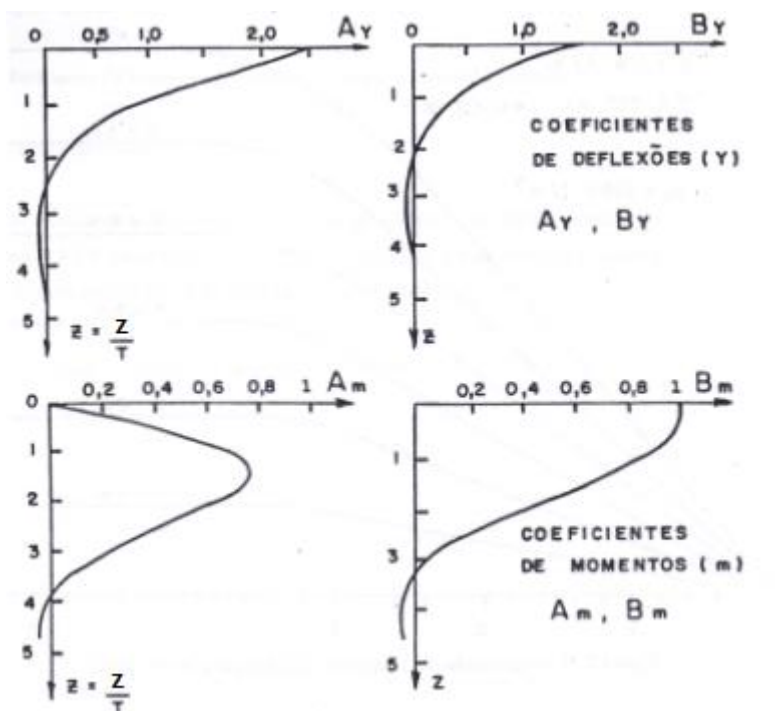


Figura 123: Ábacos de Matlock & Reese para Estacas Flexíveis

Pela análise das informações anteriores, verifica-se ser necessário classificar a estaca cujo dimensionamento encontra-se em processamento em estaca flexível ou estaca rígida. Tal classificação obedece aos seguintes critérios baseados em grandezas definidas anteriormente:

$$\frac{L}{T} \leq 3 \rightarrow \text{Estaca Rígida}$$

$$\frac{L}{T} \geq 4 \rightarrow \text{Estaca Flexível}$$

Classificada a estaca em termos de sua rigidez relativa ao solo e conhecidos os esforços que atuam no topo da estaca, pode-se utilizar as devidas expressões do Método de Matlock & Reese, obtendo-se, ao final, perfis, ao longo do comprimento da estaca, de deslocamentos horizontais e de momentos fletores, sendo estes últimos fundamentais para definir a armação das estacas em processo de dimensionamento.

15.2.2. Aplicação do Método de Matlock & Reese aos Estacões do Elevado Tamanduateí

Estando descrito de forma sucinta o Método de Matlock & Reese, pode-se abordar os resultados de deslocamentos e de momentos fletores associados aos estacões do Elevado Tamanduateí.

Para a apresentação de tais resultados, convém, como forma de detalhar uma aplicação prática do método de Matlock & Reese, explicitar cada passo seguido. Sendo assim:

a) Classificação dos Estacões quanto à rigidez relativa dos mesmos

Conforme abordado anteriormente, para o emprego do método de Matlock & Reese deve-se classificar as estacas em estacas flexíveis ou em estacas rígidas, de modo a se definir, com isso, quais ábacos e expressões do método devem ser utilizados.

Para se proceder a tal classificação, deve-se calcular o valor da relação L/T , onde L , calculado anteriormente, vale 18 metros e T , já definido, é obtido da seguinte forma:

$$T = \left(\frac{E \cdot I}{\eta_h} \right)^{\frac{1}{5}}, \text{ onde:}$$

$$E = 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 5600 \cdot \sqrt{20} \cong 25000 \text{ MPa} = 2500000 \text{ tf/m}^2$$

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1,2^4}{64} = 0,102 \text{ m}^4$$

Quanto a η_h , tem-se que tal parâmetro pode ser obtido a partir da expressão $K_s = \eta_h \cdot \frac{z}{D}$. Sabendo que $K_s = \frac{E_s}{1,5 \cdot D}$, onde $E_s = 300 \cdot \text{SPT} \left[\frac{\text{tf}}{\text{m}^2} \right]$, chega-se à seguinte relação, onde z representa a profundidade:

$$200 \cdot \text{SPT} = \eta_h \cdot z$$

Assim, traçando-se um gráfico com abscissa correspondente à profundidade z e com ordenada dada pelo valor 200SPT , onde os valores de SPT são obtidos na sondagem de referência anteriormente apresentada, verifica-se que η_h é o coeficiente angular da reta de aproximação dos dados disponíveis, de tal forma que o valor de η_h encontra-se definido no Gráfico 5 indicado a seguir, apresentando valor igual a $912,28 \text{ tf/m}^3$:

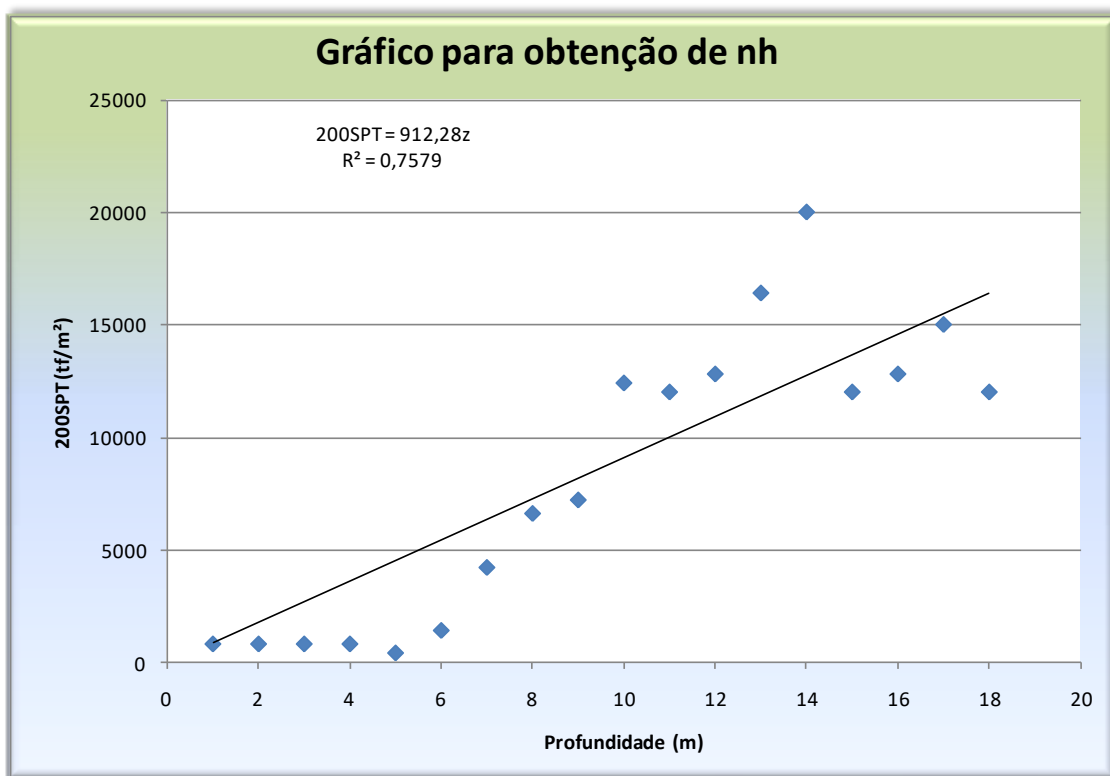


Gráfico 5: Gráfico de Obtenção de η_h

Com isso, chega-se a:

$$T = \left(\frac{E \cdot I}{\eta_h} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$T = \left(\frac{2500000 \cdot 0,102}{912,28} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$T = 3,1\text{m}$$

Conhecidos T e L, tem-se:

$$\frac{L}{T} = \frac{18}{3,1} = 5,81 \geq 4$$

Assim, em relação à classificação dos estações do Elevado Tamanduateí, verifica-se serem os mesmos flexíveis.

b) Obtenção dos Esforços atuantes no Topo dos Estações

Para a obtenção dos esforços atuantes no topo dos estações, foi considerada, novamente, a análise estrutural descrita anteriormente a partir dos diagramas finais fornecidos pela mesma. Entretanto, diferentemente do cálculo de comprimento dos

estações, onde apenas os esforços da fase de operação foram considerados, nesta etapa é fundamental a consideração, também, dos esforços provenientes da fase construtiva do Elevado Tamanduateí. Por este motivo, foram considerados dois cenários de esforços atuantes no topo dos estações, caracterizados da seguinte forma, onde as forças horizontais e os momentos fletores são os esforços máximos existentes em cada cenário:

Cenário I – Fase Construtiva

$$\begin{cases} M_0 = 25 \text{ tfm (momento no Pilar P8)} \\ H_0 = 6,8 \text{ tf (força horizontal nos Pilares P4 e P5)} \end{cases}$$

Cenário II – Fase de Operação

$$\begin{cases} M_0 = 91,5 \text{ tfm (momento no Pilar P8)} \\ H_0 = 21,6 \text{ tf (força horizontal no Pilar P8)} \end{cases}$$

c) Cálculo de $y(z)$ e de $M(z)$

A partir das expressões definidas anteriormente e com base nos esforços definidos para os cenários I e II, chegam-se aos seguintes resultados para cada um dos cenários propostos, estando tais resultados expressos em diagramas e em apresentação de valores máximos:

Cenário I – Fase Construtiva

Deslocamentos Horizontais

No caso dos deslocamentos horizontais, tem-se o diagrama de distribuição de deslocamentos apresentado na Figura 124, cujo máximo ocorre no topo da estaca e possui valor igual a 0,35 cm, compatível com as necessidades e com as limitações estruturais do Elevado Tamanduateí.

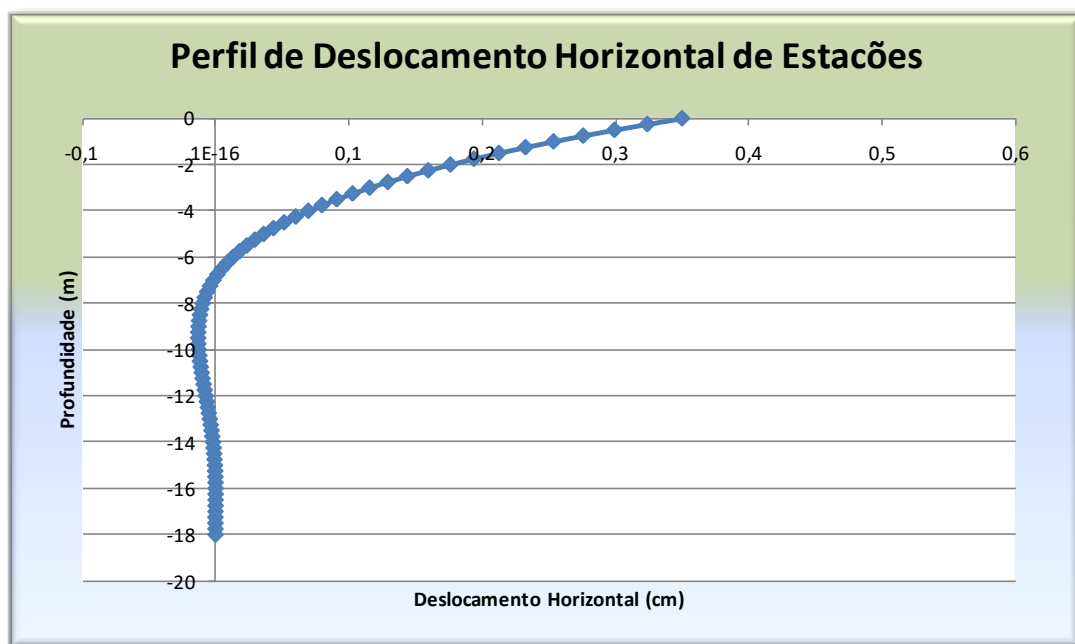


Figura 124: Perfil de Deslocamento Horizontal dos Estações do Elevado Tamanduateí para a Fase Construtiva

Momentos Fletores

Em relação aos momentos fletores, cujo diagrama encontra-se apresentado na Figura 125, obteve-se um valor máximo de, aproximadamente, 360 kNm (em valor característico), valor de extrema importância para o cálculo de armação apresentado posteriormente.

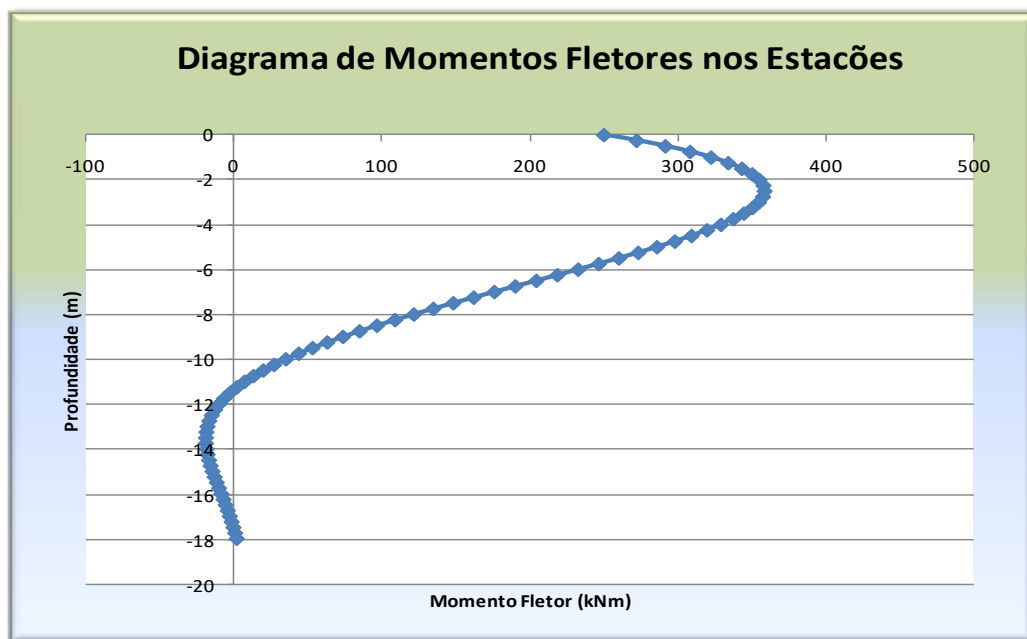


Figura 125: Diagrama de Momentos Fletores dos Estações do Elevado Tamanduateí para a Fase Construtiva

Cenário II – Fase de Operação

Deslocamentos Horizontais

No caso dos deslocamentos horizontais, tem-se o diagrama de distribuição de deslocamentos apresentado na Figura 126, cujo máximo ocorre no topo da estaca, assim como ocorreu para os deslocamentos do Cenário I, e possui valor igual a 1,18 cm, compatível com as limitações estruturais do Elevado Tamanduateí, especialmente ao se levar em consideração o fato de que efeitos de grupo e a presença de blocos de coroamento, ambos capazes de reduzir os valores de deslocamentos horizontais obtidos, não foram considerados na análise elaborada neste documento.

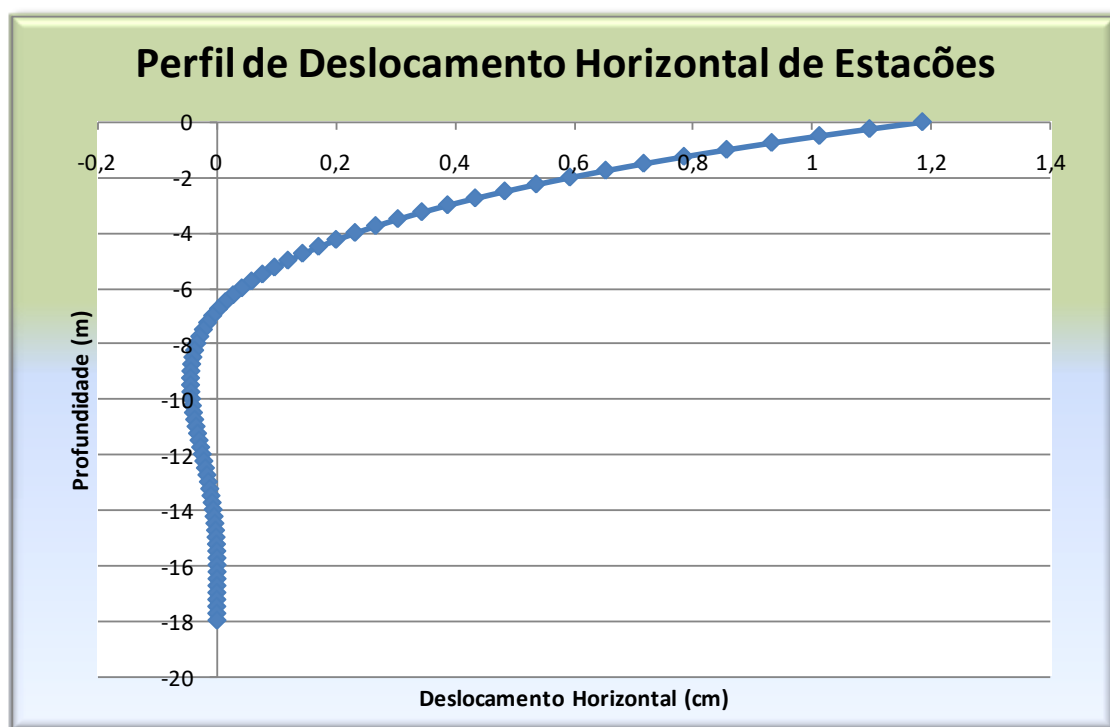


Figura 126: Perfil de Deslocamento Horizontal das Estações do Elevado Tamanduateí para a Fase de Operação

Momentos Fletores

No que tange aos momentos fletores, cujo diagrama encontra-se apresentado na Figura 127, obteve-se um valor máximo de, aproximadamente, 1250 kNm (em valor característico), valor a ser utilizado posteriormente no cálculo da armação das estações.

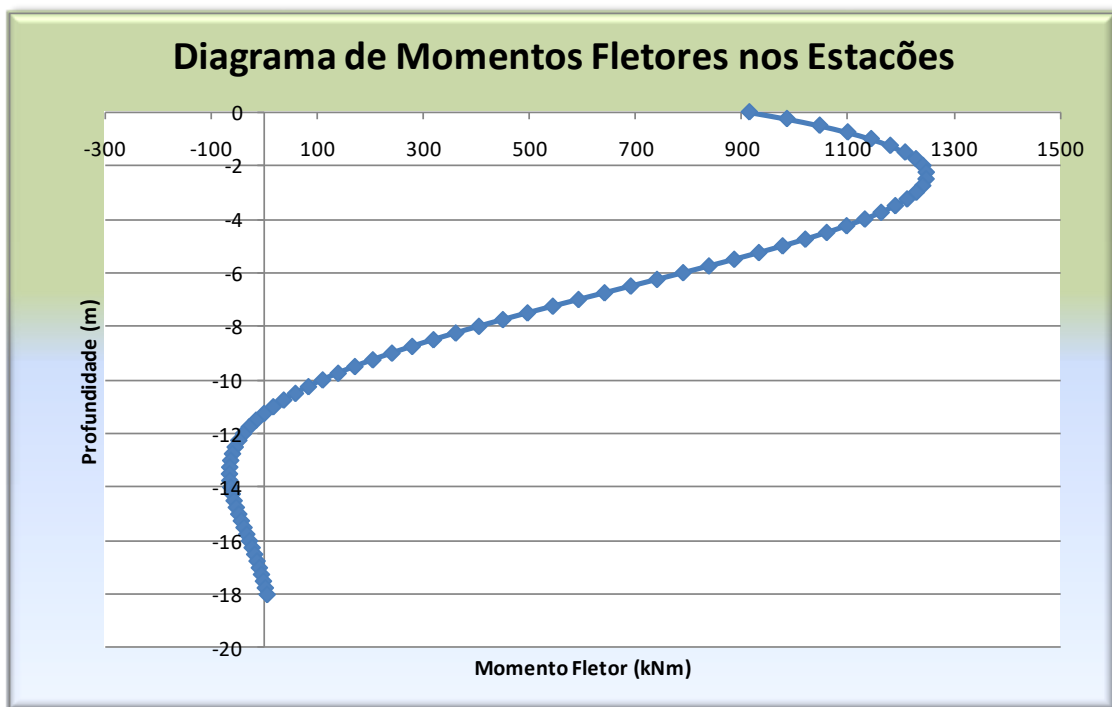


Figura 127: Diagrama de Momentos Fletores dos Estacões do Elevado Tamanduateí para a Fase de Operação

15.3. Definição da Armação dos Estacões

Para finalizar o dimensionamento dos estacões, resta definir sua armação. Tal definição será feita com auxílio dos Ábacos de Montoya, os quais, para diferentes seções, incluindo seções circulares, submetidas à flexão composta, indicam a armação a ser empregada de acordo com preceitos compatíveis com normas de dimensionamento de estruturas de concreto armado.

Como dados de entrada a serem utilizados no ábaco consultado (para seção circular e cobrimento de 5% do diâmetro), serão usados quatro pares de esforços (dois pares por cenário de análise), compostos por:

- **Par 1:** Momento Fletor Máximo e Força Axial Mínima de Compressão ocorrentes durante a Fase Construtiva;
- **Par 2:** Momento Fletor Máximo e Força Axial Máxima de Compressão ocorrentes durante a Fase Construtiva;
- **Par 3:** Momento Fletor Máximo e Força Axial Mínima de Compressão ocorrentes durante a Fase de Operação;

- **Par 4:** Momento Fletor Máximo e Força Axial Máxima de Compressão ocorrentes durante a Fase de Operação

A necessidade de consideração das forças axiais máximas e mínimas deriva do fato de que o par composto pelo momento fletor máximo e pela compressão mínima mostra-se como o mais crítico em termos de tensões de tração (tensões que demandam armação) e de que o par composto pelo momento fletor máximo e pela compressão máxima pode, de acordo com a intensidade dos esforços envolvidos, demandar armação de compressão. Considerando-se estas duas situações, chega-se, indubitavelmente, a uma armação envoltória que assegura a estabilidade estrutural da estaca a qualquer carregamento existente ao longo da vida útil do Elevado Tamanduateí.

Assim, tendo-se em vista os diagramas de esforços obtidos da análise estrutural do elevado apresentada anteriormente e os valores de momentos nos estacões obtidos a partir do método de Matlock & Reese, chega-se aos seguintes pares de esforços característicos acompanhados de seus respectivos resultados de armação (área A_s) a partir de [MONTROYA, 1981] (como os ábacos de Montoya são de uso corrente na Engenharia, considerou-se desnecessário explicitar seu procedimento de utilização e os cálculos intermediários demandados pelos ábacos):

Par 1

$$\begin{cases} M = 360 \text{ kNm} \\ N = 825 \text{ kN (força axial no Pilar P4)} \end{cases}$$

$$A_s = 0 \text{ cm}^2$$

Par 2

$$\begin{cases} M = 360 \text{ kNm} \\ N = 3375 \text{ kN (força axial no Pilar P5)} \end{cases}$$

$$A_s = 0 \text{ cm}^2$$

Par 3

$$\begin{cases} M = 1250 \text{ kNm} \\ N = 3200 \text{ kN (força axial no Pilar P6)} \end{cases}$$

$$A_s = 30 \text{ cm}^2$$

Par 4

$$\begin{cases} M = 1250 \text{ kNm} \\ N = 5000 \text{ kN (força axial no Pilar P8)} \end{cases}$$

$$A_s = 19 \text{ cm}^2$$

A partir do emprego dos ábacos de Montoya, conclui-se, enfim, que a armadura longitudinal envoltória dos estacões é constituída de 30 cm² de aço CA50 (valor que deve ser comparado com a armadura mínima) na seção transversal, valor que finaliza o dimensionamento dos estacões do Elevado Tamanduateí.

16. Canteiro de Obra

Após o dimensionamento da superestrutura e da infraestrutura do Elevado Tamanduateí, pode-se considerar, dentro do nível de aprofundamento almejado por este documento, concluídos os projetos do Elevado Tamanduateí. Assim, para a abordagem geral desejada, resta focar nos aspectos executivos do elevado. Mais especificamente, o planejamento da obra, a estimativa da quantidade de trabalhadores envolvidos, a descrição das seqüências construtivas empregadas, dentre outros, devem ser descritos.

Com esta visão, inicia-se a abordagem de aspectos de produção de elevados pela concepção dos canteiros de obra montados no local. No caso, dada a peculiaridade do canteiro da obra de Lançamento Progressivo, tem-se uma segregação clara entre o canteiro de produção e o canteiro de áreas de vivência, motivo pelo qual os mesmos são descritos separadamente.

16.1. *Canteiro de Produção*

O processo de lançamentos progressivos reúne as vantagens oferecidas pela pré-fabricação com algumas vantagens da moldagem in loco. Assim, a área de fabricação é fixa, podendo até mesmo ser coberta e protegida das intempéries. A concentração de equipamentos permite qualidade de execução normalmente só obtida em fábricas e não há necessidade de equipamentos pesados de lançamento. As diversas etapas de trabalho se repetem compassadamente e a maior industrialização do processo (através de pré-fabricação ou montagem dos materiais utilizados) é muito conveniente, permitindo uma série de atividades em paralelo e redução nos tempos e número de pessoas envolvidas. Como quase todas as atividades estão concentradas no canteiro, não há necessidade de movimentar materiais, equipamentos e mão-de-obra ao longo da obra.

O canteiro estará localizado entre o encontro e o pilar P9 e por isso as fundações e estruturas do encontro e do pilar P9 devem ser executadas antes da montagem do canteiro. Devido à topografia do terreno e do espaço disponível limitado no encontro da ponte com o túnel, o canteiro estará suspenso, apoiado em pilares provisórios. É importante que a fundação destes pilares provisórios seja dimensionada de modo a garantir estabilidade e evitar recalques, que poderiam ocasionar problemas na concretagem e no lançamento dos segmentos. Por isso é essencial o controle do nivelamento da fôrma durante toda a obra. Sobre a travessa do encontro, o pilar P9 e os

pilares provisórios será montada uma grelha, sobre a qual será instalada a fôrma da laje de fundo, onde os segmentos do tabuleiro serão concretados.

A área de fabricação inclui as fôrmas, a central de armadura frouxa e a de armadura ativa e a área de montagem da gaiola de armação. Como há muitas concreteiras na região, optou-se por não instalar uma central de concretagem no canteiro, assim o fornecimento de concreto para a obra será realizado por caminhões-betoneira. As fôrmas também não serão produzidas na obra, pois as fôrmas dos segmentos serão as mesmas durante toda a obra, não sendo necessária a produção de mais fôrmas no decorrer da obra. Por isso, as fôrmas dos segmentos já podem ser pedidas na dimensão certa e já montadas. Para as fôrmas dos blocos e pilares a situação é semelhante, porque as dimensões dos blocos são sempre as mesmas, podendo ser utilizado sempre o mesmo jogo de fôrmas. Nos pilares será utilizada fôrma trepante, cujo uso se repete em todos os pilares. Deste modo, no canteiro será reservado um espaço para o armazenamento das fôrmas e para realização de pequenos reparos. A armadura passiva já chegará na obra cortada e dobrada, por isso haverá somente um espaço destinado ao armazenamento, assim como para as cordoalhas da armadura ativa. É importante que o local do armazenamento das armaduras e das fôrmas seja coberto. Haverá ainda um espaço para armazenamento de equipamentos auxiliares, tais como, aparelhos de apoio, telefones utilizados durante o processo do lançamento, equipamentos necessário para protensão, etc. Completa o canteiro de produção o almoxarifado.

A gaiola de armação será montada em separado, possibilitando o trabalho de uma equipe praticamente independente das demais atividades. A área de montagem da gaiola de armação estará localizada imediatamente atrás da área de concretagem e, devido à topografia da região, estará numa cota superior a da área de concretagem. Tais características facilitarão o transporte, que poderá ser realizado utilizando-se roletes, evitando equipamentos mais pesados de transporte horizontal. A área reservada para a montagem da gaiola de armação é a área do emboque do túnel e do começo da obra do túnel, que neste trecho será realizado em cut&cover. Como tanto a obra da ponte como do túnel são do mesmo lote de obra e, portanto, responsabilidade da mesma empreiteira, julgou-se que a alternativa de avançar cerca de 20 m na área de escavação do túnel é válida, pois facilitará muito a produção da ponte, evitando a utilização de equipamentos mais pesado. Desta maneira ficaria condicionado que este trecho do túnel seria realizado somente depois da finalização da obra da ponte e retirada do canteiro, porém sem

influenciar o avanço do túnel no restante do trecho. Caso não seja possível utilizar tal área e fazer o transporte por roletes, há outras alternativas para realização do transporte da gaiola de armação até a posição de concretagem, como guindastes fixos ou até mesmo pórticos.

As áreas de produção do canteiro foram estimadas baseadas em obras do mesmo porte. A Figura 128 representa o canteiro em planta sobreposto à imagem de satélite da região e a Figura 129 ilustra um corte do canteiro.



Figura 128: Planta do canteiro de produção

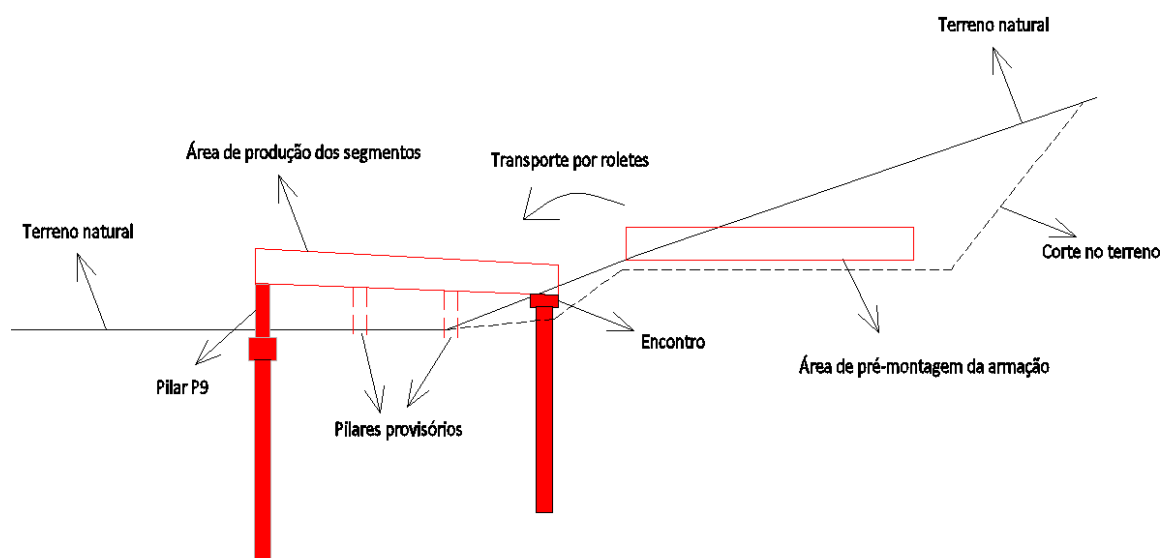


Figura 129: Corte da área de produção do canteiro.

A área de concretagem dos segmentos é composta pela fôrma da laje de fundo, a fôrma externa das almas, a fôrma interna e a fôrma da laje superior. A fôrma da laje de fundo é fixa e, durante o lançamento, o segmento concretado desliza sobre a fôrma. Por isso é importante manter a superfície da fôrma o mais liso possível, por exemplo, limpando e engraxando a superfície após cada lançamento. Esta fôrma pode ser metálica ou de madeira e será utilizada repetidamente em todos os lançamentos. As fôrmas externas das almas devem ser posicionadas antes da primeira concretagem e, devido ao alto número de repetições, compensa a adoção de um sistema hidráulico ou mecânico para o rebaixamento e posicionamento das mesmas. A fôrma interna é posicionada na sequência e é removida somente após o lançamento do segmento, quando a gaiola de armação do segmento seguinte já estiver posicionada na área de concretagem. A Figura 130 representa um exemplo das fôrmas utilizadas e suas posições.

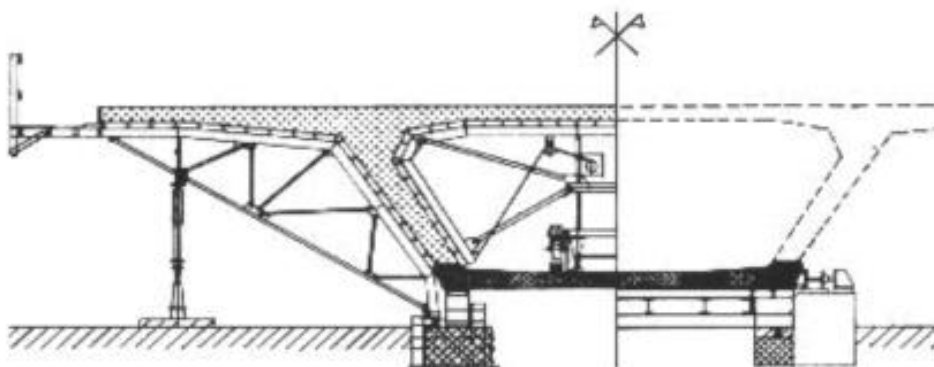


Figura 130: Exemplo do posicionamento das fôrmas no segmento.

16.2. Canteiro de Áreas de Vivência

Para propiciar condições adequadas de trabalho aos funcionários envolvidos não apenas no Elevado Tamanduateí, mas, também, na Estação Tamanduateí e no túnel em direção à Estação Vila Prudente, deve-se disponibilizar áreas de refeitório, lazer, instalações sanitárias, dentre outros. Tais áreas constituem as chamadas áreas de vivência, descritas neste tópico.

O dimensionamento e a configuração do layout do canteiro de obras contemplando as áreas de vivência basearam-se nas normas regulamentadoras NR18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção e NR24 – Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho, além de terem sido utilizados valores de referência de construtoras e índices do mercado. Esses dados utilizados estabelecem diretrizes de ordem administrativa de planejamento e de organização que visam a implementação de medidas de controle de sistemas preventivos de segurança, além de diretrizes para as condições trabalho na indústria e na construção civil devidamente concebidas no PCMAT (Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção), o qual deve, obrigatoriamente, ser elaborado e cumprido para obras com mais de vinte funcionários por profissionais legalmente habilitados (caso do Elevado Tamanduateí).

O layout funcional das áreas de vivência (estabelecido pelo PCMAT) indica a existência de vestiários e instalações sanitárias, locais de refeição, cozinha (quando houver o preparo de refeições na obra), áreas de lazer e ambulatório. Tomando-se por base estas áreas, realizou-se para as instalações primordiais, um dimensionamento

expedito de suas áreas e configurações com o intuito de fornecer, ao final, um croqui do canteiro de áreas de vivência capaz de atender, simultaneamente, às obras do Elevado Tamanduateí, da Estação Tamanduateí e do túnel de via ligado à Estação Vila Prudente, resumido nos tópicos seguintes:

- **Engenharia e Administração:** Utilizou-se uma área de 75 m² (5,0 x 15,0 m), área esta maior que a recomendada para escritórios, mas cujo tamanho é adequado considerando-se o funcionamento conjunto de engenharia e de administração no local;
- **Refeitório:** Para o seu dimensionamento, utilizou-se a recomendação de 0,8 m²/pessoa, baseado na experiência de diversas empresas. Admitindo-se turnos único de alimentação, obtém-se uma área de 160 m², o que significa dizer que o cálculo foi baseado em uma expectativa de 200 homens como pico máximo de trabalhadores na obra (considerando os funcionários do elevado, estação e túnel). A NR18 indica, ainda, que todo local de refeição deve ter pé-direito mínimo de 2,80m (dois metros e oitenta centímetros) ou respeitar as determinações do Código de Obras do Município da obra, aspecto a ser respeitado quando da execução do canteiro;
- **Instalações Sanitárias e Vestiários:** Os banheiros devem ser instalados, preferencialmente, no mesmo ambiente dos vestiários, os quais devem possuir 1,5 m²/pessoa e devem estar, segundo recomendações das normas regulamentadoras, localizados próximos da entrada da obra para facilitar, no momento da chegada dos funcionários, o acesso e a colocação dos equipamentos individuais de segurança. Para o dimensionamento dos vestiários utilizou-se o momento da obra com o maior número de operários (200 pessoas, como citado anteriormente), o que acarretou em uma área de aproximadamente 300 m² de vestiário. Para as instalações sanitárias, a NR18 indica que o ambiente deve possuir pé direito mínimo de 2,50m (dois metros e cinquenta centímetros) ou compatível com o Código de Obras do Município da obra. Estabelece, ainda, 1 lavatório, 1 vaso e 1 mictório para cada 20 funcionários o que levou, no caso em estudo, a instalações sanitárias com 10 lavatórios, 10 vasos e 10 mictórios. No caso dos chuveiros, deve haver 1 para cada 10 funcionários o que acarretou em

20 chuveiros. Com a dimensão dos vasos (1 m^2), dos chuveiros ($0,8 \text{ m}^2$) e considerando mictórios espaçados a cada 0,6 m, chegou à área total de 100 m^2 ($6 \text{ m} \times 17,5 \text{ m}$) destinados às instalações sanitárias;

- **Áreas de lazer:** Estas não possuem critério de dimensionamento estabelecido por norma e cabe, portanto, o bom senso para o seu dimensionamento. Para tais áreas, adotaram-se as dimensões de $10,0 \text{ m} \times 4,0 \text{ m}$;
- **Guarita:** Usualmente, possui as dimensões de $3,0 \text{ m} \times 3,30 \text{ m}$;
- **Almoxarifado:** Dimensionado de acordo com o tamanho e volume dos materiais empregados. Como os quantitativos de materiais não se encontram disponíveis e não foram elaborados neste documento, adotou-se $5,0 \text{ m} \times 20,0 \text{ m}$, totalizando 100 m^2 .

Esquema ilustrativo das áreas de vivência, carpintaria e armação:

17. Lançamento das Aduelas do Elevado Tamanduateí

O lançamento das aduelas concretadas será realizado utilizando-se macacos hidráulicos que estarão fixos no pilar P9 e puxarão a aduela executada em direção à Estação Tamanduateí. O dimensionamento dos macacos deve ser realizado para a última etapa do lançamento, considerando o peso de toda a estrutura já executada, o fator de atrito durante o lançamento e a inclinação longitudinal da obra, já que o lançamento será ascendente. A força horizontal necessária é definida por:

$$H = (i + a) \cdot P$$

Onde:

i: é a inclinação média do trecho da ponte – 2%

a: é o atrito da ponte com as estruturas de apoio dos pilares durante o lançamento – 3%

P: é o peso da estrutura durante o último lançamento:

$$P = L \cdot A \cdot \gamma_{conc}$$

Onde:

L: é o comprimento total da ponte no último lançamento – 355 m

A: é a área da seção transversal da superestrutura – 5,17 m²

γ_{conc} : é o peso específico do concreto – 25 kN/m³

Assim, obtêm-se $P = 46000$ kN e $H = 2300$ kN. Serão utilizados dois macacos com carga de 1200 kN para o lançamento, maior do que a carga necessária, para garantir uma margem de segurança.

O canteiro para execução dos segmentos será montado entre o pilar P9 e o encontro da ponte com o túnel. Por isso, os macacos estarão posicionados no pilar P9 e puxarão os segmentos concretados a partir do topo do pilar, que deverá contar com uma estrutura de reação para os macacos e deve ser dimensionado para resistir aos esforços horizontais, como representado na Figura 131.

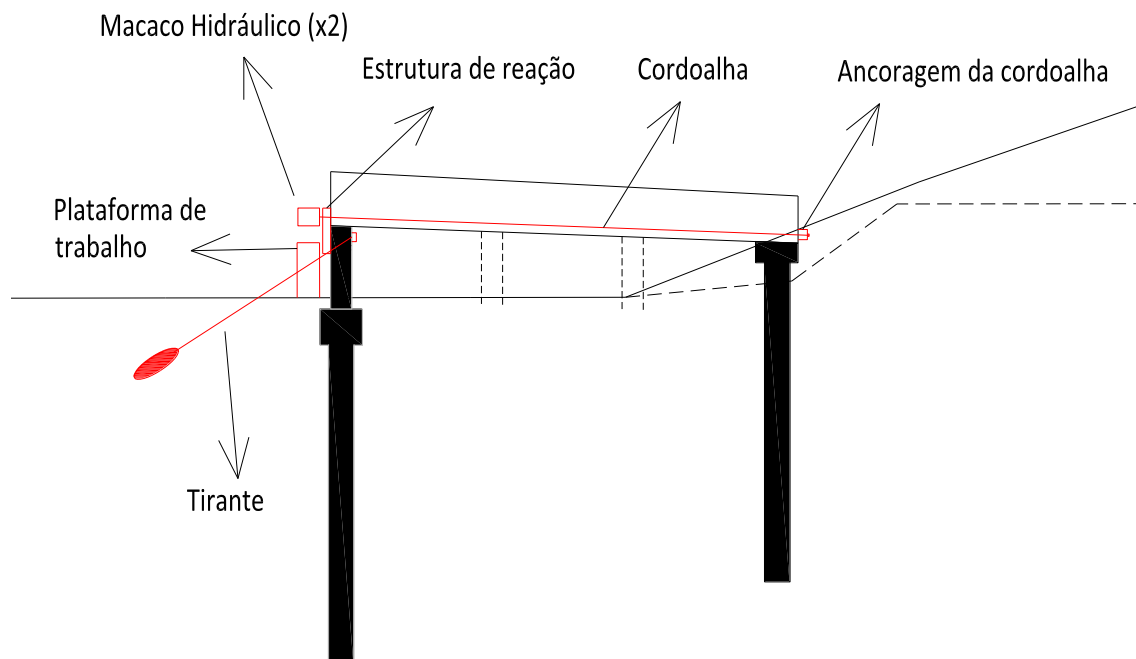


Figura 131: Corte indicando a posição do macaco e do tirante

O momento atuante no pilar P9 (com altura de 5,12 m) será: $M = Hl = 12000 \text{ kNm}$. Para reduzir o efeito dos esforços horizontais atuantes no pilar P9, propõe-se a ancoragem do pilar utilizando-se um tirante preso ao solo que induza uma força horizontal que tenha a magnitude da metade da força aplicada no pilar durante o lançamento (1150 kN). Com isso, o momento máximo atuante no pilar será reduzido pela metade – passará a ser 6000 kNm, no sentido da estação quando não estiver ocorrendo lançamento e no sentido oposto quando ocorrer o lançamento. Ao finalizar os lançamentos, este tirante será desativado e não trará nenhuma influência ao dimensionamento na situação de obra pronta. Durante a fase construtiva, para dimensionar o pilar é preciso sobrepor o momento resultante do lançamento e do esforço do tirante aos demais esforços atuantes.

Durante o lançamento, é importante verificar se não há nenhuma imprecisão construtiva que pode acarretar em um aumento solicitação na estrutura que não estava previsto. Um dos problemas que pode ocorrer é a instalação do aparelho de apoio provisório de neo-teflon (telefone) de maneira errada, o que pode aumentar muito o atrito durante o lançamento e introduzir esforços horizontais nos pilares bem maiores do que os previstos. Para evitar isso, é importante o acompanhamento contínuo do deslocamento dos pilares durante o lançamento, para quando eventualmente haja algum

problema interromper o lançamento antes que algum dano seja causado. Outro problema que pode ocorrer é o desnivelamento entre os apoios, que pode gerar um acréscimo de momento não previsto e comprometer a estrutura. Tais problemas só reforçam a necessidade de atenção especial durante o lançamento dos segmentos.

18. Planejamento da Obra

Para que a execução do Elevado Tamanduateí se processe de forma organizada, com respeito a prazos e a orçamentos, é imprescindível a elaboração do Planejamento da Obra, concebendo, para isso, o organograma da obra (fundamental para o estabelecimento claro de atribuições e hierarquia dentro da obra) e o cronograma da obra.

18.1. *Organograma da Obra*

A definição e a atribuição de cargos dentro de uma obra de grande porte como o Elevado Tamanduateí é de extrema importância para a organização da obra, devendo-se, por isso, estabelecer um adequado organograma de obra que preveja, claramente, coordenadorias responsáveis por temas de produção, de segurança, de ambiente, de contratos, dentre outros.

Assim, primeiramente devemos destacar que o organograma idealizado para a obra constitui-se de três níveis hierárquicos, sendo os dois últimos níveis supervisionados pelas áreas de Ambiente e de Saúde e Segurança do Trabalhador, áreas com autonomia para paralisar a obra caso verifiquem irregularidades.

Abordando-se especificamente cada nível hierárquico, temos que o primeiro é composto pelo Gerente de Contrato, responsável pela coordenação global da obra, incluindo-se não apenas as questões produtivas da mesma, mas, também, todos os outros aspectos correlatos, gerenciando todos os demais responsáveis pela obra.

Já o segundo nível hierárquico envolve a divisão da empreiteira responsável pela obra em três coordenadorias, correspondentes à Coordenação de Produção, responsável por atuar na gerência das equipes que atuam diretamente na obra, à Coordenação de Administração, a qual atua no apoio da obra em aspectos complementares à parte técnica, tais como segurança e recursos humanos, e à Coordenação de Apoio Técnico, responsável por todo o suporte à Engenharia da obra.

Por último, temos o terceiro nível hierárquico, que, basicamente, corresponde a subdivisões das Coordenadorias há pouco descritas. Assim, verificamos que a Coordenação de Produção é dividida segundo as atividades descritas anteriormente no planejamento da obra, resultando, pois, na existência de Equipe de Fundações, Equipe de Instalações, Equipes de Sinalização e Equipes de Estrutura, que são responsáveis

pela organização de tais serviços (envolvendo aspectos referentes à mão-de-obra, a equipamentos e a materiais) na obra. A Coordenadoria de Apoio Técnico, por sua vez, é dividida nas áreas de Suprimentos (responsável, dentre outros, pela compra de materiais), de Controle de Custos (responsável pelo controle dos gastos da obra e pela pesquisa de preços entre fornecedores), de Medição (responsável pelo controle do andamento da obra e pela verificação da compatibilidade entre esta e seu cronograma) e de Projetos (responsável por promover a interface entre a obra e os projetistas e por coordenar os projetos do empreendimento em análise). Já a Coordenadoria de Administração envolve as Equipes de Segurança, de Recursos Humanos, de Serviços Gerais e a Equipe Financeira (responsável, por exemplo, por pagamentos).

A seguir, são apresentadas de maneira mais detalhada as devidas funções de cada agente envolvido no processo e destacados no organograma anterior.

- **Gerente de Contrato**

Responsável pelo gerenciamento de contratos de trabalho da construtora, planejando, acompanhando e controlando atividades de produção, operação, manutenção e administração, voltando-se para a otimização da rentabilidade, de modo a atender as especificações contidas nos referidos contratos sem perda da qualidade nos resultados.

- **Segurança e Saúde no Trabalho**

Possui como atribuição coordenar as atividades do setor de segurança do trabalho: acompanhar e orientar o trabalho realizado pela equipe de técnicos, elaborar e implementar políticas e programas de segurança, elaborar laudos, atender aos regulamentos elaborados pelo Ministério do Trabalho, contatar os fornecedores ligados à área verificando novidades e desenvolvendo parcerias, acompanhar os resultados, definir ações e diretrizes diante de problemas identificados, estabelecer plano de ação preventiva e corretiva, emitir e divulgar documentos técnicos como relatórios, mapas de risco e contratos.

- **Coordenador de Produção**

Responsável por coordenar a produção com o acompanhamento e controle das equipes nas diferentes atividades de produção como fundações e estrutura.

- **Coordenador Administrativo**

O coordenador administrativo tem a função de coordenar as equipes de segurança, financeira e de R.H da obra assim como a responsabilidade pela documentação legal tanto para início quanto para término das atividades, junto aos órgãos competentes e

Escritório Central, mantendo-os atualizados. É de sua responsabilidade também a coordenação da equipe de serviços gerais.

- **Coordenador de Apoio Técnico**

O coordenador de apoio técnico possui a função de coordenar os serviços gerais de suprimentos, como os de alojamentos, refeições, aluguel de imóveis, automóveis, telefone (responsável pela inspeção de qualidade do material recebido e o armazenamento do material). Ele também é responsável pelas medições da obra assim como do controle de custos desta devendo assim interagir com os projetos.

- **Equipe de Instalações**

É a equipe responsável pelo acabamento da obra, tendo como principal função a instalação do sistema de cabos que garantem a operação do Metrô.

- **Equipe de Sinalização**

Assim como a equipe de instalações, a equipe de sinalização é importante para garantir a operação do Metrô através de adequada sinalização de estações e vias.

- **Equipe de Estrutura**

É a equipe responsável pela execução da meso e superestrutura do elevado.

- **Equipe de Fundações**

É a equipe responsável pela execução das estações do elevado.

- **Suprimentos**

Equipe responsável pelo gerenciamento de todos suprimentos demandados pela obra, que se inicia com a análise e verificação da necessidade de aquisição de

determinado suprimento até a fase de verificação final da qualidade deste (controle de aceitação). Controla prazo de entrega, preço e adequabilidade do produto à necessidade da obra.

- **Controle de Custos**

Equipe responsável por compatibilizar os custos previstos com os custos efetivos da obra.

- **Medição**

Equipe responsável pelo controle do andamento da obra e pela verificação da compatibilidade entre esta e seu cronograma.

- **Projetos**

Equipe responsável pela análise de possíveis intervenções dentro do projeto e pela realização da interface projetista-obra.

- **Equipe de Segurança**

Equipe responsável pela segurança do trabalho com elaboração de laudos e acompanhamento da obra.

- **Equipe Financeira**

Equipe responsável pelo controle de toda a parte financeira da obra, incluindo o pagamento dos suprimentos comprados pela obra e de todos os colaboradores envolvidos.

- **Equipe de Recursos Humanos**

Equipe responsável de realizar a interface entre a construtora e seus colaboradores e também responsável pela seleção e contratação de grande parte dos colaboradores envolvidos

- **Equipe de Serviços Gerais**

Neste nível hierárquico, são realizados todos os serviços complementares que, por não envolverem recursos e mão-de-obra significativos, não demandam equipes específicas.

18.2. *Planejamento da Obra*

O planejamento de uma obra consiste na organização para a execução da mesma, incluindo a programação e distribuição das atividades no tempo. É importante ordenar corretamente as atividades, para que seja possível adquirir, contratar ou alugar os materiais, a mão-de-obra e os equipamentos necessários no momento adequado. Realizar estas atividades depois do momento significa atrasar a obra e realizar antes significa desperdiçar materiais (perdas no armazenamento), pagar mão-de-obra ou equipamentos ociosos ou ainda empregar recursos que geralmente não estão disponíveis ou que poderiam ser melhor aplicados.

É possível dividir as etapas do planejamento de uma obra da seguinte forma:

Planejamento estratégico: é definido o que vai ser realizado (que processo utilizar) baseado em critérios específicos, tais como custo, prazo, consumo de materiais, características do local da obra, etc. Para o projeto em questão foi utilizada a matriz de decisão para a seleção do método construtivo de lançamentos progressivos.

Planejamento tático: depois de definido o que vai ser realizado e como, definem-se nos horizontes de longo e médio prazo alguns aspectos mais específicos, como emprego de mão de obra própria ou terceirizada, equipamentos necessários, organização do canteiro de obra, prazo de entrega, forma de contratação (preço de custo ou empreitada), além de uma

primeira estimativa das quantidades que serão utilizadas e da sequência das atividades. Estas ações auxiliam na distribuição dos recursos e na remoção de empecilhos à produção, através da identificação com antecedência da necessidade de compra de materiais ou contratação de empreiteiros.

Planejamento operacional: no curto prazo, visa a execução propriamente dita, detalhando as atividades a serem executadas e suas durações, além de determinar a forma de execução dos processos construtivos.

Para a obra em questão será abordada uma análise voltada mais para o planejamento operacional, com a definição das atividades, cronograma e métodos construtivos, além de considerações sobre o canteiro, que no método dos lançamentos progressivos tem grande importância, pois toda a superestrutura da ponte é produzida nele.

18.2.1. Programação

A partir do conhecimento e entendimento de todo o projeto da obra pode-se começar a elaborar a programação geral de como executá-la e definir a metodologia construtiva de cada componente da obra. Primeiramente definiu-se a duração de cada atividade e em seguida definiu-se a sequência das atividades.

18.2.1.1. Duração das atividades

A duração de cada atividade foi estimada baseada em informações obtidas em obras similares e a partir de informações obtidas com engenheiros que já participaram de obras de lançamentos progressivos. As justificativas das durações adotadas são apresentadas a seguir:

Fundações: nas fundações serão executadas 4 estacas escavadas por bloco, com diâmetro de 1,2 m e profundidade de 18 m. Em obras semelhantes observou-se que a execução de duas estacas com tais características por dia utilizando apenas uma máquina de escavação por rotação é razoável,

entretanto considerou-se 3 dias para a execução das 4 estacas, deixando uma margem para atrasos;

Blocos: os blocos terão as seguintes dimensões: 6 m de largura e comprimento e 2,3 m de altura. Para a execução dos blocos considerou-se as seguintes atividades: preparação do terreno, montagem das fôrmas, armação, concretagem e cura. O tempo estimado para a execução de cada bloco foi de 6 dias;

Pilares: a ponte conta com 9 pilares com alturas variáveis, de 5,12 a 12,52 m. Considerou-se que os pilares serão executados em etapas de 2,4 m para garantir a qualidade do lançamento e mistura do concreto e estabilidade das fôrmas. A previsão é que a execução de cada etapa dure 4 dias;

Aduelas: serão executados 17 aduelas com 21 m de comprimento em ciclos de duas fases de concretagem em uma única fôrma, com pré-montagem da gaiola de armação (como descrito no item 16.1 Canteiro de Produção). Foi adotado sete dias como tempo total de ciclo de um segmento, porém para os dois primeiros segmentos considerou-se um tempo de ciclo maior (9 dias), baseado no que foi observado em outras obras semelhantes, para que as equipes entrem no ritmo da produção e do lançamento. Além disso, no último lançamento também foi considerado um tempo de ciclo maior, pois o bico metálico precisa ser desmontado e o lançamento deve ser realizado cuidadosamente para não ocorrerem danos no encontro ponte-estação.

18.2.1.2. Sequência das atividades

A sequência das atividades foi definida de acordo com a sequência da obra, ou seja, as estruturas serão executadas no sentido do túnel para a Estação Tamanduateí, já que o canteiro para execução dos segmentos e dos lançamentos está localizado na região do encontro da ponte com o túnel.

A condição adotada para início da obra foi a liberação do terreno na posição do canteiro e dos pilares e a mobilização dos equipamentos, pessoas e equipes necessárias

para a obra. Como mencionado no item 16.1 Canteiro de Produção, o canteiro será instalado entre o encontro e o pilar P9, por isso as primeiras atividades a serem executadas são as fundações e as estruturas do encontro e do pilar P9. Em seguida começa a montagem do canteiro da produção. A partir daí inicia-se a execução de atividades em paralelo, com o objetivo de reduzir o prazo da obra. Assim, enquanto os segmentos vão sendo executados no canteiro, uma equipe executa as fundações dos pilares e outra executa os pilares. Na finalização da obra considera-se a protensão final e a execução do encontro depois que o canteiro for desmontado. Não foram consideradas nesta estimativa as atividades posteriores, como instalação dos trilhos, execução das passagens de emergência e dos sistemas, entre outros.

A programação da obra foi montada no MS Project, onde estão definidas as atividades, durações consideradas, sequência das atividades e relações entre atividades. Além disso, é apresentado também o Gráfico de Gantt da obra, com a representação do caminho crítico e das folgas livres das atividades.

No Gráfico de Gantt observa-se que o caminho crítico do projeto está na execução do primeiro pilar e de todos os segmentos. Tais atividades requerem atenção especial para não atrasar o cronograma geral da obra. As demais atividades apresentam folgas livres na execução, podendo atrasar o seu início sem prejudicar o prazo de entrega da obra. Por isso os pilares não foram executados sequencialmente sem folga após a execução das fundações, pois isso iria requer 4 equipes trabalhando em pilares distintos concomitantemente. Assim, definiu-se que serão utilizadas 2 equipes e que a data de início da execução dos pilares estará atrasada em relação ao término das fundações, contudo sem prejudicar o andamento da obra.

As figuras a seguir ilustram em um perfil do trecho algumas etapas da sequência de execução proposta, com as atividades sendo executadas em cada etapa representadas por vermelho e as atividades já executadas em preto. Na última figura está detalhado o último lançamento, com a utilização de um pilar provisório para apoio da estrutura e a desmontagem do bico metálico. O bico metálico é composto por dois segmentos de 8 m e um de 9 m e será desmontados em 3 etapas. Após o último lançamento é realizada a última etapa de concretagem, no trecho em que está alocado o canteiro, entre o pilar P9 e o encontro da ponte com o túnel, para depois realizar-se a protensão final.

19. Mesoestrutura e Infraestrutura: Métodos Construtivos

De forma a finalizar a caracterização do Elevado Tamanduateí e de se chegar ao nível de generalidade de descrição de uma obra de grande porte como pontes metroviárias almejado neste documento, deve-se descrever os métodos construtivos empregados para a concepção das meso e infraestrutura (no caso da superestrutura, toda a seqüência construtiva foi descrita em capítulo específico).

Para isso, desenvolve-se este item que apresenta, para os estações e para os pilares do Elevado Tamanduateí, informações referentes ao objetivo de cada um de tais serviços, os equipamentos requeridos em cada uma destas atividades e a seqüência construtiva que deve ser implementada para que os resultados pretendidos em projeto sejam obtidos em campo (no caso dos estações, inclusive, apresenta-se um fluxograma que resume sua execução em obra). Deve-se ressaltar, entretanto, que este item não pretende esmiuçar aspectos de produção de estações e de pilares ou entrar na área de especificação técnica de equipamentos. Trata-se de item que visa, apenas, dar uma visão geral e completa de como as estruturas projetadas anteriormente são erguidas no local da obra.

19.1. *Fundações do Elevado Tamanduateí*

19.1.1. Objetivo do Serviço

O objetivo do serviço de Fundações corresponde, naturalmente, à execução dos estações que constituem as fundações do Elevado Tamanduateí para a execução posterior da superestrutura de tal ponte. Tratam-se de 4 estações de 1,2 m de diâmetro e 18 m de comprimento cada (conforme abordado em item específico) por pilar, totalizando, para 9 pilares, 36 estações.

19.1.2. Equipamentos Requeridos

A execução das fundações do Elevado Tamanduateí envolve o emprego dos seguintes equipamentos:

1) Marteleles

Os marteleles são empregados, para execução da infraestrutura da ponte, apenas no início da produção de cada estação, atuando como equipamentos auxiliares para cravação da camisa guia metálica (caso esta seja necessária)



Figura 132: Martelele

2) Central de Lama Bentonítica

Apesar de não se constituir em um equipamento propriamente dito, a central de lama bentonítica (indicada na figura a seguir) é fundamental para a execução das fundações do elevado em estudo, envolvendo importantes materiais e equipamentos para sua confecção, como silos e condutos para lançamento da lama. A central de lama bentonítica deve ser montada adjacente ao elevado cuja fundação será executada, servindo para fornecer a lama utilizada para estabilizar a escavação (evitando a entrada de água e a desagregação de solo) dos estacões



Figura 133: Central de Lama Bentonítica



Figura 134: Central de Lama Bentonítica

3) Perfuratriz Hidráulica

A perfuratriz hidráulica (apresentada na figura a seguir) consiste em um equipamento empregado em dois momentos distintos da execução dos estações.

Primeiramente, é utilizada para realizar a perfuração do solo. Para isso, a perfuratriz usa uma ferramenta de escavação (trado) localizada na extremidade inferior de sua haste telescópica (a qual é impulsionada, adquirindo maior penetração, por uma central hidráulica que controla o chamado pull-down da haste). Em um segundo momento, a perfuratriz hidráulica é utilizada como equipamento auxiliar, servindo para içar e colocar a armadura dos estacões, evitando-se, com isso, o emprego de guindastes apenas para essa tarefa



Figura 135: Perfuratriz Hidráulica

4) Tremonha

O tubo tremonha corresponde ao tubo utilizado no processo de concretagem submersa que caracteriza a execução de elementos como estacões, estacas barrete e paredes diafragma (todos usuários de lama bentonítica). O tubo tremonha deve ter sua extremidade inferior posicionada cerca de 30 cm acima do fundo da escavação no início

da concretagem (sendo erguido conforme a evolução desta última) e ter sua extremidade superior acoplada a um “funil” (conforme indicado na figura seguinte) para permitir um adequado lançamento do concreto das fundações



Figura 136: Extremidade Superior do Tubo Tremonha

5) Caminhão Betoneira

Na atividade de produção de estações, o caminhão betoneira possui a função de fornecimento de concreto para o processo de concretagem, sendo utilizado devido à opção por não produzir concreto para fundações no local da obra



Figura 137: Caminhão Betoneira

6) Desarenador

Como ficará evidente posteriormente, durante a apresentação da seqüência construtiva das fundações do Elevado Tamanduateí, um dos mais importantes aspectos a serem considerados para a execução de estações consiste no controle da lama bentonítica quanto a aspectos como, por exemplo, sua densidade. Assim, para assegurar a formação de um cake (como é chamada a película impermeável que a lama bentonítica forma sobre o solo) adequado e, especialmente, para garantir uma concretagem com qualidade, a lama deve ter suas características dentro de certos limites (indicados em item subsequente). Para isso, um dos principais equipamentos empregados corresponde aos desarenadores, responsáveis por retirar materiais em suspensão na lama bentonítica, corrigindo a densidade da lama (ponto fundamental para que o concreto lançado, apresentando densidade superior à da lama, seja capaz de deslocá-la, substituindo-a no trecho escavado)



Figura 138: Desarenador em Operação

19.1.3. Seqüência Construtiva

Buscando caracterizar de forma completa a seqüência construtiva das fundações do elevado, deve-se preceder a mesma pela apresentação das condições de início de tal atividade, de tal forma que:

19.1.3.1. Condições de Início

Além da presença dos equipamentos anteriormente descritos, a execução dos estações do Elevado Tamanduateí só poderá ser iniciada após adequados isolamento e sinalização dos trechos da Rua Guamiranga, do shopping Center Central Plaza e, principalmente, dada sua maior movimentação, da Avenida Dr. Francisco Mesquita ocupados pelos equipamentos de fundações, especialmente a perfuratriz hidráulica e a central de lama bentonítica

19.1.3.2. Procedimentos

Estando cada via adjacente à obra devidamente sinalizada, o seguinte processo de execução de estações pode ser iniciado:

- 1) Primeiramente, deve-se, nos locais de execução dos estacões, posicionar e cravar elementos que servirão de guia para a perfuração executada pela perfuratriz hidráulica. Assim, com o auxílio de martelotes que propiciam vibração adequada à cravação dos citados elementos, são posicionadas as chamadas camisas guias metálicas com comprimento de cerca de 2 metros e diâmetro pouco superior (em torno de 10 cm) ao diâmetro dos estacões. Apenas após o término da concretagem das fundações, há a retirada destas camisas;
- 2) Estando as camisas metálicas cravadas nos pontos de execução dos estacões, o passo seguinte corresponde ao posicionamento e nivelamento da perfuratriz hidráulica junto às citadas camisas, objetivando-se, com isso, assegurar a verticalidade da haste telescópica da perfuratriz e, conseqüentemente, a verticalidade do furo a ser feito;
- 3) Após posicionar a perfuratriz, o processo de perfuração pode ser iniciado. Para isso, fornece-se torque adequado à perfuratriz que vai perfurando o terreno simultaneamente à adição de lama bentonítica no furo. Nesta etapa de execução dos estacões, dois controles contínuos devem ser executados. O primeiro corresponde à verticalidade da estaca e o segundo, às características da lama bentonítica (destacando-se os controles de viscosidade, de densidade, de conteúdo de areia e de presença de contaminantes), devendo-se providenciar correções imediatamente após a identificação de situações inadequadas. Assim, por exemplo no caso da lama bentonítica, após identificar parâmetros fora dos limites (estando tais limites indicados na tabela a seguir), pode haver a adição de produtos químicos na lama para que suas características adéqüem-se aos limites corretos. O processo de perfuração prossegue até que a cota estabelecida em projeto seja atingida ou até que o solo previsto pelos projetistas seja atingido;



Figura 139: Perfuração e Adição de Lama Bentonítica

Características	Intervalos dos Valores a 20°C	Método de ensaio
Densidade	1,02 a 1,10 g/cm ³	Balança de lama
Viscosidade	30 a 90 Seg	Método de Funil Marsh
PH	7 a 11	Papel de PH
Espessura do cake	1,0 a 2,0 mm	Filter Press
Teor de areia	Até 3%	Baroid Sand Content

Figura 140: Características Ideais de Lama Bentonítica

- 4) Com cota e tipos de solos previstos em projeto respeitados, encerra-se o processo de perfuração e inicia-se, com o desarenador, o processo de desarenação da lama bentonítica, fundamental para que sua densidade garanta uma concretagem sem problemas;
- 5) Após deixar a lama com características adequadas, faz-se a colocação da armação dos estacões (armação montada de acordo com o dimensionamento anteriormente apresentado). Para isso, utiliza-se a perfuratriz para içar a armação

que, com espaçadores para garantir adequado recobrimento, é posicionada no furo do estacão;



Figura 141: Colocação de Armação

- 6) O último passo da execução de estações envolve a colocação de tubo tremonha e a concretagem submersa até se atingir a cota de arrasamento. Neste ponto, deve-se controlar a qualidade do concreto, que deve possuir características como abatimento, compatíveis com a concretagem submersa

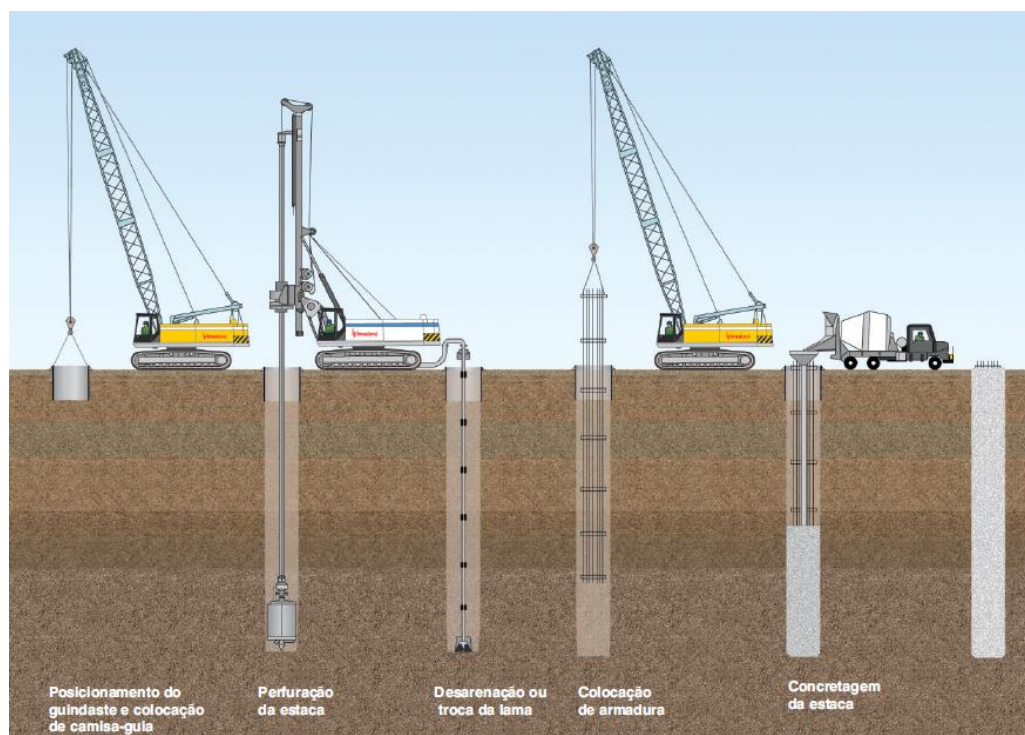
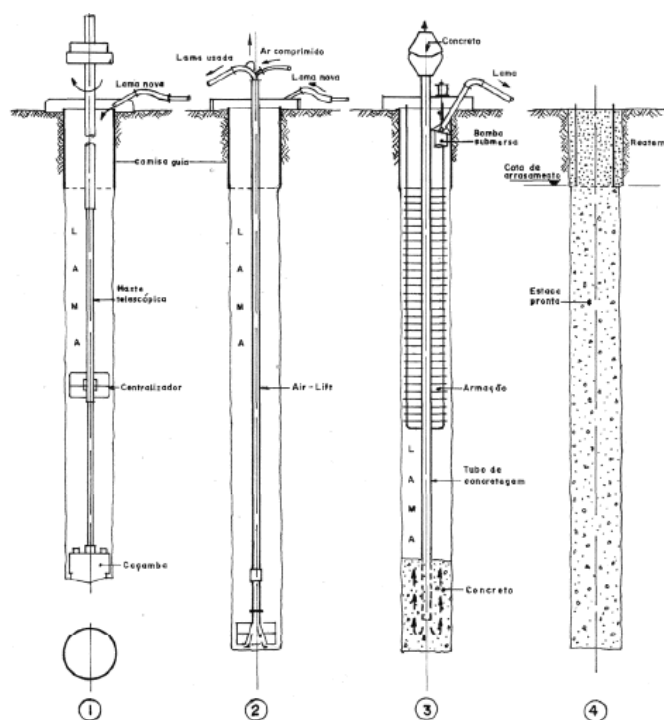


Figura 142: Seqüência de Execução de Estações



- 1) Escavação do solo pela ferramenta mecânica e estabilização do maciço através da lama bentonítica.
- 2) Troca da lama bentonítica utilizada durante a escavação.
- 3) Colocação da gaiola da armadura e concretagem submersa.
- 4) Estaca concluída.

Figura 143: Seqüência de Execução de Estações – Fonte: [HACHICH, 1998]

Para todos os 36 estações projetados, esta seqüência construtiva deve ser seguida, sempre dedicando-se grande atenção aos controles de verticalidade do furo, de qualidade da lama bentonítica e de qualidade do concreto descritos há pouco.

19.2. *Pilares do Elevado Tamanduateí*

19.2.1. Objetivo do Serviço

O serviço de pilares do Elevado Tamanduateí objetiva a produção da mesoestrutura do elevado, responsável pela transferência de cargas da superestrutura até as fundações da ponte. Serão executados 9 pilares com 1 m de largura e comprimento variando para acompanhar a inclinação da alma da superestrutura, sendo que no topo de todos os pilares o comprimento vale 4,5 m, diminuindo em direção à base. As alturas dos pilares são variáveis, devido à variação da cota do terreno e à declividade da própria ponte. Estas alturas possuem intervalo que vai desde 5,12 m, próximo ao encontro com o túnel, até 12,52 m, próximo à Estação Tamanduateí.

19.2.2. Equipamentos Requeridos

No caso da execução dos pilares do Elevado Tamanduateí, tem-se, como equipamento básico, o sistema de fôrmas empregado durante a concretagem (além de eventuais equipamentos para transporte do molde), tendo sido adotado, por motivos descritos a seguir, o sistema de fôrmas trepantes.

1) Fôrmas Trepantes

A execução dos pilares será dividida em etapas utilizando fôrmas trepantes, conforme citado há pouco. Tal sistema é ideal para execução de estruturas altas de concreto, com as concretagens sendo realizadas em etapas consecutivas e a estrutura subindo aos poucos. Esse sistema é composto por fôrmas que se apóiam em plataformas, as quais, por sua vez, fixam-se através de anéis ao segmento anteriormente concretado, conforme indicado na Figura 144.

As principais vantagens deste sistema e que justificam sua adoção na obra em questão são:

- Rapidez na execução da obra, que pode ser feita em questão de dias (apesar de apresentar velocidade inferior ao caso com fôrmas deslizantes, descartadas pelo elevado custo);

- Eliminação de andaimes e escoramentos, gerando mais economia;
- Precisão em termos de verticalidade, já que há maior facilidade no alinhamento;
- Possibilidade de executar estruturas inclinadas.



Figura 144: Pilares Executados com Fôrma Trepante



Figura 145: Fôrma Trepante em Detalhe

19.2.3. Seqüência Construtiva

De modo semelhante ao empregado para as Fundações do Elevado Tamanduateí, tem-se:

19.2.3.1. Condições de Início

Para que os pilares possam ter sua execução iniciada, é necessário que as fundações e o bloco sob o pilar que se deseja erguer estejam concluídos e que a armadura de espera para o pilar esteja devidamente limpa. Além disso, o sistema de fôrmas trepantes deve estar disponível na obra

19.2.3.2. Procedimentos

Considerando que a seqüência de execução dos pilares envolve, basicamente, a montagem de fôrmas, a colocação de armação e a concretagem de tais pilares, chega-se à seguinte seqüência:

- 1) Montagem do Sistema de Fôrmas através de seqüência que envolve, para situações com trechos já concretados:
 - 1.1) Montagem do conjunto de painéis de fôrma;
 - 1.2) Colocação das velas, vigas que fazem a união entre o conjunto de painéis de fôrma aos consoles trepantes;
 - 1.3) Montagem do sistema de cone e encaixe no concreto da primeira concretagem;
 - 1.4) Travamento com tubo e braçadeira do conjunto de consoles;
 - 1.5) Montagem da plataforma de trabalho em madeira;
 - 1.6) Içamento e colocação do conjunto de painéis sobre o conjunto de consoles

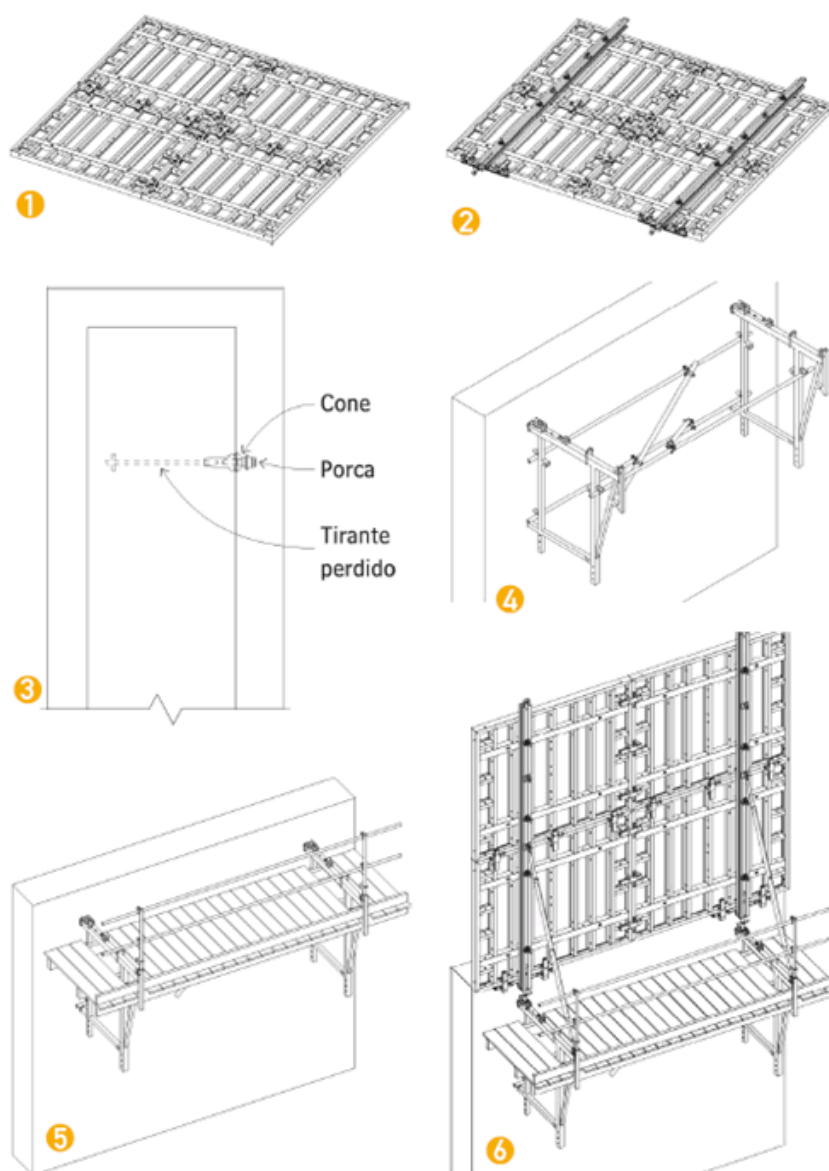


Figura 146: Seqüência de Montagem de Fôrmas Trepantes

2) Colocação da Armação;

3) Concretagem dos Pilares

Como os pilares serão executados em etapas de 2,44 m (altura comercial das fôrmas) para garantir a qualidade do lançamento e mistura do concreto e para assegurar a estabilidade das fôrmas, o procedimento anterior deve ser repetido até que todo o pilar seja concretado, sendo importante proceder, durante tal seqüência executiva, ao controle de alinhamento e nivelamento de fôrmas, ao controle de cobrimento da armação e ao controle de qualidade do concreto utilizado nos pilares.

20. Conclusão

Com a finalização deste Trabalho de Formatura, a respeito da Estação Tamanduateí do Metrô e do Elevado Tamanduateí, ficaram evidentes os processos e os conceitos envolvidos na concepção de linhas e estações do sistema metroviário de transportes.

Entretanto, mais do que averiguar o caráter de importância do Metrô, este documento possibilitou o contato com a escolha de métodos construtivos de elevados através de matrizes de decisão, indicando que, para o caso em estudo, o método de Lançamentos Progressivos era o mais adequado.

Aspectos como a reduzida área de canteiro requerida por este método, pequena interferência com o trânsito local e baixos consumos de materiais e de mão-de-obra foram fundamentais para a escolha da obra empurrada como solução para o Elevado Tamanduateí.

Contudo, a montagem de modelos estruturais, a realização da análise estrutural e o cálculo da protensão do Elevado Tamanduateí deixaram claros problemas e complicações do método de Lançamento Progressivo que impõem desafios ao projeto de pontes por tal método.

Dentre as principais dificuldades encontradas neste método pode-se citar a forte dependência da experiência de poucos engenheiros que dominam o método, a complexidade da ligação do bico com a estrutura e a complexa análise dos esforços para uma ponte com diferentes tamanhos de vãos (onde pequenas variações da posição da ponte resultam em variações não desprezíveis nos esforços obtidos), dificuldades estas que foram encontradas pelo grupo ao longo do desenvolvimento deste documento.

Além disso, quando considerados os problemas ressaltados no corpo deste relatório, como possibilidade de erros nos aparelhos de apoio, passa-se a entender o porquê tal método é preterido pelas construtoras, sendo de raro emprego no Brasil. Apesar destas complicações, não se pode abandonar o método de Lançamento Progressivo, pois suas vantagens o tornam altamente adequado para aplicações em locais isolados (onde pequenos canteiros sejam requeridos para minimizar impactos) ou em grandes centros urbanos que não disponham de espaço para movimentação de equipamentos pesados. O que se deve fazer, na verdade, é intensificar os estudos sobre o método e disseminar os conhecimentos adquiridos para que especialmente empreiteiros passem a considerar este método na pauta de soluções construtivas que podem ser adotadas em elevados.

21. Referências Bibliográficas

21.1. *Livros, Teses e Documentos*

MATHIVAT, Jacques. **Construcción de Puentes de Hormigón Pretensado por Voladizos Sucesivos**. Barcelona, 1980.

SPT, São Paulo Transporte S.A.. **Expresso Tiradentes: Corredor Parque Dom Pedro II – Cidade Tiradentes**. São Paulo, 2006.

SMT, Secretaria Municipal de Transportes. **A Reconstrução da Mobilidade**. São Paulo, 2002.

WAIMBERG, Marcelo. **O Método de Lançamentos Progressivos para a Execução de Pontes em Concreto Protendido**. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

SCHMID, Manfred Theodor. **A Construção e o Lançamento de Pontes pelo Processo dos Segmentos Empurrados**. 3ª Edição, Publicação Técnica Rudloff. São Paulo, 2005.

HACHICH, Waldemar. **Fundações – Teoria e Prática**. São Paulo, 1998

CNEC. **Estudo de Impacto Ambiental da Linha Vila Madalena – Vila Prudente**. São Paulo, 1991

LUZ, Walber. **Controle das Vibrações Induzidas pela Interação Dinâmica entre Trens-Trilhos-Dormentes-Estrutura de Aço de Pontes Ferroviárias**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008

METRÔ, Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Sistemas Atenuadores de Vibrações causadas pelo Tráfego de Trens**. São Paulo, 2007

MONTOYA, Jimenez. **Hormigón Armado**. Barcelona, 1981

CÔRREA, Flávia Cristina. **Impacto de uma Obra de Construção de Metrô com Sistema de Gestão Integrada e a Questão da Comunicação Social**. São Paulo, 2008

BARRETTO, Débora. **Impacto Sonoro da Implantação do Metrô considerando os Efeitos na Saúde da População**. Coimbra, 2008

RIBEIRO, Helena. **Estudo de Impacto Ambiental como Instrumento de Planejamento Urbano**. São Paulo, 2004

MAUBERTEC. **Trilho Continuamente Soldado (TCS) em Estruturas de Elevado**. São Paulo, 1996

BRAGA, Benedito. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo, 2006

21.2. Sites

PORTAL DA PREFEITURA DE SÃO PAULO – Disponível em <www.prefeitura.sp.gov.br>. Acesso no período de 2 a 6 de março.

PORTAL DA COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO – Disponível em <www.metro.sp.gov.br>. Acesso no período de 2 a 6 de março e em 25 de junho de 2009.

PORTAL DO PLANO INTEGRADO DE TRANSPORTE URBANO – PITU – Disponível em <www.pitu.stm.sp.gov.br>. Acesso em 04 de junho de 2009.

GOOGLE MAPS – Disponível em <www.maps.google.com>. Acesso em 26 de maio e 27 de junho de 2009.

21.3. Revistas

BRISO, Caio Barretto. Cuidado com a Cabeça. **Revista Veja São Paulo**, São Paulo, 2117, p. 25, 17 de junho de 2009.

GARRIDO, Juan. A Rede se amplia e gera mais interligações. **Revista Engenharia**, São Paulo, 587, p. 80, mai - jun, 2008.

LAIZA, Maria Cecília de Moraes et al. Estudos de previsão da demanda no Metrô. **Revista Engenharia**, São Paulo, 587, p. 122 - 125, mai - jun, 2008.

LAIZA, Maria Cecília de Moraes e DUARTE JUNIOR, Epaminondas. Evolução dos estudos de previsão de demanda. **Revista Engenharia**, São Paulo, 564, p. 90 - 92, jul - ago, 2004.

FARIA, Renato. Segmentos Empurrados. **Téchne**, São Paulo. Edição 113, Agosto, 2006.

REVISTA BRIDGE CONSTRUCTION PARTNER – VSL International. Págs 18-19.

TAKEUTI, Adílson Roberto. Sistemas Atenuadores de Vibrações em Vias Permanentes: ensaios, dimensionamento e homologação. **Revista Engenharia**, São Paulo, 587, p. 166 – 168, mai – jun, 2008

PAIVA, Cássio Eduardo Lima. Níveis de Ruído no interior dos trens metropolitanos, caso São Paulo. **Revista Engenharia**, São Paulo, 574, p. 86 – 88, mar – abr, 2006

21.4. *Documentos internos da CMSP*

METRÔ, Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Linha 2 – Verde - Trecho Ana Rosa - Oratório**: Resumo do Projeto e Avaliação Econômica do Empreendimento. Relatório Preliminar. São Paulo: 1998. Pág. 04 - 18.

METRÔ, Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Pesquisa Origem e Destino 1997**: Manual da Pesquisa Domiciliar. Revisão A. São Paulo: 1997. Pág. 05 e 06.

METRÔ, Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Por Dentro da Operação**. São Paulo: 2008.

METRÔ, Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Normas Complementares 03/80 – Tomo I e II**. São Paulo: 1980.

21.5. *Normas*

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção.** 1978

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR24 – Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho.** 1977

ABNT. NBR6118 – **Projeto de Estruturas de Concreto.** 2003

ABNT. NBR7187 – **Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Concreto Protendido.** 2003

ABNT. NBR8681 – **Ações e Segurança nas Estruturas.** 2004

ABNT. NBR6123 – **Forças Devidas ao Vento em Edificações.** 1988