

P4.1.3 - Plano de Negócios para Implantação, Construção, Manutenção, Conservação, Operação e Gestão

Termo de Contrato nº 31/2023/SMUL
Processos SEI nº 6068.2023/0008555-5;
6068.2024/0011208-2

Bonde São Paulo
Setembro / 2025



Projeto/Obra Bonde SP - VLT		Código BSP-03-2-PU-RT-001_B
		Processo SEI nº 6068.2024/0011208-2
Título Produto 4.1.3 – Plano de Negócios para Implantação, Construção, Manutenção, Conservação, Operação e Gestão		Emissão 04/06/2025
Emitente SP-URBANISMO Coordenação Marcos Aurélio Mesquita Alves CAU A26776-7 Responsável Técnico Eduardo Antonio Serrano CAU/CREA 0600655837		Ateste Secretaria de Urbanismo e Licenciamento – SMUL Responsável – Fiscalização Jayne Aparecida Silva de Andrade Data
Ficha Técnica SP Urbanismo Pedro Martin Fernandes (Presidente) Rafael Barreto Castelo da Cruz (Diretor) Marcos Aurélio Mesquita Alves (Gerente) Equipe Técnica SP Urbanismo Camila Nery Araujo Oliveira Cristiane Figueiredo A. Marques Juliana Meneses Bittencourt Júlio Cesar Arruda Júlio Ushiro Luiza Vidotto Bernardo Vanessa Luiza Coelho Kimura Estagiárias SP Urbanismo Barbara Maria Camilo da Fonseca Giovanna Alves de Goes Lillian Lima Alencar Ficha Técnica EPT Eduardo Antonio Serrano (Responsável Técnico) Douglas Marcondelli (Coordenador Geral)		Referências Observações Contratação SEI 6068.2023/0007445-6
Revisão	Data	Descrição
A	04/06/2025	Revisão A
B	19/09/2025	Revisão B



Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO OBJETO CONTRATADO	1
2. CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO	3
2.1. ESTRUTURA FÍSICA DO PROJETO	3
2.1.1. Traçado e linhas do VLT	3
2.1.2. Paradas de Embarque e Desembarque	8
2.1.3. Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM)	17
2.1.4. Urbanização	39
2.1.5. Sinalização Viária	41
2.2. MATERIAL RODANTE	43
2.2.1. Salão de Passageiros	47
2.2.2. Cabine	50
2.2.3. Sistemas Embarcados	51
2.3. ENERGIA	52
2.3.1. Sistema de Alimentação de Alta Tensão	53
2.3.2. Sistema de Alimentação de Média Tensão	54
2.3.3. Sistema de Alimentação de Baixa Tensão	55
2.3.4. Sistema de Alimentação de Tração	56
2.4. SISTEMAS	64
2.4.1. Sistema de Controle Centralizado	65
2.4.2. Sistema de Controle de Tráfego	68
2.4.3. Sistema de Controle Semafórico	71
2.4.4. Sistema de Telecomunicações	74
2.4.5. Sistema de Bilhetagem, Controle e Arrecadação de Passageiros	92
3. CARACTERIZAÇÃO DA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	95
3.1. ESQUEMA OPERACIONAL	95
3.1.1. Prestação do Serviço	95
3.1.2. Uso dos Títulos de Transporte	96
3.1.3. Condução dos Veículos	97
3.1.4. Operação das Portas	99
3.1.5. Supervisão dos Veículos	100



3.1.6.	Operação em Modo Degradado.....	101
3.1.7.	Limpeza	103
3.2.	PADRÕES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	104
3.2.1.	Horário de Funcionamento	104
3.2.2.	Intervalo entre Veículos	104
3.2.3.	Taxa de Ocupação	104
3.2.4.	Frota Reserva Operacional	105
3.2.5.	Linhas Operacionais	106
3.2.6.	Manutenção.....	108
3.3.	CRITÉRIOS DA SEGURANÇA OPERACIONAL	112
3.3.1.	Requisitos de Confiabilidade	115
3.3.2.	Requisitos de Segurança.....	117
4.	ESTIMATIVA DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO.....	122
4.1.	ESTRUTURA DO CAPEX.....	122
4.1.1.	Estimativa de Custo da Via Permanente	125
4.1.2.	Estimativa das Obras de Arte Especiais	126
4.1.3.	Estimativa de Custo das Paradas de Embarque e Desembarque	126
4.1.4.	Estimativa de Custo do Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM)	
	129	
4.1.5.	Estimativa de Custo da Requalificação Urbana do Entorno.....	130
4.1.6.	Estimativa de Custo do Material Rodante	137
4.1.7.	Estimativa de Custo da Alimentação Elétrica	138
4.1.8.	Estimativa de Custo da Sinalização e Controle	140
4.1.9.	Resumo da Estruturação do CAPEX	140
4.2.	ESTRUTURA DO OPEX	143
4.2.1.	Mão de Obra.....	144
4.2.2.	Energia de Tração	145
4.2.3.	Demais Custos Operacionais	149
4.2.4.	Resumo da Estruturação do OPEX.....	150
5.	MODELAGEM FINANCEIRA.....	152
5.1.	ESTRUTURA DOS CUSTOS DO PROJETO	153
5.2.	PARÂMETROS ECONÔMICOS E TRIBUTÁRIOS DA MODELAGEM.....	157



5.3. CENÁRIO 1: CONCESSÃO COMUM	158
5.4. CENÁRIO 2: CONCESSÃO PATROCINADA	159
5.5. COMPARATIVO ENTRE CENÁRIOS	163
5.6. CENÁRIO 3: CONCESSÃO COMUM	164
5.7. CENÁRIO 4: CONCESSÃO PATROCINADA	165
5.8. COMPARATIVO ENTRE CENÁRIOS 3 e 4.....	167
ANEXO A – INTERVENÇÕES POR CIRCUITO	169



1. INTRODUÇÃO

O presente relatório consiste no Produto 4.1.3 Plano de Negócio para Implantação, Construção, Manutenção, Conservação, Operação e Gestão do VLT, relacionado à Ordem de Serviço nº 04, no âmbito do Contrato nº 031/2023/SMUL, celebrado entre a Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento – SMUL e a São Paulo Urbanismo - SPUrbanismo.

1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO DO OBJETO CONTRATADO

O objeto do contrato em questão consiste na elaboração de Estudos Técnicos para subsídio à implantação do Veículo Leve sobre Trilhos – VLT, como parte do Plano de Requalificação Urbanística do Centro de São Paulo, com Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável.

O Programa de Requalificação Urbanística do Centro de São Paulo, com foco no Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável, consiste em uma série de intervenções urbanísticas projetadas para transformar e revitalizar o centro da cidade. Essas intervenções incluem, entre outras ações, a melhoria da segurança viária por meio da ampliação das faixas de pedestres, implantação de travessias elevadas, alargamento de calçadas e canteiros, além da criação de vias compartilhadas. A proposta também prevê a redução da velocidade máxima permitida nas vias, a requalificação dos pontos de parada de ônibus existentes e a expansão e aprimoramento do sistema ciclovitário.

Como parte do Plano de Requalificação Urbana, a implantação do Veículo Leve sobre Trilhos – VLT - será executada na região central de São Paulo com o objetivo de qualificar os deslocamentos a partir da mobilidade sustentável e de uma nova alternativa de transporte integrada às demais ações para requalificação do centro.

Além disso, o VLT articula-se com a requalificação de espaços públicos, promovendo a expansão de áreas verdes e permeáveis, a dinamização da economia local e a revisão do modelo rodoviário de transporte. A proposta inclui a ampliação das calçadas, a criação de



vias compartilhadas e a integração intermodal que facilitará os deslocamentos a pé, de bicicleta e em transporte público.

O VLT possibilitará a sinergia entre mobilidade urbana, transporte público, patrimônio histórico ambiental, dentre outras vertentes que constituem a cidade.

A proposta de inserção do VLT busca qualificar o atendimento pelo transporte coletivo na região central, ampliando a capilaridade de atendimentos no sistema viário e criando um anel central, que possibilitará conexões perimetrais aos principais eixos radiais de transporte público coletivo que se destinam à região central, tais como: Av. São João, Av. 9 de Julho, Av. 23 de Maio, Av. do Estado, Av. Alcântara Machado, Av. Celso Garcia e Av. Tiradentes.

O Circuito Azul atenderá a rótula central conectando os eixos radiais viários e permitindo a integração com o sistema metroferroviário, assim ampliando a conectividade do transporte coletivo na região central. O Circuito Vermelho fará a ligação entre o centro e o bairro do Bom Retiro, estruturando o atendimento nessa área e qualificando o sistema existente.

2

Este relatório apresenta como resultado a pré-modelagem econômica e financeira da proposta e do fundo para construções e operação do sistema de VLT. Isso será possível a partir de definição de diretrizes técnicas do traçado, linhas e aspectos operacionais, caracterização das edificações, obras civis, sistemas de rede, sinalização e sistemas tarifários, bem como da caracterização e dimensionamento da frota por tipo de serviço e desempenho operacional (aceleração, desaceleração, rampa máxima, raio de curva etc.), e fornecimento de energia para atender os padrões de serviços pré-determinados (estudo das tecnologias disponíveis) e identificação dos padrões de operação e manutenção e dos critérios da segurança operacional.

Desta forma, foi possível criar uma estimativa de custos de implantação e operação do Sistema do VLT, que inclui planilha orçamentária contendo os itens, quantidades e preços unitários referenciais envolvendo via eletrificada, material rodante e tecnologia.



2. CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO

Este capítulo traz a definição de diretrizes técnicas de traçado e linhas, a caracterização das edificações, obras civis, sistemas de rede, sinalização, sistemas tarifários e frota, bem como fornecimento de energia para atender os padrões de serviços pré-determinados (estudo das tecnologias disponíveis).

Para atender tais itens, a caracterização do projeto foi dividida nos seguintes temas: (i) estrutura física do projeto, abordando as linhas e o traçado do VLT, as paradas de embarque e desembarque, o Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM) que inclui pátio de manutenção e estacionamento de veículos, as obras de urbanização e sinalização viária; (ii) material rodante, com as principais características do material rodante, incluindo diretrizes para o salão de passageiros, cabine e sistemas embarcados; (iii) energia, que consiste em um estudo das tecnologias disponíveis para os sistemas de alimentação; (iv) sistemas, com a caracterização do sistema de controle central, sistema de controle de tráfego e semafórico, sistemas de telecomunicações e sistema de bilhetagem, controle e arrecadação.

3

2.1. ESTRUTURA FÍSICA DO PROJETO

No que se refere a estrutura física do projeto, foram desenvolvidos no âmbito do Contrato nº 32/2023/2023, os seguintes anteprojetos para viabilizar a implantação do VLT: interferência, geometria de via permanente, sinalização, remanejamento de interferências, desvio de tráfego, urbanismo, paisagismo, iluminação pública, comunicação visual. Ainda serão desenvolvidos no escopo do Contrato nº 12/2024/SMUL os anteprojetos de paradas de embarque e desembarque, pátio de manutenção e Centro Integrado de Operação e Manutenção - CIOM. Nesses documentos, é possível encontrar maior detalhamento sobre o projeto.

2.1.1. Traçado e linhas do VLT

O estudo de traçado do VLT no centro de São Paulo resultou na formulação de um conjunto de alternativas técnicas com o objetivo de estruturar dois circuitos independentes



e complementares: o Circuito Azul, voltado à rótula central e eixos radiais do centro expandido, e o Circuito Vermelho, responsável pela conexão entre a região da Luz e o bairro do Bom Retiro.

Durante o desenvolvimento das propostas, foram analisadas diversas alternativas de traçado, visando minimizar os trechos de operação em contrafluxo em relação ao tráfego veicular, ampliar a conectividade com outros modos de transporte e reduzir conflitos com a infraestrutura urbana existente. Buscou-se ainda a adoção preferencial do traçado no bordo externo das vias, ou seja, junto ao passeio, e foram consideradas as áreas ocupadas pela concessionária em dias de eventos no Vale do Anhangabaú e a previsão de paradas com capacidade para cinco carros. Atualmente, duas opções do Circuito Azul são válidas e estão em avaliação, sendo: Opção 0, denominada Original, e Opção 1, denominada Alternativa.

A Opção 0 do Circuito Azul – Original considera o traçado proposto inicialmente em um sentido único – solução original, com os dois sentidos (horário e anti-horário) no mesmo traçado e apenas na Praça da Sé, Praça da República e no perímetro da Av. Senador Queiroz, R. Carlos Souza Nazaré e Av. Prestes Maia há a distribuição em vias diferentes.

Em diversos segmentos, um dos sentidos do VLT deverá operar no contrafluxo ao tráfego veicular existente e para minimizar esta situação, trechos da Av. Ipiranga e da Rua da Consolação, poderão ter a inversão do sentido de circulação viária para viabilizar o traçado proposto. Esta opção contempla a construção de uma obra de arte exclusiva ao VLT sobre o Rio Tamanduateí, com o objetivo de reduzir conflitos com a circulação atual no Viaduto 25 de Março, que é um importante eixo de conexão com a região do Brás.

O circuito totaliza 11,7 km de extensão, onde o sentido horário terá uma extensão aproximada de 5,7 km e o sentido anti-horário terá uma extensão de 6,0 km. A maior parte do traçado será implantada sobre as faixas de rolamento existentes, com intervenções mínimas em áreas destinadas a pedestres.

A Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul procura outro caminho para o sentido contrário, buscando minimizar os trechos onde o VLT circule em mão contrária ao sentido do tráfego de veículos atual (alternativa com os sentidos em traçados diferentes). O contrafluxo do



VLT ocorrerá na R. Cel. Xavier de Toledo, Av. São Luís, Av. Ipiranga e Av. São João. Além disso, esta alternativa impacta áreas exclusivas para pedestres, especialmente toda a extensão da Rua Direita.

A opção 1 abrange aproximadamente 4,9 km de extensão no sentido horário e 6,0 km no sentido anti-horário, sendo implantado principalmente em faixas de rolamento veicular (cerca de 2,6 km) e em faixas prioritárias para transporte coletivo (2,2 km). Há também trechos sobre calçadas e calçadões (até 1,7 km), com remoção de vagas de estacionamento em alguns pontos — aproximadamente 700 metros (140 vagas) em um sentido e 200 metros (40 vagas, incluindo ponto de táxi) no outro. A proposta afeta cerca de 350 metros de ciclofaixas. A maior parte da implantação exige ocupação parcial da via para execução das obras civis, com impacto adicional nas áreas lindeiras ao traçado.

De forma sintética o Quadro a seguir apresenta as principais intervenções previstas durante a implantação de uma das duas opções de traçado do Circuito Azul, detalhando os elementos de infraestrutura afetados, os trechos com alterações viárias e o tipo de ocupação proposto para cada segmento. Essa consolidação permite uma visão comparativa entre as alternativas descritas na Etapa 3 – Desenvolvimento de Pesquisas de Campo da elaboração de Estudos Técnicos Urbanísticos elaborados como subsídio à implantação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), facilitando a análise técnica e a tomada de decisão quanto à viabilidade e aos impactos de cada opção. No Anexo A, é apresentado de modo detalhado onde se localizam os trechos correspondentes a cada uma das intervenções listadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Comparativos das intervenções das opções do Circuito Azul

Obras Civis	Opção 0 - Original		Opção 1 - Alternativa	
	Horário	Anti-horário	Horário	Anti-horário
Retirada de faixa veicular (km)	1,97	1,3	1,57	2,65
Retirada de vagas de estacionamento (km)	0,345	0,2	0,695	0,2
Retirada de faixa prioritária de transporte coletivo (km)	2	3,01	0,8	2,26
Construção de transposição (km)	0,5	0,5	-	-
Retirada de calçada ou calçadão (km)	0,835	0,57	1,735	0,57
Retirada de ciclofaixa (km)	0,06	0,45	0,06	0,35
Realinhamento de calçadas em vias de intervenção (km)	0,1	0,2	-	0,2



Calçadas lindeiras afetadas na obra (km)	3,54	3,76	2,14	4,86
Ciclofaixas lindeiras afetadas na obra (km)	-	1,2	0,27	0,27
Número de paradas de VLT executadas	10	13	10	13
Operação				
Circulação no contrafluxo (km)	1,79	0	1,49	-
Mudança de mão de direção (km)	1,4	0	-	-
Extensão do circuito (km)	5,71	6,03	4,86	6,03

Em relação ao circuito às obras civis, o Circuito Azul - opção 1 afeta uma extensão maior do sistema viário, comparando-o com a opção 0, mas afeta menos áreas destinadas à circulação prioritária do transporte público coletivo. As duas opções também impactam a circulação de pedestres e bicicletas, sendo necessário avaliar opções que garantam a continuidade e segurança dos trajetos nas áreas afetadas. Em relação às interferências relacionadas à circulação e estacionamento dos demais modos motorizados, ambas as alternativas geram impactos pontuais, sendo que na opção 0 há a proposta de alteração de mão de direção, que afeta a circulação e o uso do solo local.

É importante notar que os dados deste estudo de traçado são preliminares e serão detalhados no projeto, podendo haver alterações em relação às informações aqui apresentadas. Um exemplo disso foi a inclusão de mais um ponto de parada durante o desenvolvimento do anteprojeto, totalizando assim em 24 paradas no Circuito Azul.

Em relação ao Circuito Vermelho, não foram propostas novas alternativas, pois o traçado já considera o sentido único nas vias, reduzindo assim as interferências com o viário existente, além, de já considerar a melhor utilização de vias na região da implantação do VLT.

O traçado percorre uma área com elevado potencial de desenvolvimento urbano, contribuindo para a melhoria da acessibilidade local por meio do transporte público coletivo. No entanto, a presença da linha férrea em superfície nas proximidades da Estação da Luz impõe uma restrição física significativa, limitando a continuidade do traçado e impedindo a configuração de um circuito completo. Como alternativa, a proposta estabelece um ponto de conexão na transposição existente pelo Viaduto General Couto de Magalhães. Além disso, prevê-se a circulação do VLT em contrafluxo ao tráfego



veicular na Rua José Paulino, visando a integração do trajeto com o tecido urbano da região.

O Circuito Vermelho possui uma extensão aproximada de 5,9 km. Desse total, cerca de 2,5 km estão inseridos em faixas de rolamento veicular, enquanto aproximadamente 2,8 km ocupam áreas atualmente destinadas ao estacionamento – impactando a disponibilidade de vagas nas seguintes vias: Rua Mamoré (400m), Rua Sólon (200 m), Rua do Areal (250 m), Rua José Paulino (900m), Rua Mauá (150m), Avenida Cásper Líbero (250 m) e Rua Prates (700 m). Não há trechos previstos em faixas prioritárias para o transporte coletivo. A proposta inclui ainda a utilização de cerca de 200 metros de calçadas ou calçadões, além da realocação de 350 metros de ciclofaixa existente na região central. Ao longo do traçado, está prevista a implantação de 13 paradas de embarque e desembarque, distribuídas de forma a atender os principais pontos de interesse do percurso.

Quadro 2 – Intervenções do Circuito Vermelho

7

Circuito Vermelho	
	Obras Cíveis
Vias afetadas (km)	5,9
Retirada de faixa veicular (km)	2,5
Retirada de vagas de estacionamento (km)	2,8
Retirada de calçada ou calçadão (km)	0,2
Retirada de ciclofaixa (km)	0,4
Realinhamento e redução de calçadas em vias de intervenção (km)	0,8
Calçadas lindeiras afetadas na obra (km)	4,2
Ciclofaixas lindeiras afetadas na obra (km)	1,6
Número de paradas de VLT executadas	13
	Operação
Circulação no contrafluxo (km)	1,2
Extensão do circuito (km)	5,9

No Anexo A, é apresentado de modo detalhado onde se localizam os trechos correspondentes a cada uma das intervenções listadas no Quadro 2. As maiores intervenções do Circuito Vermelho afetarão áreas de estacionamento e adequação de área de calçada. Considerando a oportunidade de o VLT dinamizar o uso do solo, gerando maior atratividade local, é fundamental considerar que estudos complementares poderão



subsidiar mudanças de circulação e ampliação de áreas peatonais e de circulação de bicicletas na região.

2.1.2. Paradas de Embarque e Desembarque

O conceito arquitetônico das paradas do VLT no centro de São Paulo foi desenvolvido com base nas diretrizes do Programa de Requalificação Urbanística da região central, tendo como pilares principais como a integração urbana, a sustentabilidade e a identidade visual.

As paradas serão mais do que pontos de embarque e desembarque, elas funcionarão também como espaços integrados ao ambiente urbano, pensados para promover a requalificação urbana. A proposta prevê estruturas visualmente permeáveis, adaptadas ao entorno, com dimensões flexíveis conforme as características locais. O projeto prioriza acessibilidade universal, com pavimentação regular, rampas, piso tátil e guarda-corpos.

Pensando na sustentabilidade, devem ser adotadas soluções como painéis fotovoltaicos integrados às coberturas, vegetação nas bordas das plataformas ou nas áreas próximas, quando não for possível dentro da parada, sistemas de nebulização, pontos de água potável, recarga de aparelhos e coleta seletiva. A vegetação será escolhida de forma a não interferir nos trilhos nem danificar o pavimento.

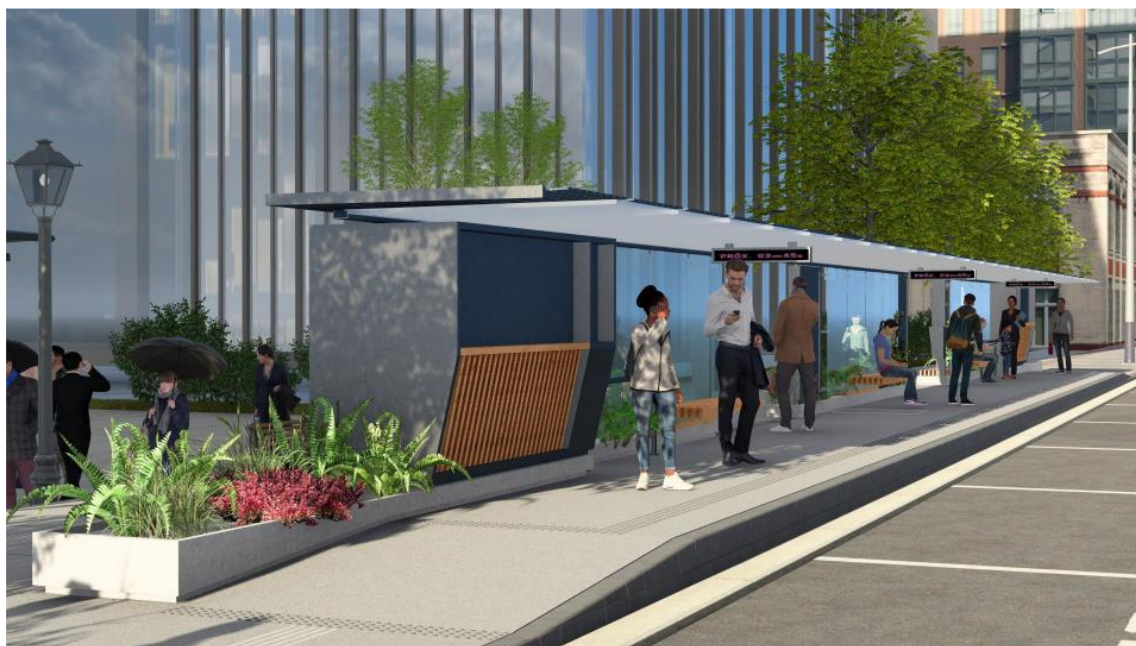
Quanto à identidade e comunicação, todas as paradas seguirão um padrão visual único, com pavimentação específica, sinalização tátil e painéis informativos – estáticos e eletrônicos – que fornecem dados em tempo real aos usuários. A proposta ainda contempla painéis educativos, publicidade e possibilidade de pequenos quiosques, reforçando o papel das paradas como espaços ativos e acolhedores no espaço público.

Adicionalmente, foram previstas diretrizes específicas para garantir a convivência com árvores existentes, prevendo estruturas de proteção como arvoreiras metálicas, ao mesmo tempo em que se assegura uma faixa contínua livre para circulação segura dos passageiros, inclusive com mobilidade reduzida.



Assim, as paradas do VLT foram concebidas como elementos catalisadores de uma mobilidade urbana mais humana, eficiente e sustentável, contribuindo diretamente para a qualificação do centro de São Paulo.

Figura 1 - Conceituação da Parada de Embarque e Desembarque - Plataforma.



Fonte: Núcleo de Desenho Urbano – NDU/DUU - SPUrbanismo, 2024.

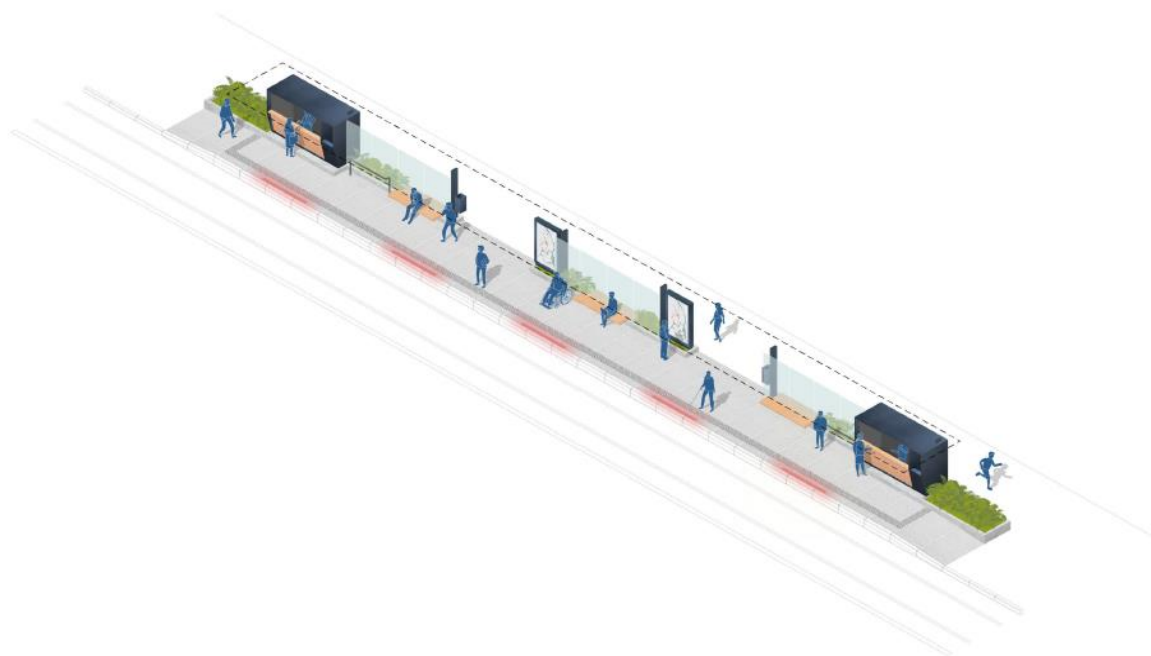
As diretrizes técnicas, elaboradas pelo Núcleo de Desenho Urbano, das paradas de embarque e desembarque apresentam três tipologias, cujas características são apresentadas a seguir, sendo: plataforma, abrigo, totem.

A **plataforma** é a tipologia cuja área de parada é mais completa, contemplando faixa de segurança, faixa livre e faixa multiuso. A plataforma é projetada com nivelamento adequado para o acesso ao VLT, garantindo acessibilidade universal em locais onde há mais de 6 m de largura sem obstáculos. As plataformas foram projetadas com largura de 3,15 m e comprimento de 44 m, considerando a acessibilidade e o desenho universal de forma que estão previstas áreas de embarque, circulação e permanência. A conceituação considera ainda a integração ao ambiente urbano, estrutura com resiliência e durabilidade, mobiliário de apoio com ergonomia, opções de estar, recarga de eletrônicos e bebedouros, e ainda totens informativos que permitam ações de educação e informação ambiental,



coleta de resíduos específicos e publicidade. Os aspectos climáticos também foram considerados com cobertura, na qual é proposta a instalação de painéis fotovoltaicos, iluminação adequada e nebulizadores. Além disso, há possibilidade de exploração comercial de quiosques. Ainda, vale destacar que, de acordo com o anteprojeto de parada, a plataforma da Av. Ipiranga trata-se de uma plataforma dupla no canteiro central, atendendo aos dois sentidos do circuito.

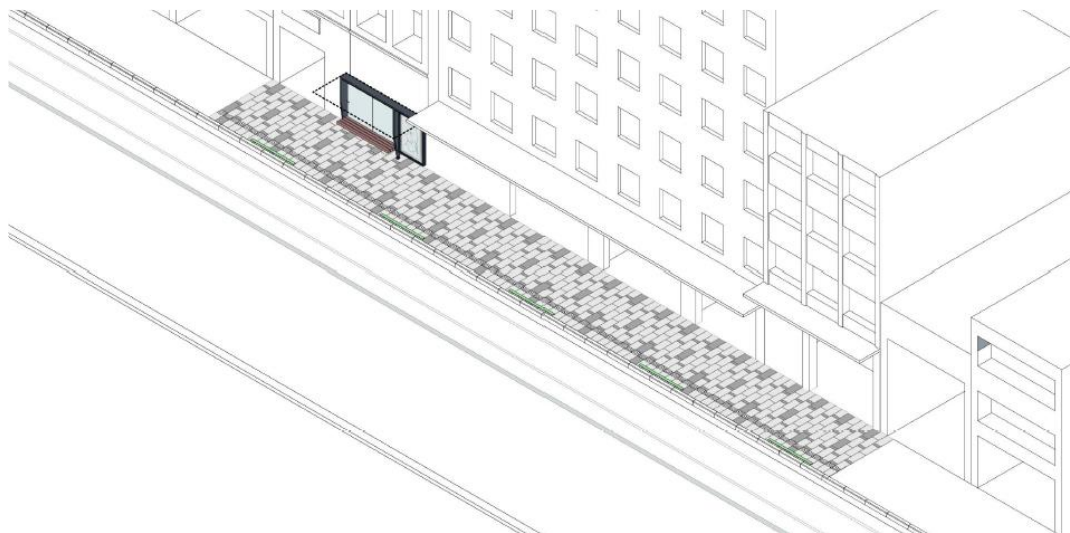
Figura 2 - Tipologia da Parada - Plataforma.



Fonte: Núcleo de Desenho Urbano – NDU/DUU - SPUrbanismo, 2024.

A segunda tipologia é a chamada **abrigo**. A área do abrigo contempla a diferenciação no pavimento da parada, com iluminação no chão, sinalização tátil e um abrigo com cobertura, área para sentar, espaço para pessoas com mobilidade reduzida e totem informativo, localizado no início da demarcação. As paradas do tipo abrigo serão instaladas em locais com largura entre 3 e 6 m, onde há acessos e interferências.

Figura 3 - Tipologia da Parada - Abrigo.

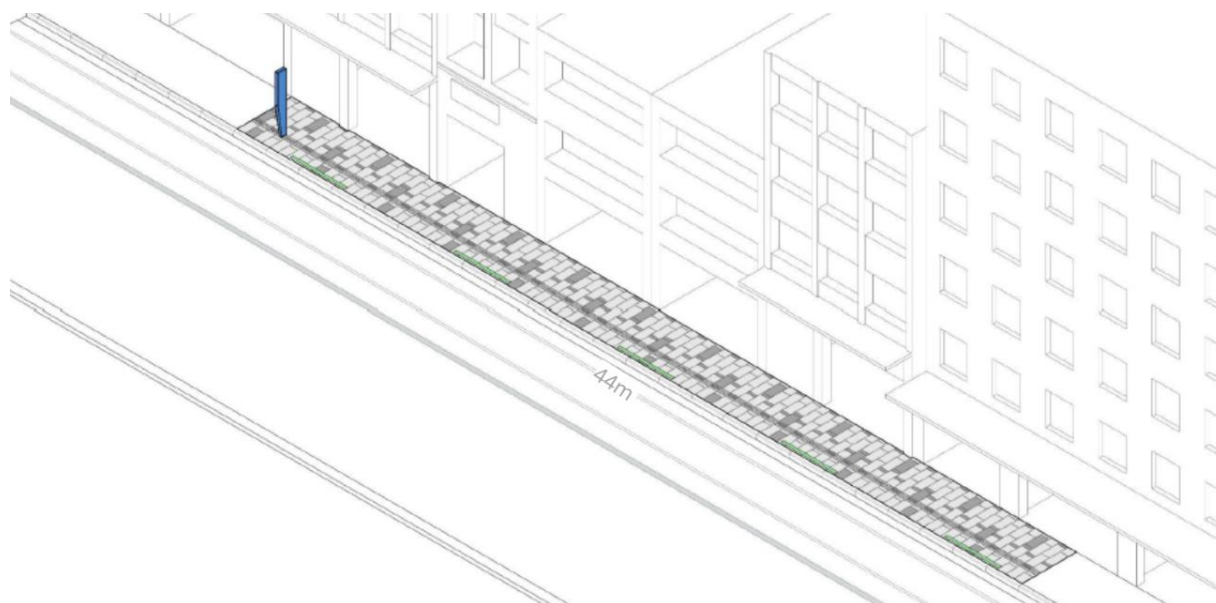


Fonte: Núcleo de Desenho Urbano – NDU/DUU - SPUrbanismo, 2024.

Por fim, a tipologia de parada mais simples é o **totem**. A área do totem apresenta diferenciação no pavimento da parada, com iluminação no chão, sinalização tátil e um totem localizado no início da demarcação, indicando a parada. se refere aos locais com menos de 3 m de largura, composto por fachadas comerciais.

11

Figura 4 - Tipologia da Parada - Totem.



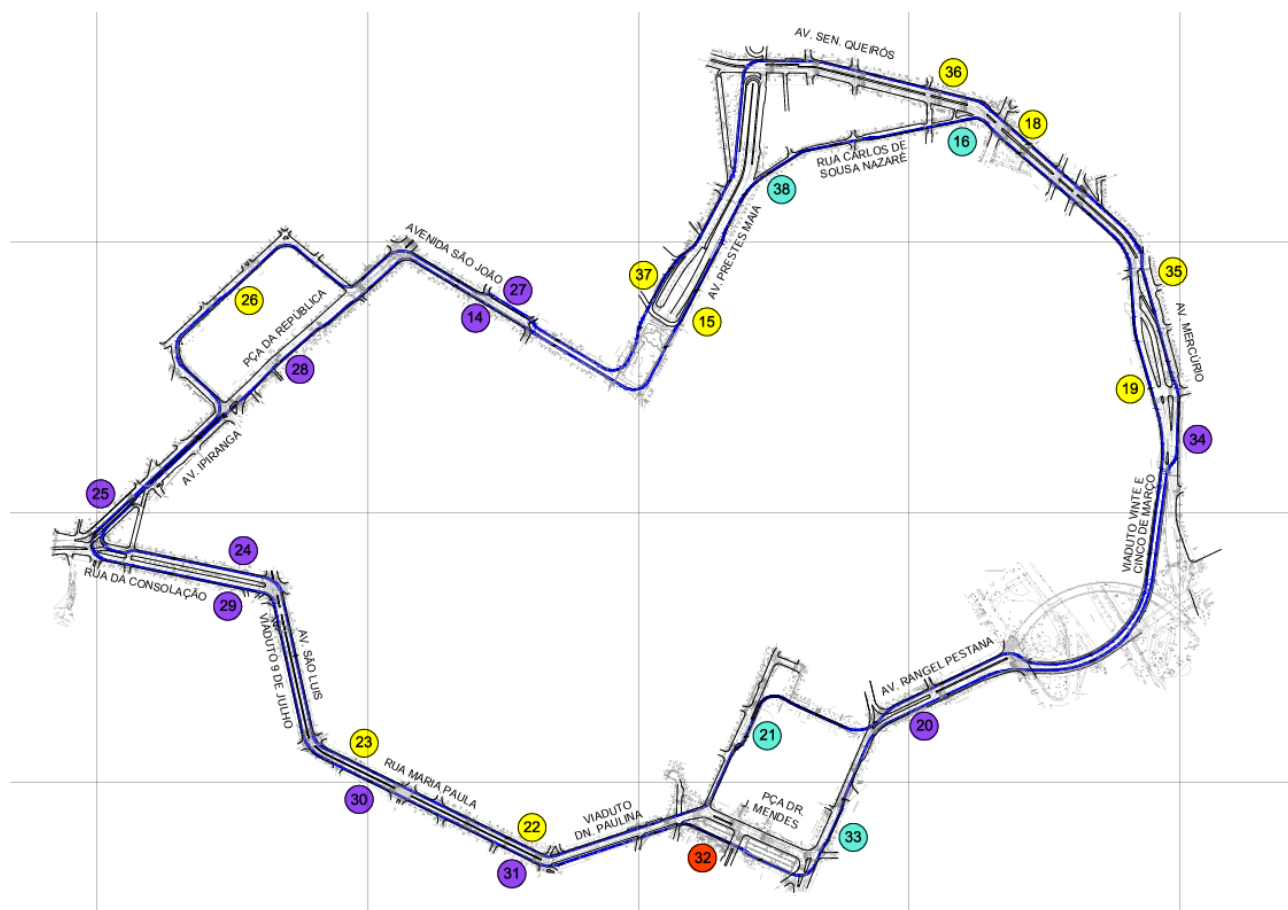
Fonte: Núcleo de Desenho Urbano – NDU/DUU - SPUrbanismo, 2024.



Além dos três tipos de parada, no traçado atualmente previsto, um dos pontos de parada a ser considerado é na Praça Dr. João Mendes, onde já existe um ponto de parada que deve passar por revitalização para atender à demanda do projeto do VLT.

No anteprojeto geométrico foram definidos os pontos de localização das paradas ao longo do traçado do VLT, tomando como base as diretrizes técnicas estabelecidas no Caderno de Encargos Técnicos - Projeto Conceitual das Estações de Parada do VLT, elaborado pelo Núcleo de Desenho Urbano, da Diretoria de Desenvolvimento Urbano, da SPUrbanismo.

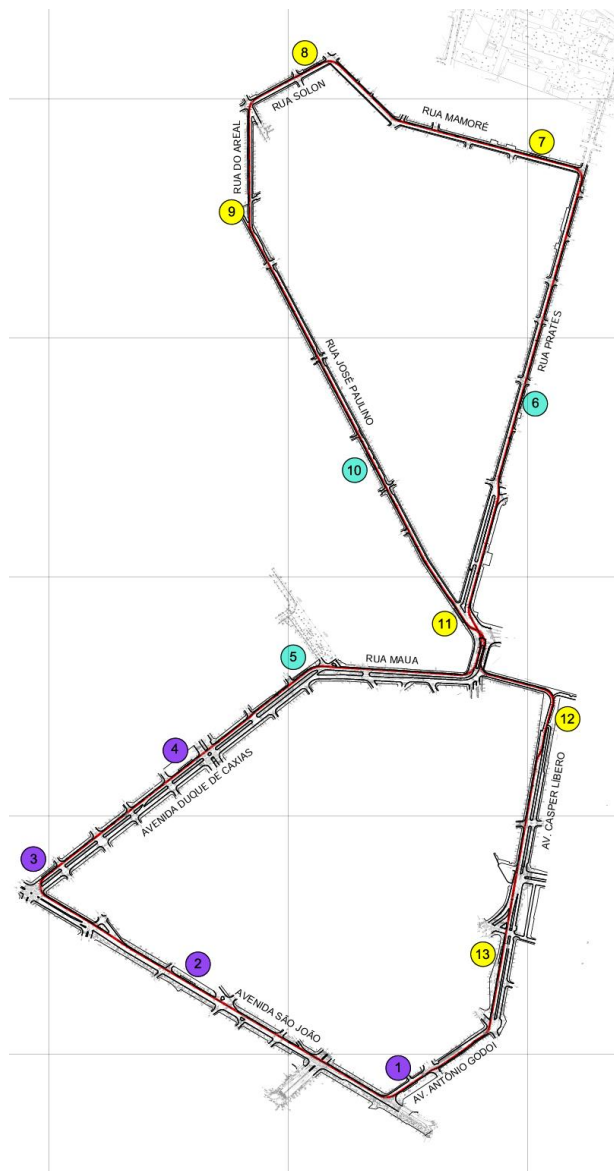
Figura 5 – Paradas de Embarque e Desembarque – Circuito Azul – Opção 0.



Fonte: Anteprojeto geométrico



Figura 6 – Paradas de Embarque e Desembarque – Circuito Vermelho.



Fonte: Anteprojeto geométrico

A definição desses locais levou em consideração o objetivo de assegurar a integração do sistema ao tecido urbano e ampliar o acesso ao transporte público de forma eficiente e qualificada. As paradas foram posicionadas de modo estratégico para atender aos principais pontos de interesse da região central, como polos comerciais, áreas com grande fluxo de pedestres, equipamentos públicos e conexões com outros modais, contribuindo para a requalificação e dinamização do centro da cidade.



Com base nisso, o VLT do Centro contempla um total de 37 paradas, sendo 13 paradas no Circuito Vermelho e 24 paradas no Circuito Azul. As paradas foram classificadas nas 3 tipologias (Plataforma, Abrigo e Totem) e a reforma da parada existente. Sendo que o quadro a seguir apresenta o quantitativo por tipologia e circuito:

Quadro 3 – Quantitativo de paradas por tipologia e circuito.

Tipologia	Circuito Vermelho	Circuito Azul		Total
		Sentido horário	Sentido anti-horário	
Plataforma	7	3	7	17
Abrigo	3	4	5	12
Totem	3	3	1	7
Parada existente	-	-	1	1
Total	13	10	14	37

Fonte: Anteprojeto de paradas - Rev. B

Sobre o dimensionamento das paradas, convém destacar que foi considerado um comboio de até 7 carros para o sistema do VLT, resultando em uma parada com 44 metros de comprimento. Nas plataformas onde se considere uma elevação do acesso, a fim de nivelar o embarque ao VLT de maneira mais prática, deve-se prever uma distância de 32 centímetros entre o nível da rua/trilho e o acesso à plataforma.

Nas plataformas que exigem rampas de acesso, o comprimento total da parada deve ser de no mínimo 44 metros, toda coberta, com as rampas de acessibilidade externas aos 44 m, enquanto para os abrigos e totens, o comprimento mínimo recomendado é de 44 metros. Todas as paradas devem contar com faixa de segurança, incluindo o piso tátil de alerta.

As paradas foram concebidas com o objetivo de promover uma integração qualificada com o ambiente urbano, respeitando as particularidades de cada local onde estão inseridas.

Os equipamentos, estruturas e os elementos de comunicação visual foram cuidadosamente planejados para garantir uma leitura rápida, clara e intuitiva por parte dos usuários, respeitando as áreas de aplicabilidade previamente definidas no projeto.



Com foco na durabilidade e na eficiência operacional, os materiais escolhidos privilegiam a fácil manutenção, permitindo intervenções rápidas e de baixo custo ao longo do tempo. Além disso, foram adotadas soluções construtivas sustentáveis, com uso de materiais que oferecem conforto térmico e contribuem para a redução do impacto ambiental.

O Quadro a seguir apresenta um resumo dos equipamentos, estruturas e elementos que contém cada tipologia de parada.

Quadro 4 – Elementos presentes nas paradas por tipologia e circuito.

Tipo	Plataforma s/ quiosque	Plataforma c/ quiosque	Abrigo	Totem
Quiosque		x		
Bebedouro	x	x		
Nebulizador	x	x		
Lixeira	x	x		
Totem Informativo de LED	x	x	x	
Floreiras	x	x		
Banco de Madeira	x	x	x	
Divisória de Vidro	x	x	x	
Cobertura (3,75m x 1,6m)			x	
Cobertura c/ Painéis Fotovoltaicos	x	x		
Iluminação	x	x	x	
Iluminação no Chão	x	x	x	x

Fonte: Anexo III Caderno de encargos técnicos

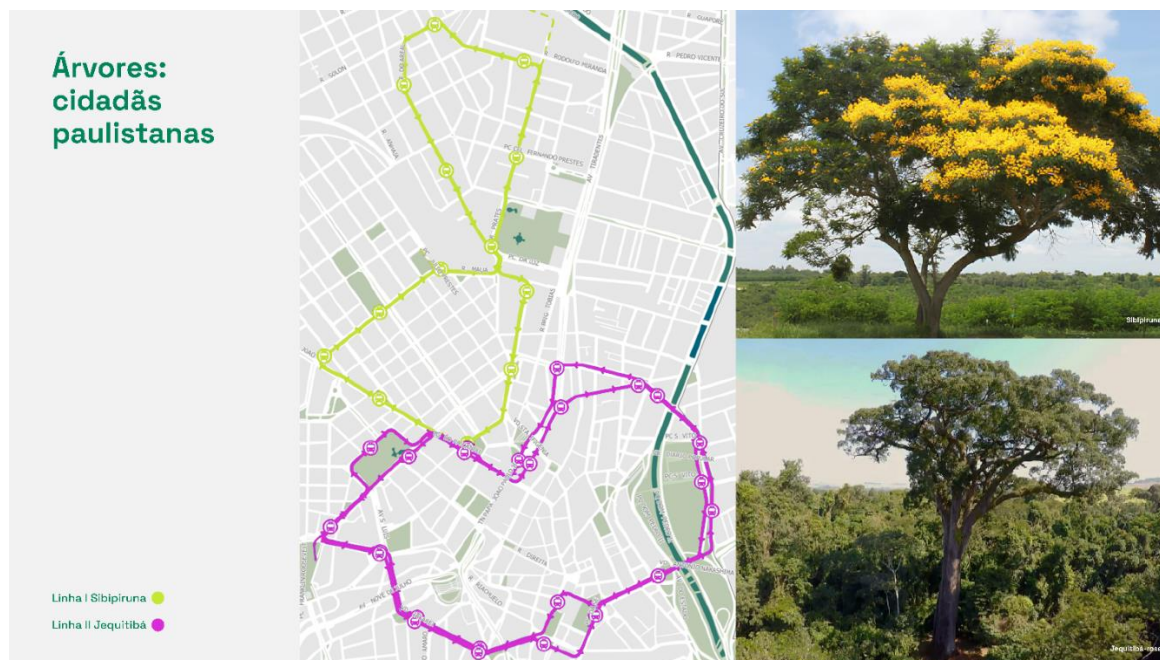
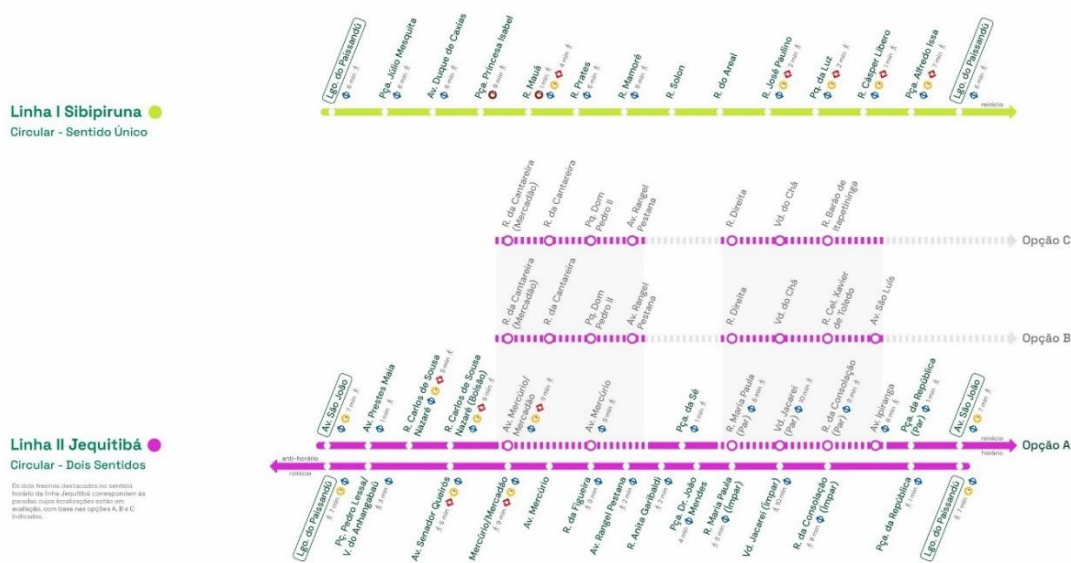
Encontra-se em avaliação, no âmbito do projeto de comunicação, a nomenclatura do Circuito Azul como “Linha Jequitibá” e do Circuito Vermelho como “Linha Sibipiruna”, conforme representado no diagrama de linhas a seguir. A escolha dos nomes como espécies de árvores nativas da Mata Atlântica brasileira reforça o compromisso do projeto com a sustentabilidade, a mitigação da crise climática e a promoção de uma requalificação urbana de qualidade. Tanto o jequitibá quanto a sibipiruna são árvores amplamente



recomendadas para arborização urbana, especialmente para o plantio em calçadas, o que reforça a conexão entre mobilidade, meio ambiente e qualidade de vida.

Figura 7 – Diagrama de linhas proposto pelo projeto de comunicação.

Mapa da rede



Fonte: Anteprojeto de comunicação



2.1.3. Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM)

O anteprojeto de pátio de manutenção e Centro Integrado de Operação e Manutenção - CIOM é escopo do Contrato nº 12/2024/SMUL, sendo a entrega do produto prevista para 30/09/2025. Assim, até a conclusão deste relatório, o anteprojeto ainda não foi concluído, tendo utilizado para o desenvolvimento deste relatório o projeto funcional, sem detalhamentos específicos sobre os equipamentos, fluxos operacionais e arranjos internos. Dessa forma, este item inicialmente caracteriza o CIOM com base nos estudos já realizados, e em seguida apresenta diretrizes técnicas para dimensionamento de áreas e edificações, as quais deverão orientar os aprofundamentos a serem desenvolvidos no anteprojeto.

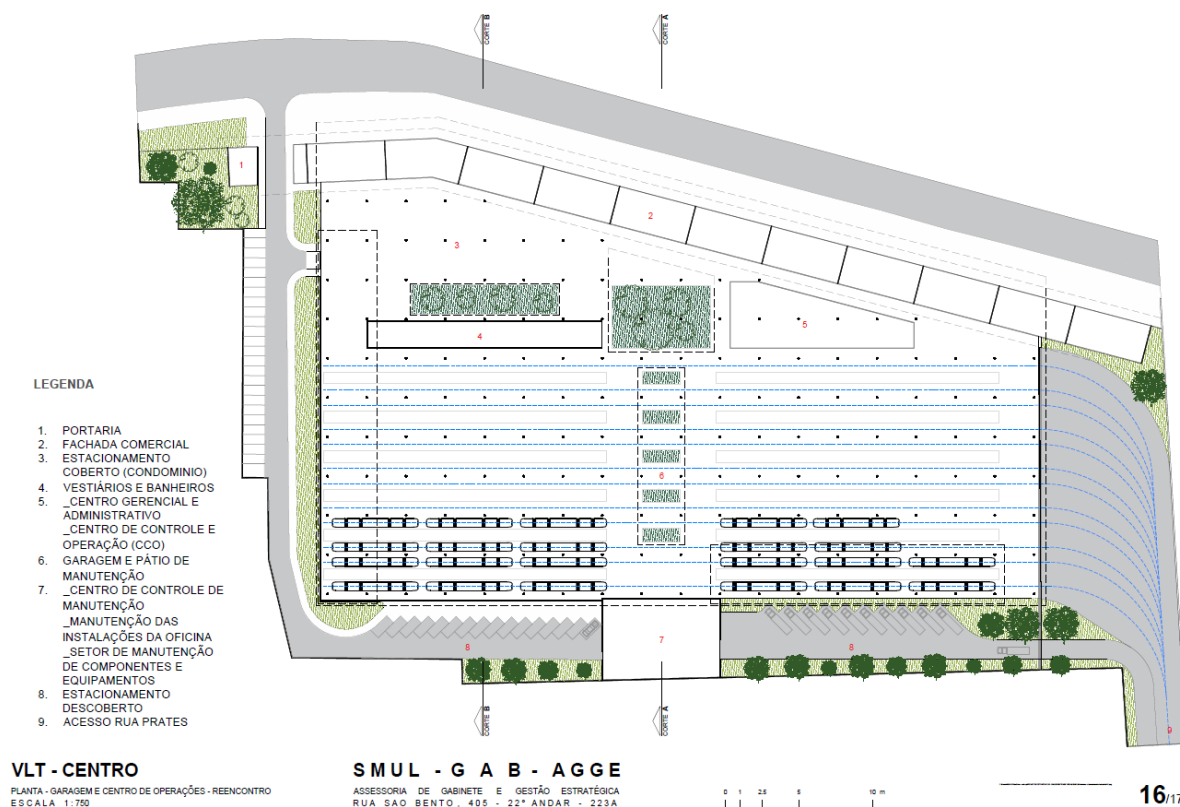
O CIOM será o núcleo central do sistema VLT, concentrando as atividades de controle operacional, manutenção e gestão administrativa. Nele estarão integradas as funções da Gerência de Operações (incluindo o Centro de Controle Operacional – CCO), Gerência de Manutenção e Gerência Administrativa. Esta configuração busca garantir a sinergia entre as áreas técnicas e operacionais, promovendo maior eficiência na gestão de recursos e na resposta a eventos e contingências.

O CCO ocupará uma área protegida e de acesso restrito dentro do CIOM, com sistemas de vigilância, controle de acesso e infraestrutura redundante, incluindo fornecimento de energia e dados. A central operacional deverá integrar o controle do tráfego dos trens, sinalização semafórica priorizada, supervisão da distribuição elétrica, sistemas de comunicação com operadores, controle das portas de plataforma e monitoramento do sistema por meio de CFTV (Circuito Fechado de TV) e painéis de videowall. A operação será contínua, em regime 24h, demandando ambiente ergonomicamente adequado, com controle de temperatura, iluminação e isolamento acústico.

O pátio de estacionamento será implantado junto ao CIOM, na Rua Prates, e dimensionado para abrigar toda a frota operacional e reserva técnica. Conterá com vias de estacionamento com plataformas técnicas laterais para acesso ao material rodante, sistemas de lavagem com reaproveitamento de água, iluminação noturna e infraestrutura de apoio a veículos auxiliares. A circulação interna será planejada para assegurar

eficiência operacional e segurança nos deslocamentos entre oficinas, áreas técnicas e linhas de manutenção.

Figura 8 - Projeto funcional preliminar do CIOM.



Fonte: SMUL, 2024.

A área de manutenção abrangerá oficinas especializadas em material rodante, sistemas fixos (alimentação elétrica, via permanente, sinalização) e componentes auxiliares. O conjunto deverá ser equipado com valas técnicas, fossos de inspeção, plataformas elevadas para acesso ao teto dos VLTs, sistemas de içamento (pontes rolantes, talhas giratórias), bancadas técnicas, instrumentos de medição, oficinas eletrônicas, ferramentaria e almoxarifados. Os principais componentes dos VLTs – como truques, equipamentos de ar-condicionado, sistemas de tração, freios e eletrônica embarcada – terão áreas técnicas específicas para desmontagem, inspeção, testes e expedição.



Além das áreas técnicas e operacionais, o CIOM também contará com instalações administrativas, salas de engenharia e planejamento, refeitórios, vestiários, espaços de apoio e áreas de bem-estar para os colaboradores, dimensionadas segundo diretrizes de ergonomia, segurança do trabalho e sustentabilidade. A estruturação dos setores funcionais será baseada em fluxos internos otimizados e controle segregado de ambientes limpos e sujos, garantindo rastreabilidade e conformidade com as exigências operacionais.

Por fim, cabe destacar que a especificação detalhada de equipamentos, layouts internos e sistemas de automação será aprofundada na fase de anteprojeto e projeto executivo. Este relatório apresenta, portanto, as diretrizes funcionais e estruturais consolidadas até o momento, em conformidade com os estudos técnicos contratados e em alinhamento com boas práticas adotadas em sistemas similares, como o CIOM do VLT Carioca.

O conjunto de ambientes e funções do CIOM, com seus respectivos requisitos operacionais, dimensionais e funcionais, encontra-se descrito a seguir, com diretrizes para as oficinas técnicas, áreas de apoio, instalações administrativas, setores de controle e espaços de manutenção, constituindo a base para o desenvolvimento do anteprojeto e do projeto executivo.

19

2.1.3.1. Gerência de Operação

A Gerência de Operações será responsável pela supervisão e controle da operação em tempo real de todo o sistema VLT, coordenando as circulações dos veículos, gerenciando incidentes e assegurando o cumprimento dos padrões de regularidade, segurança e qualidade do serviço prestado.

Seu núcleo funcional deverá ser o Centro de Controle Operacional (CCO), que reunirá as tecnologias e equipes necessárias para a gestão da operação em regime contínuo, em interface permanente com os sistemas de sinalização, energia, controle viário, bilhetagem, telecomunicações e apoio à manutenção.

O CCO será composto por diferentes salas e postos técnicos, entre os quais se destacam:



- CCO – Centro de Controle Operacional: núcleo central da operação do sistema VLT, responsável pelo acompanhamento em tempo real da circulação dos trens, por meio de videowalls, consoles operacionais, sistemas SCADA e integração com os sistemas de sinalização, energia, controle viário, telecomunicações e supervisão da via.
- Centro de Monitoramento de Segurança: unidade destinada ao acompanhamento permanente do Sistema de Monitoramento Eletrônico, apoio à fiscalização embarcada e controle de eventos de segurança pública, com integração às forças municipais, guardas e centrais de emergência.
- Centro de Monitoramento da Manutenção: sala dedicada à análise do estado técnico do material rodante e dos sistemas fixos, com monitoramento remoto de falhas, indicadores de performance e integração com a equipe técnica da Gerência de Manutenção.
- Sala de Crise: ambiente reservado e acusticamente isolado, destinado à coordenação de ações em situações de contingência, incidentes operacionais de maior porte e reuniões táticas em tempo real com as demais gerências.
- Salas Técnicas e de Apoio: espaços destinados à área de TI, redes, sistemas de comunicação, energia de backup, servidores e demais infraestruturas críticas de suporte ao funcionamento do CCO.

20

Além das instalações técnicas, deverão ser previstas as condições adequadas de ambientação, ergonomia e bem-estar para os operadores, incluindo:

- Ambientes climatizados com controle acústico, iluminação adequada e mobiliário técnico específico para operação prolongada;
- Vestiários, sanitários, copa e área de descanso para os turnos de trabalho;
- Salas de briefing e reunião para alinhamentos operacionais e atualização das equipes.

A Gerência de Operações atuará em coordenação permanente com as demais gerências do CIOM, especialmente Manutenção e Administração, assegurando a continuidade do



serviço, a gestão eficiente da rede e a resposta integrada a eventos planejados e não planejados.

2.1.3.2. Gerência de Manutenção

As oficinas de manutenção constituem o núcleo técnico do sistema VLT para atendimento às atividades preventivas, corretivas e preditivas nos três componentes fundamentais: material rodante, sistemas fixos e via permanente. Cada especialidade poderá ser alocada em área própria, equipada com infraestrutura específica, ferramentas, dispositivos de segurança e sistemas de apoio compatíveis com os requisitos operacionais.

As oficinas poderão estar organizadas conforme as seguintes áreas técnicas:

- Sistema de Alimentação Elétrica;
- Sistemas Eletromecânicos;
- Sistemas Eletrônicos;
- Manutenção de Baterias;
- Serralheria;
- Pintura;
- Componentes da Via Permanente;
- Manutenção Civil de infraestrutura e edificações;
- Manutenção de Veículos auxiliares;
- Equipamentos auxiliares.

21

Cada ambiente deverá ser dimensionado com base nas características dos equipamentos dos principais fornecedores de VLT em operação no mercado, respeitando o espaço necessário para movimentação de componentes, equipamentos de içamento, empilhadeiras e circulação técnica.

O layout físico das oficinas deve permitir a segregação de áreas limpas e sujas, zonas de diagnóstico, teste, desmontagem, montagem e expedição. A organização funcional desses espaços visa garantir fluidez nas operações internas, facilitar a rastreabilidade de peças e otimizar os tempos de resposta nas intervenções técnicas.



O projeto das oficinas deve prevê também integração com almoxarifados, áreas de inspeção de materiais, docas para recebimento e expedição de peças, e salas técnicas de apoio às atividades de engenharia e planejamento da manutenção.

As subseções a seguir apresentam o detalhamento de cada ambiente técnico especializado, conforme as exigências operacionais e as funções desempenhadas por cada oficina.

2.1.3.2.1. Pátio de Estacionamento dos Trens

O pátio de estacionamento deverá ser destinado à guarda do material rodante fora dos horários de operação comercial — predominantemente no período noturno — e também durante entre picos ao longo do dia. O dimensionamento da área deverá prever capacidade para acomodar toda a frota operacional, incluindo trens reservas, além de espaços auxiliares voltados à manutenção leve, inspeções de rotina e higienização.

Usualmente as linhas de estacionamento contam com plataformas laterais de trabalho, com altura de aproximadamente 300 mm em relação ao topo do boleto do trilho, possibilitando o acesso seguro das equipes de limpeza e inspeção técnica durante as janelas de manutenção. Esse arranjo facilita a realização de serviços com os trens imobilizados, aumentando a eficiência e a segurança das operações de apoio.

Além dos VLTs, o pátio também deverá prever veículos auxiliares rodoferroviários, como tratores de manobra, troles de inspeção e vagões de serviço. Para esses veículos, deverão ser reservadas áreas específicas, com infraestrutura compatível para sua manutenção e reabastecimento. Da mesma forma, deverá ser prevista uma área para o estacionamento de veículos rodoviários de apoio, utilizados pelas equipes técnicas e operacionais.

A configuração geral do pátio deverá permitir a circulação adequada entre os setores, manobras seguras e integração funcional com as oficinas, almoxarifado e demais instalações técnicas. O projeto deve considerar a pavimentação adequada para suportar o tráfego pesado, sistemas de drenagem eficientes e iluminação compatível com a operação noturna.



O pátio de estacionamento deverá ser projetado com atenção à durabilidade do pavimento, eficiência operacional e mitigação de impactos ambientais. Recomenda-se a utilização de pavimentação com alta resistência ao tráfego pesado e, sempre que viável, soluções permeáveis ou sistemas de drenagem sustentáveis para minimizar o escoamento superficial. A iluminação noturna deverá empregar sistemas LED de alta eficiência com sensores de presença e controle automatizado. Além disso, deverão ser previstos pontos de captação e reuso de águas pluviais para fins de limpeza, irrigação de áreas verdes ou lavagem técnica. O projeto deverá ainda assegurar acessibilidade universal, rotas seguras de circulação interna e segregação adequada entre áreas operacionais e de apoio.

2.1.3.2.2. Área do Material Rodante

Para a manutenção dos VLTs e dos equipamentos neles instalados, o dimensionamento da área deverá ser ajustado considerando os modelos atuais dos fabricantes tradicionais de VLT.

23

No final das linhas de manutenção deverá existir um espaço que permita a circulação de uma empilhadeira, para receber os equipamentos da ponte rolante e carregá-los para as oficinas especializadas. Deverá ser prevista a instalação de porta-pallets para a permanência dos equipamentos retirados dos carros, até que ocorra o seu transporte para as oficinas de manutenção.

Nas laterais de uma das linhas sem a catenária deverá haver a colocação de macacos para permitir o levantamento dos módulos do VLT, de modo a permitir a remoção dos truques, portanto, o projeto do piso, nos locais dos macacos, deve prever suficiente resistência para suportar o peso de um módulo do VLT.

A manutenção dos equipamentos situados no teto dos VLTs deverá ser efetuada a partir de plataformas permanentes existentes, dos dois lados ao longo de toda extensão dos postos de manutenção, que permitirão o trabalho de maneira adequada e segura, junto aos equipamentos no teto, dos dois lados da composição. A remoção dos equipamentos do teto deverá ser efetuada pela ponte rolante, os equipamentos deverão ser



transportados no sentido longitudinal dos VLTs, e depositados no solo nas suas extremidades, para serem carregados por empilhadeiras para as oficinas de reparos.

Para permitir os deslocamentos dos truques da vala de manutenção até a oficina de truques os trilhos deverão permitir que o truque gire 90°, através de uso de dispositivo “mesa giratória” na extremidade da vala.

Nas oficinas, além do nível de iluminação geral, deverá ser adotado, em cada posto de trabalho, normalmente sobre as bancadas, um nível de iluminação normatizada a cada tipo de trabalho a ser realizado. Também, nas valas sob os VLTs e sobre a cobertura dos VLTs, o nível de iluminação deverá ser normatizado.

Junto, ou bem próxima das vias de manutenção dos VLTs, deverão estar localizadas as oficinas ou áreas para a manutenção dos equipamentos.

O VLT deverá ter a maior parte dos equipamentos instalados na sua cobertura.

Preliminarmente, para efeito de manutenção, consideraremos o VLT composto dos seguintes componentes:

- Módulos (interior e exterior)
- Truques
- Equipamento de ar-condicionado
- Portas e seus mecanismos de acionamento e controle
- Pantógrafo
- Sistema de acoplamento dos módulos
- Equipamento propulsão freio elétrico e seu controle
- Inversor de alimentação auxiliar
- Freio de atrito hidráulico ou eletromagnético
- Sistema de ar comprimido ou hidráulico “Data Bus”
- Equipamentos do console
- Equipamento de potência e de comando
- Sonorização, multimídia e radiocomunicação.
- Sistema de monitoramento (CFTV)



A área destinada à manutenção do material rodante deverá ser concebida com foco na ergonomia, segurança e eficiência energética. As edificações e plataformas técnicas deverão garantir ventilação e iluminação adequadas, utilizando iluminação natural sempre que possível, complementada por sistemas LED de alta eficiência com controle setorizado. As valas técnicas e áreas de içamento devem contar com dispositivos de proteção coletiva e pisos com acabamento antiderrapante e resistência compatível com cargas dinâmicas, respeitando os critérios de estanqueidade e segurança ocupacional. Recomenda-se o uso de materiais construtivos de alta durabilidade, de fácil manutenção e baixo VOC (compostos orgânicos voláteis), além de acabamentos laváveis para facilitar a limpeza técnica. O uso de águas pluviais captadas, deve ser incentivado para lavagem de equipamentos e limpeza de piso técnico. Todos os ambientes deverão ser acessíveis, com circulação segregada entre áreas operacionais e administrativas, e previsão de contenção para eventuais derramamentos de óleo, graxa ou outros resíduos industriais.

25

As atividades de manutenção preditiva, preventiva e corretiva desses componentes serão executadas em oficinas técnicas específicas, cujas funções e requisitos estão descritos a seguir.

i. Oficina de Truques

Os truques uma vez retirados dos carros deverão ser transferidos para uma área com duas linhas para permitir a desmontagem e montagem de todos os truques de um VLT.

Esta oficina não deverá ser uma oficina de fabricação ou recuperação de peças, mas sim uma oficina de desmontagem / montagem de todos os elementos do truque e sua remoção para áreas laterais de inspeção, diagnóstico e preparação de relatórios técnicos do que fazer com os conjuntos retirados. Depois da inspeção deverá haver o encaminhamento para sucateamento ou para serviços terceirizados contratados onde deverão ser realizadas as manutenções necessárias.



Antes do início de desmontagem dos truques eles deverão ser submetidos a uma limpeza profunda em câmara fechada com dimensões que permitam uma limpeza completa com vapor e água sob pressão.

Junto à área de desmontagem do truque deverá existir uma área para a inspeção dos redutores, troca de óleo, inspeção dos acoplamentos e eventual remoção e encaminhamento para reparos em empresas terceirizadas ou sucateamento.

Outra área deverá ser destinada para desmontagem, limpeza e inspeção dos amortecedores e das suspensões primária e secundária, remontagem ou encaminhamento para terceirizado ou sucateamento.

Para desmontagem, inspeção, ajuste e montagem ou encaminhamento para reparo em terceirizado ou sucateamento, dos seguintes equipamentos ou componentes: disco de freios, pistão hidráulico ou de ar de acionamento de freios, válvulas hidráulicas, banco de teste para válvula e pistão, troca de pastilhas e compressor deverá ser prevista.

A desmontagem dos mancais de suporte dos rodeiros, inspeção dos rolamentos de suporte dos rodeiros, inspeção com ultrassom e líquido penetrante das mangas de eixo, dos eixos e das rodas, necessita de uma área específica.

Os mancais avariados serão trocados e os rodeiros com problemas serão encaminhados para terceirizados para troca de rodas e/ou eixos. Nesta área será montada uma prensa hidráulica menor, para montar e sacar rolamentos. Será realizada ainda nesta área a inspeção das suspensões primária e secundária.

As estruturas do truque motriz e do truque reboque, depois da retirada dos equipamentos serão jateadas e cuidadosamente inspecionadas com líquido penetrante e ou ultrassom, para verificação quanto à sua integridade; se não houver qualquer irregularidade serão repintados e encaminhados para a área de montagem de todos os seus elementos novos e ou recuperados.

ii. Oficina de Sistemas Auxiliares do Módulo

Trata-se de oficina dos sistemas auxiliares do Módulo, como sejam: Portas, Ar-Condicionado, Gangways, sistema de alimentação e Engates. A oficina de ar-



condicionado atenderá prioritariamente o Material Rodante em manutenção preventiva, executando a limpeza troca de filtros medição da pressão do gás refrigerante, verificação de vazamentos, ruídos e troca de componentes se necessário, os componentes defeituosos serão enviados para a oficina para reparos. Para tanto a oficina deverá ser equipada com bancada especial de teste com instrumentos de medição, caixas de ferramentas e dispositivos especiais.

iii. Oficina de Ferramentaria e Almoxarifado

A ferramentaria deverá estar provida com ferramentas, instrumentos de medição e caixa de ferramentas específicas, assim como materiais e sobressalentes para atuação rápida na reposição de peças.

iv. Oficina de Equipamento de Propulsão e Inversor Auxiliar

Nessa oficina deverá ser trabalhado o controle da propulsão, as resistências do freio elétrico, o manipulador principal, equipamento de potência/comando, console e o freio eletromagnético. Neste local serão realizados os trabalhos de inspeção, trocas de elementos de desgaste, calibragem, testes etc. conforme procedimentos de manutenção e, eventualmente, equipamentos ou componentes serão enviados para serviço terceirizado. Para tanto a oficina estará equipada com instrumentos de medição, bancadas, caixas de ferramentas e dispositivos especiais.

v. Oficina Eletrônica

Todas as manutenções dos componentes eletrônicos do Material Rodante e equipamentos fixos deverão ser realizados pela oficina eletrônica. Basicamente, as atividades a serem realizadas são as trocas de componentes, testes dos módulos, modificações, medições e calibrações dos sinais conforme procedimento (Alguns dos equipamentos eletrônicos que serão executados manutenção na oficina de Eletrônica são: Data-Bus, módulos de comunicação, sistema de vídeo, comandos e controles eletrônicos em geral etc). Esta oficina deverá estar equipada com pelo menos: osciloscópios, multímetros, fontes estabilizadoras, giga de testes, transdutores, bancada eletrônica ferros de solda, estufa de pequeno porte, esmeril de bancada, furadeira de bancada.



vi. Apoio Administrativo da Manutenção

Área destinada ao escritório de apoio administrativo e um conjunto de vestiário e banheiros e será dimensionado para atender a população que trabalhará na Área de Material Rodante e Áreas Adjacentes.

2.1.3.2.3. Área de Oficina de Equipamentos Fixos

As oficinas de apoio à manutenção dos sistemas fixos do VLT estarão organizadas em setores especializados, voltados a atender às diversas demandas operacionais e técnicas do sistema.

As oficinas de equipamentos fixos deverão ser projetadas com infraestrutura robusta, garantindo resistência estrutural, isolamento adequado para atividades mecânicas e elétricas, e ventilação eficiente, preferencialmente natural, com exaustores localizados em pontos críticos. As áreas técnicas que envolvem manipulação de substâncias químicas, baterias e solda devem dispor de sistemas de exaustão forçada, contenção de resíduos e pisos impermeáveis com bacia de contenção, conforme boas práticas ambientais. Toda a iluminação deve ser eficiente (preferencialmente LED com controle por setores), e os pontos de energia e ar comprimido devem ser acessíveis e protegidos. Recomenda-se o uso de materiais certificados ambientalmente e superfícies resistentes ao desgaste técnico. A segregação entre áreas limpas e sujas, o reaproveitamento de águas pluviais para lavagem e serviços auxiliares, e a correta separação e destinação de resíduos e sucatas são requisitos essenciais. A oficina deve observar também os princípios de ergonomia e acessibilidade.

28

A seguir, apresentam-se as principais áreas e suas respectivas funções e equipamentos:

i. Oficina de Alimentação Elétrica

Destinada à manutenção dos equipamentos fixos de alimentação elétrica ao longo da linha do VLT, no pátio de manobras e nas demais oficinas. Compreende serviços em disjuntores de manobra (AT, BT e CC), seccionadores, quadros de distribuição, sistemas de detecção e combate a incêndio, caixas e painéis elétricos, inversores auxiliares, relés, contadores, geradores diesel, bombas e portas automáticas. A oficina será equipada com talha



giratória, bancadas, painéis de teste, instrumentos de medição, esmeril, ferramentas elétricas portáteis e conjuntos específicos para intervenções nos equipamentos da linha.

ii. Oficina de Mecânica e Serralheria

Deverá apoiar as demais oficinas com serviços mecânicos e de caldeiraria, incluindo:

- Reparo de placas de sinalização e faróis;
- Recuperação de equipamentos danificados por vandalismo ou intempéries;
- Fabricação de dispositivos sob demanda para diferentes sistemas;
- Serviços gerais de corte, solda e conformação de metais.

Deverá ser equipada com máquinas de solda (elétrica, MIG, oxiacetilênica), guilhotina, dobradeira, calandra, fresadora, furadeiras, esmeril, torno, bigorna, serras, mesa de corte, bancadas com morsas e ferramentas manuais.

iii. Oficina de Marcenaria (se necessário)

Responsável por serviços de marcenaria em apoio à manutenção geral, incluindo:

- Fabricação de peças e dispositivos em madeira conforme demandas operacionais;
- Reparo de painéis de madeira e pisos do VLT (quando aplicável);
- Conserto de mobiliário de oficinas, escritórios e estações.

Deverá ser equipada com serra circular, serra de fita, plaina, desempenadeira, furadeira, tupia, lixadeira, ferramentas elétricas manuais e bancadas específicas de marcenaria.

iv. Oficina de Baterias

Dedicada à inspeção, manutenção e testes de baterias dos veículos, estações e veículos auxiliares. Deverão ser realizados testes de densidade, tensão, carga e descarga, além da troca de eletrólitos. A oficina contará com sistema de exaustão forçada para gases, garantindo segurança e ventilação adequada.

v. Oficina de Pintura

Voltada à manutenção da pintura e acabamento dos veículos, especialmente na caixa do Material Rodante, bancos e componentes em fibra de vidro. Também deverá realizar a



pintura de equipamentos fixos e móveis, conforme necessário. A oficina contará com cabine de jateamento, cabine de pintura, bancada, lixadeiras (orbital e por vibração), ferramentas específicas e dispositivos de fixação para peças.

2.1.3.2.4. Área de Oficina de Veículos Auxiliares

Os veículos abaixo listados são partes integrantes do Sistema VLT, portanto, sujeitos a manutenção em oficina dedicada a esse fim.

Esta oficina executará manutenções básicas do tipo: troca de rolamentos, baterias, alternadores, rodas, peças, lâmpadas etc.

Os serviços de funilaria, de troca de óleo, de borracharia, de reforma e demais serviços específicos como sejam as adaptações nas carroçarias, deverão ser terceirizados.

Esta oficina será equipada com dois macacos tipo “jacaré”, um elevador de veículo, um guincho do tipo “girafa”, esmeril de bancada, furadeira de coluna, duas bancadas com morsa, pia para limpeza de peças, caixa de ferramentas para cada oficial mecânico e eletricista, instrumentos de medição automobilística, compressor, ferramentas elétricas, talha giratória de uma tonelada, carrinhos para transporte de ferramentas e armário de aço para a guarda de manuais dos veículos.

Esta oficina será equipada com uma via permanente, com vala e plataforma que será utilizada na manutenção do veículo de manutenção de rede aérea e trator de manobra, vagão plataforma, trole de transporte de trilhos e veículos de via.

A oficina deverá contar com estrutura adequada para manutenção leve, respeitando critérios de ventilação cruzada, segurança elétrica e conforto térmico. O piso deverá ser de alta resistência, impermeável e com sistema de drenagem eficiente, capaz de conter eventuais derramamentos de óleos ou fluidos automotivos. Recomenda-se a adoção de sistemas de exaustão local para áreas de solda, lixamento ou operação de motores em funcionamento, bem como instalação de dispositivos de proteção coletiva nos postos de trabalho. Toda a iluminação deverá ser em LED com sensores por setor e prioridade ao aproveitamento de luz natural. Os resíduos gerados (óleo, filtros, pneus, baterias) devem ser segregados e encaminhados conforme diretrizes da logística reversa e legislação



ambiental vigente. A oficina deve ainda incorporar sistemas de reaproveitamento de água para limpeza de peças e pisos, e seguir normas de acessibilidade, ergonomia e segurança ocupacional.

2.1.3.2.5. Área de Oficina de Via Permanente

Nessa oficina serão trabalhadas as máquinas de chave e suas ferragens, pré-montagens e ajustes de jacarés e AMVs. Deverá estar equipada com furadeira de coluna, esmeril de coluna, serra hidráulica e ferramentas elétricas para esmerilhamento do trilho.

Além disso, esta oficina deverá dispor de infraestrutura compatível com trabalhos de corte, furação, montagem e manutenção de aparelhos de mudança de via, com atenção especial à segurança, ventilação e organização dos fluxos operacionais. Os ambientes devem contar com pisos de alta resistência mecânica e química, capazes de suportar operações com ferramentas pesadas e agentes abrasivos, além de sistema de drenagem eficiente com contenção de partículas metálicas. A iluminação deverá ser técnica e eficiente, com uso de LED e controle setorial, associada ao máximo aproveitamento de luz natural. Recomenda-se a captação de águas pluviais para uso em lavagem de ferramentas, limpeza de pisos e áreas externas. Os resíduos metálicos e insumos utilizados devem ser segregados e encaminhados à logística reversa conforme normas ambientais vigentes. A oficina deve ainda observar normas de acessibilidade, ergonomia e segurança no trabalho, com áreas de circulação bem demarcadas e proteção coletiva nos postos de operação.

O quadro de pessoal dessa oficina responde pela manutenção de campo da via permanente e da rede aérea.

2.1.3.2.6. Área de Máquina de Lavar Trens

A área da máquina de lavar trens deverá ser equipada com sistema completo de captação, tratamento e reuso de águas pluviais. A reutilização da água deverá ser um elemento central da operação, devendo incluir reservatórios de armazenamento, filtros, separadores de resíduos sólidos e sistema de recirculação automatizada. O piso da via técnica deverá ser impermeável e com sistema de drenagem controlada, dotado de canaletas, grelhas e



bacia de contenção química, evitando o descarte inadequado de efluentes. A iluminação do ambiente deverá ser de alta eficiência energética (LED), com sensores de presença e prioridade para iluminação natural durante o dia. O uso de detergentes biodegradáveis e equipamentos de lavagem de baixo consumo hídrico também deverá ser priorizado. A estrutura deverá contar com cobertura parcial ou total para proteção contra intempéries e redução de evaporação, e observar normas de segurança, acessibilidade e ergonomia nas rotinas de operação e manutenção.

2.1.3.2.7. Área do Pessoal da Limpeza do Material Rodante, Pátios de Estacionamento e Oficinas e Pontos de Parada

Esta área será destinada a abrigar o pessoal de limpeza e higienização do Material rodante, das edificações da operação e manutenção, e das Estações ao longo da linha do VLT.

A limpeza dos trens é realizada normalmente antes da operação comercial, entre os picos da manhã e da tarde e após a operação comercial e, também, sempre que houver intervenção da manutenção e fique caracterizada a necessidade de limpeza extra. O pessoal que faz limpeza nas estações, nas oficinas e nos trens em operação terá seu ponto de apoio nesta área.

A área deverá ser equipada com instalações de apoio confortáveis, acessíveis e sustentáveis, incluindo sanitários, vestiários, áreas de descanso e espaço de armazenamento para insumos e equipamentos de limpeza. Deverá ser prevista infraestrutura para o uso de água de reuso, especialmente para atividades de higienização de pisos, trens e edificações operacionais. Os espaços internos devem ser bem iluminados, com prioridade para luz natural e complementação por sistemas LED de alta eficiência, com controle por setores. Recomenda-se ainda a instalação de dispositivos de economia de água nos sanitários e torneiras, uso de materiais de acabamento laváveis e resistentes, ventilação cruzada e segregação segura entre ambientes limpos e sujos. A estrutura deve atender às normas de acessibilidade e ergonomia para os trabalhadores em turnos operacionais.



2.1.3.2.8. Área de Depósito de Lixo

A área de depósito de lixo deverá ser projetada com critérios de segregação, ventilação e impermeabilização, permitindo a armazenagem temporária segura de resíduos sólidos gerados nas operações do CIOM. O espaço deverá prever compartimentos distintos para resíduos comuns, recicláveis e perigosos (quando aplicável), com sinalização clara, acessos controlados e compatibilidade com o sistema de coleta pública. Os pisos devem ser impermeáveis e dotados de sistema de drenagem com bacia de contenção, evitando o escoamento de líquidos para áreas externas. Sempre que possível, recomenda-se o uso de água de reuso, para higienização do espaço e lavagem dos coletores. A iluminação deverá ser técnica e eficiente, com luminárias LED, acionamento automatizado e ventilação adequada para controle de odores. A instalação deve atender às exigências de acessibilidade, segurança e facilidade de limpeza e manutenção periódica.

Esta área deve ser destinada ao depósito de lixo temporário e o descarte deverá ser compatível com o sistema de coleta de lixo do município de São Paulo. Deverá ser localizada próximo à linha auxiliar, junto do viário de entrada do Pátio, para facilitar a remoção por caminhões da limpeza pública e o desembarque do lixo oriundo da via principal e estações.

33

2.1.3.2.9. Área de Estocagem de Sucata

Esta área destina-se para a estocagem temporária da sucata industrial e materiais recicláveis. A área deverá ser organizada para permitir a armazenagem temporária de materiais metálicos, recicláveis e componentes inservíveis de forma segura, acessível e ambientalmente responsável. O espaço deverá contar com piso pavimentado e impermeável, com sistema de drenagem superficial controlada e dispositivos de contenção de resíduos particulados, evitando a contaminação do solo e da rede pluvial. A cobertura parcial ou total da área é recomendada para proteção contra intempéries e redução da dispersão de materiais. A iluminação do local deverá ser eficiente e setorizada (preferencialmente LED), com prioridade para luz natural. Recomenda-se o uso de água de reuso para limpeza do piso e contenção de poeira, além da adoção de sinalização de segurança e procedimentos para controle de acesso. A área deve manter rotinas de



triagem, com indicação clara de materiais recicláveis, reutilizáveis e resíduos que devem ser encaminhados à logística reversa ou descarte ambientalmente adequado.

2.1.3.2.10. Área de Manutenção Civil

Destinada aos trabalhos de execução, supervisão e controle dos seguintes serviços de manutenção preventiva e corretiva que serão, em parte, terceirizados.

Nas edificações e estações:

- Manutenção de ralos e canaletas
- Coberturas (fixações e vedações)
- Caixilharia (reparos em vidros, portas e caixilhos)
- Pintura de acabamento
- Revestimentos de paredes, pisos, tetos e forros
- Louças sanitárias, lixeiras, bancos, cinzeiros fixos
- Linhas de esgoto, pluvial e água de consumo até as redes públicas
- Metais sanitários

34

Ao longo da via:

- Sistema de drenagem de águas pluviais
- Elementos pré-moldados
- Eliminação e correção de infiltrações de águas nas estações, edifícios
- Limpeza da via, catação manual, limpeza manual de grelhas e caixas internas e externas do sistema de drenagem das vias
- Lavagem das vias com jateamento de água
- Limpeza e higienização dos poços de esgoto
- Manutenção de áreas verdes e jardins, capinagem em áreas de via, pátios e subestações.
- Execução de pinturas, limpeza e combate às pichações.
- Manutenção de estruturas de concreto, metálicas e coberturas.

Esta área deverá ser dimensionada para atender às atividades de conservação predial, infraestrutura urbana e paisagismo, com instalações que possibilitem o armazenamento



seguro de ferramentas, materiais de acabamento, tintas e insumos diversos. Os ambientes devem ser organizados por função, garantindo segregação entre materiais perigosos, inflamáveis e não perigosos, com ventilação cruzada ou exaustão localizada sempre que necessário. O piso deverá ser resistente e lavável, com sistema de drenagem técnica e contenção de resíduos sólidos. A iluminação deverá ser setorizada e eficiente (LED), e deve-se priorizar a entrada de luz natural. A utilização de água de reuso é recomendada para lavagem de áreas externas, manutenção de jardins, limpeza de ferramentas e pisos, contribuindo para a redução do consumo de água potável. A instalação deve observar as normas de ergonomia, segurança no trabalho e acessibilidade, com organização funcional voltada à eficiência e à redução de impactos ambientais.

2.1.3.3. Gerência Administrativa

A Gerência Administrativa deverá ser responsável pelas atividades de apoio corporativo e logístico necessárias ao funcionamento do sistema VLT. Suas funções abrangem a gestão de recursos humanos, financeiros, patrimoniais e contratuais, além da supervisão das rotinas administrativas, almoxarifado, compras e serviços gerais. Esta gerência atuará de forma integrada às áreas de Operação e Manutenção, garantindo o suporte necessário à execução eficiente e contínua das atividades finalísticas do CIOM.

A estrutura administrativa será organizada em setores funcionais, com as seguintes áreas principais:

- Recursos Humanos: responsável pela gestão da força de trabalho, processos seletivos, capacitação continuada, controle de jornada e benefícios. Também atuará no apoio ao dimensionamento de pessoal das áreas técnicas e operacionais.
- Gestão Financeira e Contratual: encarregada do controle orçamentário, acompanhamento de contratos administrativos, pagamentos, faturamentos e prestação de contas. Esta área também apoiará processos de concessão, licitação e relacionamento com órgãos públicos e parceiros privados.
- Patrimônio e Suprimentos: responsável pelo controle de bens permanentes, veículos administrativos, mobiliário e equipamentos de escritório. Inclui também a



gestão do almoxarifado geral, controle de estoque e logística de insumos para oficinas e operação.

- **Infraestrutura e Serviços Gerais:** responsável pela conservação das edificações do CIOM, gestão de limpeza, jardinagem, segurança patrimonial e apoio às atividades operacionais e de manutenção predial.

As instalações da Gerência Administrativa deverão ser dispostas em salas de trabalho setorializadas, áreas de atendimento técnico e jurídico, salas de reunião, copa, sanitários e espaços de convivência. Todos os ambientes deverão observar normas de ergonomia, acessibilidade e conforto ambiental.

A integração física e funcional com as demais gerências permitirá sinergia entre os setores, facilitando o atendimento das demandas logísticas e administrativas do Centro de Controle Operacional (CCO), das oficinas e do pátio técnico. Assim, a Gerência Administrativa cumprirá papel estratégico no suporte à operação segura, eficiente e sustentável do sistema VLT.

36

2.1.3.4. Dimensionamento Estimado das Áreas Funcionais do CIOM

O Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM) será implantado na Rua Prates e ocupará uma área estimada de aproximadamente 70.000 m², conforme definido no projeto funcional disponibilizado até o momento. Embora o anteprojeto ainda não tenha sido concluído, as diretrizes operacionais e espaciais já consolidadas permitem apresentar um quadro preliminar de dimensionamento, com base nas melhores práticas observadas em sistemas análogos, como os VLTs do Rio de Janeiro e de Santos.

Conforme apresentado nos itens anteriores, o CIOM será o núcleo físico e funcional do sistema VLT, reunindo os setores de Operação, Manutenção e Administração. A estrutura abrigará o Centro de Controle Operacional (CCO), oficinas especializadas, pátios técnicos, áreas administrativas e de apoio, além de instalações para veículos auxiliares, higienização, depósitos e estacionamento. As estimativas de área por subfunção consideram parâmetros técnicos derivados da frota prevista de 36 trens, garantindo margens operacionais adequadas, segurança, conforto dos trabalhadores e eficiência na circulação interna.



O Quadro a seguir apresenta a distribuição preliminar das áreas por bloco funcional, indicando os respectivos usos, intervalos estimados de metragem e as referências técnicas adotadas para cada subárea.

Quadro 5 – Quadro estimativo das áreas do CIOM

Bloco Funcional	Subárea	Área Estimada (m²)	Referência Técnica / Racional
Gerência Administrativa	RH, financeiro, almoxarifado geral	600 – 800 m²	Equivalente a um edifício de médio porte com áreas modulares para equipes diversas
Apoio Operacional	Vestiários, salas de bem-estar, refeitórios	800 – 1.200 m²	Dimensionado para atender cerca de 300 funcionários por turno (referência: Metrô SP)
Estacionamento Particulares	Funcionários, visitantes	2.000 – 3.000 m²	Aproximadamente 100–150 vagas com circulação, paisagismo e buffers
CCO + Gerência de Operações	Sala de controle, monitoramento, coordenação	800 – 1.200 m²	Referência: COR-Rio (446 m² sala + áreas de apoio), expansão proporcional à frota
Gerência de Manutenção	Engenharia, inspeções, planejamento	400 – 600 m²	Áreas técnicas e administrativas com suporte às oficinas e logística
Oficinas de Manutenção	Material rodante, sistemas fixos, via permanente	6.000 – 8.000 m²	Baseado em projetos como VLT Rio (~180 m² por trem para manutenção leve/pesada)
Limpeza e Higienização	Pessoal + lavagem de trens + depósito de lixo	1.200 – 1.800 m²	Inclui 1 via coberta com máquina de lavar, área de apoio, salas e abrigo de resíduos
Pátio de Estacionamento	Guarda dos 36 VLTs + manobra e veículos auxiliares	25.000 – 30.000 m²	Proporcional à área de ~700 m² por trem (como Santos) + buffers para circulação e serviços
Veículos Auxiliares	Manutenção de tratores, troles, utilitários	500 – 700 m²	Similar à estrutura de oficina automotiva leve, com via permanente para veículos ferroviários
Depósitos e Sucatas	Depósitos, sucata, baterias, pintura, resíduos	1.000 – 1.500 m²	Considerando áreas segregadas para segurança e logística reversa

2.1.3.5. Diretrizes Gerais de Qualidade, Desempenho e Sustentabilidade do Ambiente Construído

A implantação do CIOM deverá observar padrões elevados de qualidade do ambiente construído, com foco em desempenho funcional, conforto ambiental, segurança, acessibilidade total e sustentabilidade, em alinhamento com as melhores práticas nacionais e internacionais para empreendimentos de infraestrutura urbana e sistemas de transporte guiado.



As diretrizes a seguir deverão orientar o desenvolvimento dos projetos de arquitetura e engenharia para todas as áreas e subáreas do CIOM, abrangendo os blocos operacionais, manutenção, administrativos, técnicos e de apoio:

- **Desempenho e Conforto Ambiental:** As edificações deverão garantir níveis adequados de desempenho térmico, acústico, lumínico e de estanqueidade, priorizando o conforto dos usuários e a eficiência energética. Sempre que tecnicamente viável, deverão ser utilizados recursos de ventilação e iluminação naturais, com sombreamento adequado e proteção contra intempéries.
- **Eficiência Energética:** Todos os sistemas prediais deverão privilegiar soluções de baixo consumo energético, como iluminação LED com sensores de presença, equipamentos certificados com selo de eficiência energética, sistemas automatizados de climatização e controle de carga. A automação predial deve permitir a supervisão energética centralizada e o desligamento seletivo de cargas não críticas.
- **Uso Racional e Reuso da Água:** As edificações e sistemas deverão incorporar dispositivos de economia de água (descargas com duplo acionamento, torneiras com fechamento automático), além de sistemas de captação e reuso para fins não potáveis, especialmente em áreas como lavagem de trens, sanitários e irrigação paisagística.
- **Materiais Sustentáveis:** Os materiais de construção deverão priorizar alternativas de baixo impacto ambiental, recicláveis ou reciclados, certificados (como madeira FSC) e de baixa emissão de compostos orgânicos voláteis. Deve-se evitar materiais agressivos ao meio ambiente ou à saúde dos ocupantes.
- **Gestão de Resíduos e Logística Reversa:** Todas as instalações deverão prever espaços específicos para a coleta seletiva de resíduos sólidos, com segregação de resíduos comuns, recicláveis, perigosos e contaminantes. Deverão ser estabelecidos protocolos de destinação e reaproveitamento, incluindo logística reversa para baterias, eletrônicos, óleos, filtros e demais componentes técnicos.
- **Certificações e Indicadores de Sustentabilidade:** É recomendável que o projeto adote diretrizes compatíveis com sistemas de certificação ambiental (como LEED,



EDGE, AQUA-HQE ou similares), especialmente nos critérios de eficiência energética, uso da água, conforto ambiental e operação e manutenção sustentáveis. Sempre que possível, os projetos deverão apresentar indicadores mensuráveis de desempenho ambiental (KPI) para o empreendimento.

- **Acessibilidade e Ergonomia:** Todos os ambientes deverão respeitar e garantir plena acessibilidade a pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. As áreas técnicas e administrativas deverão ser ergonomicamente projetadas, conforme diretrizes da NR 17, com foco na saúde ocupacional e na segurança do trabalho.
- **Segurança, Durabilidade e Facilidade de Manutenção:** Os elementos construtivos e os sistemas prediais deverão ser concebidos com foco na durabilidade, facilidade de manutenção e segurança dos usuários, prevendo materiais resistentes a vandalismo, sistemas modulares, superfícies laváveis, acabamentos de baixa manutenção e dispositivos de proteção coletiva.

Estas diretrizes gerais se aplicam a todo o CIOM, devendo ser complementadas, quando necessário, por requisitos específicos em cada subárea funcional, conforme detalhamento apresentado anteriormente.

2.1.4. Urbanização

A implantação do VLT representa uma oportunidade para promover a requalificação e modernização do espaço urbano. A necessidade de intervenções no entorno é evidente e deverá ser atendida de forma integrada ao projeto do sistema. Experiências internacionais demonstram que projetos de VLT têm se consolidado como importantes vetores de transformação urbana, contribuindo significativamente para a valorização do espaço público, revitalização de áreas degradadas e melhoria da qualidade ambiental e urbana.

Além de sua função de mobilidade, o VLT exerce um papel estruturador no desenvolvimento das cidades, ao integrar transporte e urbanismo. Sua implantação viabiliza a reurbanização de eixos viários, a ampliação de áreas verdes com a introdução de gramados e canteiros, a renovação do mobiliário urbano e a valorização da paisagem arquitetônica local. Dessa forma, o sistema contribui para a qualificação do ambiente urbano e para o fortalecimento da identidade das áreas atendidas.



O anteprojeto de urbanismo tem como objetivo a reurbanização e/ou requalificação das áreas destinadas à implantação do VLT. As intervenções propostas buscam integrar a circulação do VLT com pedestres, ciclistas e veículos automotores, promovendo um ambiente urbano harmônico, funcional e seguro para todos.

Para garantir travessias e caminhos seguros até os pontos de parada, o projeto contempla a melhoria das condições dos pavimentos, a modernização da iluminação pública, eliminação de interferências físicas e a adoção de medidas que assegurem a acessibilidade universal.

Deverá ser desenvolvido um projeto específico para iluminação e sinalização informativa em todo o traçado designado ao VLT, com o objetivo de garantir clareza e acessibilidade às informações relacionadas ao serviço de transporte que deverá atender às necessidades de diferentes perfis de usuários, assegurando uma experiência eficiente e inclusiva.

Tendo em vista a adequação das calçadas, a fim de permitir um caminhar livre, seguro e confortável de todos os pedestres, as seguintes diretrizes foram apontadas:

- A faixa de serviço deve ter uma largura mínima de 0,70 m (excluindo a dimensão do meio-fio) e deve conter mobiliário urbano, postes de luz, sinalização vertical, tampas de inspeção e vegetação.
- A faixa livre deve ter pelo menos 1,50 m para circulação exclusiva de pedestres e deve ser desobstruída e isenta de interferências. A largura da faixa livre deve ser dimensionada de acordo com a quantidade de pessoas que utilizam a calçada e deve oferecer um bom nível de serviço.

Além disso, foram indicadas a implantação de travessias elevadas em locais com maior fluxo de pedestres. Nos trechos onde existe outro modal, seja ônibus ou metrô, foi proposta a implantação de diferenciação do piso, para que essa integração seja mais segura e livre de obstáculos, permitindo que o usuário circule com mais tranquilidade. Em alguns trechos foram criadas áreas de permanência, com a implantação de equipamentos públicos adequados ao uso.



Para o anteprojeto de paisagismo, foi considerado o Manual Técnico de Arborização da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente - SVMA.

2.1.5. Sinalização Viária

Para o anteprojeto de sinalização viária, foram consideradas as diretrizes da Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, porém, por se tratar de um modal novo na cidade, diversas particularidades não estão previstas atualmente, portanto, também foram observadas as considerações previstas no Caderno Técnico para Projetos de Mobilidade Urbana – Veículo Leve sobre Trilhos, Ministério das Cidades.

A sinalização horizontal a ser implantada, deverá ser constituída de pintura no pavimento de linhas divisórias de fluxos no mesmo sentido e/ou sentidos opostos, linhas de canalização, zebrado e setas.

A sinalização vertical deverá ser implantada com a colocação de placas novas indicativas de orientação e de regulamentação referente ao VLT. Para garantir visibilidade e segurança, a altura mínima das letras deverá ser compatível com a velocidade da via, de acordo com o Manual de Sinalização Rodoviária do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). As placas existentes serão aproveitadas e remanejadas quando necessário. Nos casos em que foi verificada ausência de placas de regulamentação, orientação e/ou advertências foi proposta a implantação de novas placas.

41

As principais premissas consideradas para a sinalização estão apresentadas a seguir:

- Nos cruzamentos do VLT com tráfego misto, deve ser considerada a implantação de novos semáforos;
- Em todas as paradas deverá considerar a implantação de faixas de pedestres, conforme normas técnicas;
- As faixas de pedestres deverão ser iluminadas;
- Sempre que possível deverão ser implantadas ilhas de refúgio para a travessia de pedestres e, devem ser implantadas em vias que tenham duas ou mais faixas por sentido;



- As ilhas de refúgio devem estar no nível da via e ter largura igual ao da faixa de pedestre;
- Não é recomendado a utilização de contrafluxo, pois aumenta a probabilidade de ocorrência de acidentes;
- O Manual de Mobilidade prevê que o limite de velocidade em ruas compartilhadas deve ser de no máximo 30 km/h;
- Nos trechos onde a circulação do VLT não for no leito carroçável, deverá ser previsto o uso de dispositivos de delimitação do espaço de circulação dos veículos e dos pedestres, podendo ser utilizadas luminárias, tachões, vasos de plantas, entre outros;
- Nos trechos em que a implantação do VLT ocorre em sentido contrário ao fluxo veicular predominante, deverá ser prevista a implantação de sinalização orientativa específica. Além da sinalização horizontal adequada à nova configuração viária, também deverá ser indicadas novas sinalizações verticais, com o objetivo de garantir a segurança e a correta orientação dos condutores e pedestres.
- Nos trechos onde o traçado do VLT interfere com ciclofaixas existentes, as ciclofaixas deverão serem remanejadas, de maneira que o VLT sempre fique imediatamente após o meio fio.
- Onde possível foi considerada a implantação da Faixa exclusiva de motos (faixa azul).

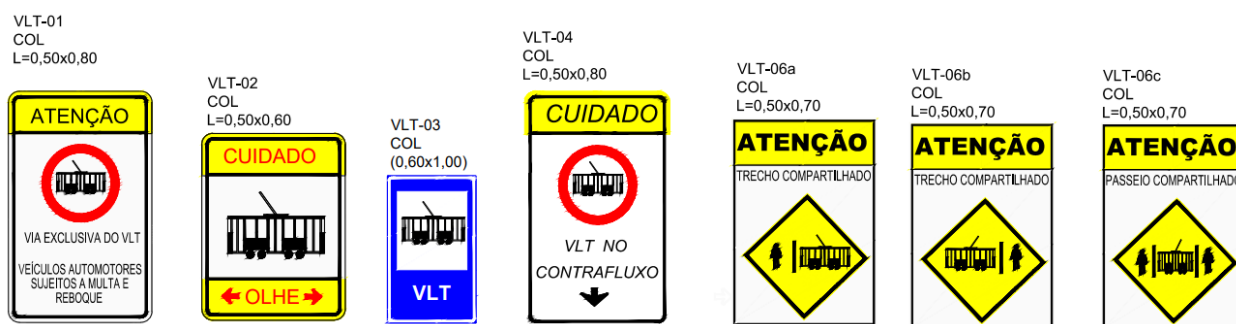
A seguir, são apresentadas recomendações de sinalização para os trechos onde o VLT circulará em contrafluxo:

- A sinalização horizontal deverá ser adequada com faixas contínuas duplas amarelas separando o trilho do fluxo veicular, além de setas de advertência sobre a pista, indicando o sentido contrário nos trilhos. Também podem ser previstas zonas de segurança próximas ao canteiro central ou calçadas, com pintura zebra.
- Além disso, devem ser previstos uso de balizas físicas e elementos visuais como balizadores verticais refletivos (tipo “bate-rodas”), separando o trilho da via de tráfego, tachões refletivos (olhos de gato) entre os trilhos e a via de automóveis e

postes ou barreiras flexíveis nas bordas do trilho, principalmente em curvas ou cruzamentos.

- Deverá ser prevista a implantação de placas de sentido proibido nas entradas das vias onde o tráfego de veículos é unidirecional, mas o VLT circula em sentido contrário ao fluxo veicular.
- Deverá ser considerada a implantação de placas de advertência com legenda “VLT no Contrafluxo”.
- Nas travessias de pedestres, é fundamental prever a implantação de placas educativas como “Olhe para os Dois Lados – VLT”.

Figura 9 – Detalhes da sinalização vertical nos trechos de circulação do VLT.



Fonte: Anteprojeto de sinalização – Rev.C

2.2. MATERIAL RODANTE

No que se refere ao material rodante, estão em desenvolvimento, no âmbito do Contrato nº 012/2024/SMUL, a elaboração dos seguintes projetos básicos para viabilizar a implantação do VLT: anteprojeto de material rodante, anteprojeto de tecnologia, sistemas embarcados e informação e anteprojeto eletromecânico. Dessa forma, vez que tais projetos não foram concluídos ainda, apresenta-se a caracterização da frota a partir dos estudos técnicos anteriores e das premissas que estão sendo adotadas no projeto.

Os veículos operarão em vias segregadas e/ou compartilhadas com automóveis e outros veículos rodoviários. Os veículos deverão ser projetados em sistema roda-trilho e devem levar em consideração a equalização dos comprimentos e altura das plataformas.



Conforme as diretrizes estabelecidas para a elaboração do projeto, a alimentação elétrica do VLT deverá ser embarcada, ou seja, integrada ao próprio veículo, sem catenária. Entre as tecnologias possíveis estão o uso de ultracapacitores, baterias ou células a hidrogênio. No capítulo seguinte, todas as alternativas de sistemas de alimentação serão detalhadas, considerando seus aspectos técnicos, operacionais, ambientais e de viabilidade para a implantação no contexto urbano proposto.

Os veículos serão conduzidos em marcha à vista e serão dotados de funções de segurança como: interação com o sistema semafórico rodoviário, frenagem de serviço, emergência e estacionamento, controle de abertura e fechamento de portas, alarme de evacuação, alertas sonoros e luminosos, monitoramento dos passageiros nas plataformas, CFTV, detecção e combate a incêndio, iluminação de emergência, sinalização, intercomunicadores, dentre outros.

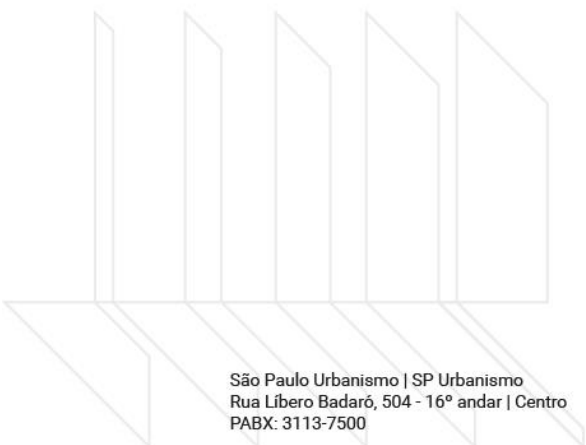
Os veículos circularão a céu aberto. Os níveis médios diários de temperatura e umidade existentes podem apresentar grande variação. Para efeito dos cálculos e definição de características dos equipamentos deverão ser considerados ambientes com variação de temperatura entre 0 °C e 70 °C e umidade relativa do ar entre 10% e 100% com poluição ambiental e chuvas ácidas.

Todo o material rodante deverá atender integralmente aos requisitos de Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança (CDMS) — *Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)* — conforme estabelecido na norma CENELEC EN 50126. Além da aplicação da metodologia RAMS, deverão ser observados os requisitos funcionais e operacionais essenciais, incluindo desempenho, confiabilidade, facilidade de manutenção e segurança, assegurando que o sistema opere de forma eficiente, contínua e segura ao longo de sua vida útil.

Vale ressaltar que a Etapa 3 – Desenvolvimento de Pesquisas de Campo da elaboração de Estudos Técnicos Urbanísticos elaborados como subsídio à implantação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) incluiu a análise das características técnicas dos principais fabricantes internacionais, permitindo adequar o projeto para o maior número de fornecedores possível.



A seguir apresentamos um resumo das principais características de cada fabricante fornecidas neste estudo. Mais detalhes a respeito do material rodante poderão ser encontrados no projeto básico de material rodante, que se encontra em desenvolvimento.





Quadro 6 – Consolidação das características técnicas dos fabricantes de material rodante obtidas na Etapa 3

Fabricante	Marco Polo	Vossloh	Siemens		CRRC	Alstom Citadis					Hyundai Rotem
Modelo	Prosper TRAM	Tramlink V3	Avenio	Avenio M	DRT	TGA 302	Citadis 205	Citadis 305	Citadis 405	Dualis	Hydrogen Tram
nº de carros	5	5	2 a 8	3//5//7	2 a 4	-	3	5	7	4 ou 5	5
Bitola da via	1435 / 1000 mm	1000//1435	1435 mm	1000 //1435	-	-	1435 mm				1435
Movimentação	bidirecional ou unidirecional	bidirecional	-	-	bidirecional	-	bidirecional ou unidirecional				-
Número de cabines	2 / 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Comprimento da composição (metros)	32	28 - 35	18-72	21-43	2 - 21,5m 3 - 30,5m 4 - 39,5m	32,34	24	32 - 37	43 - 45	42 / 52	-
Largura externa máxima (mm)	2400	2000//2400//2650	2300//2400//2650	2300//2400//2650	2500 (3300 largura da faixa)	2400	2400	2400/2650	2400/2650	2400/2650	2650
Altura máxima do veículo (mm)	3700 mm	3450 mm	-	-	3600 mm	3200	-	3270		3500	3700
Altura do piso ao boleto do trilho na região das portas (mm)	355 mm	315 mm	300//350 (450)	300 (360)	320 mm	320 mm	Portas intermediárias - 325 mm Portas frontais - 334 mm			370 mm	350 mm
Autonomia sem catenária (depende de i% e capacidade)	2 - 3 km	-	600m, depende dos critérios de projeto		Supercapacitor - 30 km (130kWh) Célula de hidrogênio - 150 km (570kWh)	-	-	-	-	-	150 km
Tipo de motorização para tração/tensão de alimentação	100% elétrico com catenária / 750 Vcc	750 V DC (+20-30%)	Catenária (+baterias e supercapacitores)		Supercapacitor - 750V (carga rápida) / 350 V (carga lenta)	Catenária - 750 V	Catenária - 750 Vdc	Catenária - 750 Vdc	Supercapacitor/baterias - 750 Vdc	Dual voltage 750V / 25KVac 50 Hz ou Dual voltage 750Vdc / 1500 Vdc	Célula de hidrogênio combustível 4 x 95kW
Peso máximo por eixo	10.000 Kgf	-	10500 Kg	12500 Kg	7500 Kg					11500 kg	11500 kg
Largura do vão das portas	1300 mm	1300 mm// 800 mm			1,60 x 1,90 m (LxA)					1300 mm	-
Número de vãos de portas por lado da composição	5	4 - duplo 2 - simples	Portas em ambos os lados, duplas, em número tal que permita uma boa facilidade de entrada e saída de passageiros		2 - 4 3 - 6 4 - 8	-	4 portas duplas	4 a 6 portas duplas ou 2 a 4 portas duplas + 2 portas simples	5 a 8 portas duplas ou 3 a 6 portas duplas + 2 portas simples	4 / 5 / 6	5
Circulação interna entre carros	Gangway	-	Sim		Gangway	Sim	Sim	Sim	Sim	Gangway	-
Raio mínimo de curva horizontal	25 m	18 m // 17 m	22 m	22 m	15 m	16 m	18 m no depósito / 25 m na via			25 m	-
Rampa máxima	6%	8%	7%	7%	15%	8%				-	-
Capacidade total de passageiros por VLT	280	182	Tabela descritiva na aba Siemens		2 - 162 3 - 241 4 - 320	204	101 em pé 142 em pé + sentados	152 a 184 em pé 202 a 238 em pé + sentados	215 a 237 em pé 271 a 341 em pé + sentados	4 pass./m²: 234 a 292 6 pass./m²: 307 a 382 8 pass./m²: 381 a 472	305
Base de cálculo de capacidade máxima	6 pass./m²	4 pass./m²	4 pass./m²		6 pass./m²	4 pass./m²				4, 6 ou 8 pass./m²	6 pass./m²
Capacidade passageiros sentados por VLT	40	60	Checar tabela na aba "Siemens"		2 - 40 3 - 56 4 - 72	54	41	42 a 66	57 a 82	92 a 116	40
Velocidade máxima operacional	75 Km/h	70 Km/h	80 Km/h	70 Km/h	70 Km/h	70 Km/h		80 Km/h		100 km/h	50 Km/h

2.2.1. Salão de Passageiros

O material rodante do projeto terá uma capacidade de transporte de aproximadamente 447 passageiros, com taxa de ocupação de 6 passageiros em pé por m², no entanto, poderão ser admitidas capacidades de 300 passageiros, assegurados os critérios de desempenho de passageiros/hora/sentido no sistema. A característica do VLT Centro é de percursos curtos realizados pelos usuários, onde o tempo de permanência no sistema seja considerado de curta duração e assim, prioriza-se espaços para passageiros em pé.

Cada fabricante do material rodante tem as próprias características de design do interior com a sua identidade visual, no entanto, a arquitetura do material rodante será o resultado da aplicação das exigências funcionais e técnicas do projeto e das diretrizes de design e inserção urbanística a serem desenvolvidos quando do projeto executivo, principalmente no que se refere a: máscara, interior e exterior dos veículos, bancos, pega mãos, áreas especiais (cadeira de rodas/ bicicletas/ carrinhos de bebê), layout, etc.

Figura 10 - Imagem ilustrativa do salão de passageiros.



Fonte: Projeto da Yellow Window Designs do novo Tram de Pádua, Itália



O projeto do material rodante deverá seguir as boas práticas internacionais, principalmente com ênfase em critérios de ergonomia, acessibilidade, segurança e conforto dos usuários, e estar em conformidade com as normas técnicas aplicáveis, entre elas:

- ABNT NBR 14021 – Transporte – Terminologia Ferroviária;
- ABNT NBR 15570 – Veículos ferroviários – Requisitos técnicos de acessibilidade;
- ABNT NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos;
- EN 14752 – *Railway applications – Body side entrance systems for rolling stock*;
- EN 12663 – *Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies*.

A seguir, são apresentadas as premissas técnicas mínimas necessária para a concepção do interior do material rodante. As soluções aqui descritas visam garantir um sistema moderno, seguro, confortável e universalmente acessível, em consonância com os princípios de mobilidade sustentável e inclusão social.

A configuração interna do VLT deve respeitar princípios ergonômicos de forma a proporcionar conforto físico e usabilidade a todos os perfis de usuários. Os assentos deverão apresentar altura entre 450 mm e 500 mm do piso, com largura útil mínima de 430 mm por ocupante. O espaço livre entre bancos dispostos frente a frente, se a caso houver, não deverá ser inferior a 650 mm, garantindo mobilidade para as pernas. A altura interna livre mínima deverá ser de 2,30 metros, possibilitando a livre circulação dos passageiros. Devem ser distribuídos apoios verticais e horizontais ao longo do salão, com altura entre 900 mm e 1800 mm, respeitando critérios de ergonomia e segurança.

O material rodante deve garantir total acessibilidade, conforme os parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 9050 e ABNT NBR 15570. O veículo deverá possuir piso totalmente rebaixado (*low floor*), contínuo e nivelado com a plataforma de embarque, evitando degraus ou desníveis entre o interior do VLT e o ponto de acesso. Deverá conter espaços reservados para cadeira de rodas, com sinalização específica, barras de apoio, fixadores e cintos de segurança e os assentos preferenciais deverão estar identificados e localizados próximos às portas, com diferenciação visual e tátil.



Todos os materiais utilizados no revestimento interno devem ser resistentes à propagação de chamas e emissão de fumaça tóxica, conforme norma EN 45545. Os veículos terão ar-condicionado para manter o conforto térmico e permitir troca de ar mesmo em condições emergenciais.

O veículo deverá contar com sistema de videomonitoramento interno, com câmeras estrategicamente posicionadas. Corrimãos, suportes e barras de apoio devem ser fixados solidamente e distribuídos ao longo do salão e áreas de circulação. As portas e saídas de emergência deverão possuir sinalização luminosa, comandos manuais visíveis. A iluminação de emergência deverá ser autônoma e distribuída conforme norma EN 13272-1.

Em relação ao conforto dos passageiros, o veículo deverá ter sistema de climatização com distribuição de temperatura uniforme em todo o salão. O isolamento acústico e vibroacústico deverá limitar os níveis sonoros internos no limite aceitável por norma em operação normal.

O arranjo das superfícies envidraçadas deve permitir que todas as categorias de passageiros, estejam de pé ou sentados, tenham uma boa visão do exterior e mais especialmente das informações no ponto de parada a que se destinam.

O nível de iluminação do salão de passageiros, será observado o prescrito na norma NBR 14021 (300 lux). Quando a iluminação natural não for suficiente a iluminação artificial será acionada automaticamente ou pelo condutor.

Os assentos devem possuir revestimento resistente, de fácil limpeza, e espuma com densidade adequada ao uso prolongado. A suspensão do veículo deverá assegurar baixos níveis de trepidação, mesmo em condições de frenagem e aceleração.

O projeto também prevê a adoção de um sistema de pagamento e controle de acesso que integre tecnologias já existentes, com foco na agilidade do embarque e desembarque, na segurança dos usuários e na prevenção de fraudes e para garantir uma boa experiência ao passageiro, serão implementados painéis informativos e sistemas de áudio nos veículos, que fornecerão informações em tempo real, permitindo orientação adequada



para deficientes visuais e auditivos e todos os botões de solicitação de parada devem conter sinalização em braile e altura acessível (entre 800 mm e 1200 mm do piso).

O sistema de segurança contará com câmeras de monitoramento internas, alarmes e dispositivos de comunicação de emergência, assegurando um ambiente mais protegido para os usuários e por fim, serão incorporadas tecnologias de acessibilidade, como rampas automáticas e sistemas de aviso sonoro, garantindo que pessoas com deficiência tenham acesso pleno e seguro ao serviço.

2.2.2. Cabine

O veículo será do tipo bidirecional, com cabines de condução localizadas em ambas as extremidades da composição. Cada cabine será climatizada e isolada do compartimento de passageiros por uma divisória envidraçada com porta de correr, proporcionando segurança, visibilidade e controle operacional eficiente. O projeto da cabine considerará princípios de ergonomia, conforto térmico, visual e acústico, com layout otimizado para reduzir o esforço físico e cognitivo do operador durante jornadas prolongadas.

O posto de condução será equipado com uma poltrona ajustável em altura, distância e inclinação, com apoio lombar e sistema de absorção de vibrações. Os comandos principais estarão dispostos de forma intuitiva, respeitando a zona de alcance natural das mãos, conforme as normas da EN 16186 (Design da Cabine do Maquinista) e da NR 17 (Ergonomia). A visibilidade frontal e lateral será garantida por janelas amplas e painéis antirreflexo, com sistema de desembaçamento e limpadores automáticos. A cabine contará ainda com iluminação regulável e isolamento contra ruído e vibrações, de forma a reduzir a fadiga do condutor.

A interface homem-máquina (IHM) será composta por painéis digitais multifuncionais com tecnologia *touch screen* e botões físicos redundantes para comandos críticos, como frenagem de emergência e comunicação com o centro de controle. A IHM exibirá, em tempo real, dados operacionais como velocidade, tração, frenagem, status dos sistemas auxiliares, falhas detectadas, alarmes e mensagens do sistema de supervisão.



2.2.3. Sistemas Embarcados

O sistema embarcado é parte fundamental da arquitetura de controle e deverá prover funcionalidades auxiliares de rastreamento, regulação e interface com o operador. Será composto por:

- Computador de bordo, responsável pelo processamento local;
- Interface Homem-Máquina (IHM), instalada em cada cabine;
- Sistema de localização ao longo da via;
- Odômetro (fornecido junto ao material rodante);
- Rádio TETRA e antenas (parte do sistema de telecomunicações);
- Conexão à rede embarcada do VLT, para integração entre os módulos.

Esses componentes deverão permitir a localização automática do veículo (AVL), suporte à regulação de serviço, comunicação com o CCO e registro de dados operacionais.

Os trens serão interligados via rádio ao Sistema de Transmissão ao longo da linha, para a comunicação com o centro de controle.

O trem deverá ter um sistema de sonorização para divulgação de mensagens inteligíveis aos passageiros, tais como: próxima estação, lado de desembarque, dentre outros. Tais mensagens serão automáticas e sincronizadas com as informações visuais (monitores, mapas dinâmicos de linha e painéis). Também poderão ser enviadas mensagens no modo manual. Esse sistema terá capacidade de garantir que a emissão de mensagens tenha inteligibilidade mínima de 90% em qualquer sonofletor.

Serão instalados painéis multimídia no lado interno do carro para apresentação de mensagens operacionais e institucionais. Os painéis devem ser integrados com os recursos de acessibilidade para pessoas com deficiência, previstos na Norma NBR 14021.

O trem deve contar com sistema de registro de eventos que manterá armazenado alguns dados relevantes tais como: velocidade, distância percorrida, parada em estação, freio de serviço, freio de emergência, modo de condução, estado das portas travado/destravado e aberto/fechado, dentre outros, durante pelo estipulado no projeto, para viabilizar a análise



de ocorrências notáveis do sistema. Essas informações deverão permanecer armazenadas mesmo no caso de falta de alimentação.

2.3. ENERGIA

No que se refere aos sistemas elétricos, está em fase de contratação a elaboração dos seguintes projetos básicos para viabilizar a implantação do VLT: projetos básicos de sistemas elétricos da rede, dos empreendimentos associados e demais infraestruturas e os projetos básicos de subestações e/ou sistemas alimentadores de recarga de hidrogênio. Dessa forma, o que é apresentado neste capítulo é um estudo das tecnologias disponíveis para fornecimento de energia.

O sistema de energia do VLT tem como função garantir o fornecimento elétrico confiável para toda a operação: trens, estações, pátios, subestações e sistemas de controle. Esse fornecimento deve ser seguro, ágil em situações de emergência e integrado a todos os pontos do sistema, como o Centro de Controle Operacional (CCO), o Pátio de Manutenção, os veículos e a infraestrutura ao longo do traçado. Os equipamentos elétricos deverão estar conectados a um Sistema de Controle Central, responsável pelo monitoramento e recebimento de alertas e falhas em tempo real.

Para atender às diferentes demandas operacionais, o sistema de energia será dividido em quatro subsistemas, cada um com função específica dentro da arquitetura elétrica do VLT:

- Sistema de Alimentação de Alta Tensão
- Sistema de Alimentação de Média Tensão
- Sistema de Alimentação de Baixa Tensão
- Sistema de Alimentação de Tração

Cada um desses subsistemas cumpre um papel específico na cadeia de fornecimento de energia, desde a recepção da energia da concessionária até a distribuição final aos equipamentos e sistemas do VLT. A seguir, são apresentadas as características e funções de cada um deles.



2.3.1. Sistema de Alimentação de Alta Tensão

A Subestação Primária do Sistema de Alimentação de Alta Tensão será responsável por receber energia da concessionária local em faixas usuais de média tensão — como 13,8 kV, 21 kV, 23 kV ou 34,5 kV — conforme a Especificação Técnica da Enel Distribuição São Paulo (Cód. CNC-OMBR-MAT-20-0976-EDSP), e rebaixá-la para o nível de tensão adequado ao sistema de tração, atendendo aos requisitos de confiabilidade, segurança e disponibilidade exigidos para sistemas de missão crítica, como o VLT.

A conexão com a rede da concessionária ocorrerá por meio das subestações de entrada. A forma de atendimento deverá ser definida em contrato, que apresentará as diretrizes técnicas formalmente estabelecidas pela concessionária. O projeto deverá seguir os padrões técnicos da Enel.

O projeto deverá adotar um regime de contingência que assegure a continuidade do fornecimento, mesmo em caso de falha de um componente crítico. As subestações primárias deverão contar com dois barramentos interligados por chave motorizada e dois barramentos secundários (cubículos), conectados por disjuntor, permitindo a alimentação alternada das Subestações Retificadoras.

Cada Subestação Retificadora deverá ser alimentada por dois ramais independentes provenientes das subestações primárias, garantindo o mesmo nível de redundância. Em cada unidade será instalado um transformador de força seco, com potência a ser definida no dimensionamento do projeto elétrico. Embora não se preveja redundância para a transformação em si, recomenda-se a aquisição de transformadores sobressalentes para cobertura de falhas ou manutenções preventivas.

Uma análise técnica mais aprofundada, a ser desenvolvida na fase de projeto executivo, deverá considerar os critérios de confiabilidade e disponibilidade do sistema, incluindo a previsão de redundâncias e equipamentos reserva que garantam a operação contínua e segura do sistema de alimentação elétrica.



2.3.2. Sistema de Alimentação de Média Tensão

Conceitualmente, a Média Tensão tem como função conduzir a energia elétrica em corrente alternada, a partir das Subestações Primárias, até as Subestações Retificadoras, responsáveis pela conversão da energia de média tensão (CA) em corrente contínua (Vcc), utilizada para a tração dos veículos do VLT.

Recomenda-se que as Subestações Retificadoras sejam alimentadas por dois ramais independentes oriundos das subestações primárias, garantindo o regime de contingência a ser estabelecido no projeto. Nessas unidades, a energia será transformada e retificada, resultando em tensão contínua, usualmente na faixa de 600 a 750 Vcc — padrão amplamente adotado em sistemas de VLT urbanos no Brasil e no exterior. A definição exata da tensão dependerá das características do sistema, especialmente do material rodante e dos requisitos operacionais.

O espaçamento entre as Subestações Retificadoras segue critérios técnicos baseados em variáveis a serem dimensionadas, como perdas por queda de tensão, perfil topográfico da linha, consumo estimado de energia e necessidade de redundância operacional. Em sistemas com tensão de tração de 750 Vcc, é comum que o projeto adote distâncias entre 1.500 m e 2.500 m entre as subestações, garantindo cobertura eficiente da demanda energética ao longo do trajeto. Outra prática recorrente em projetos similares é a instalação de uma Subestação Retificadora a cada duas estações de passageiros, contribuindo para o equilíbrio entre desempenho operacional e otimização de custos de infraestrutura.

O número total e a localização das subestações deverão ser definidos durante a fase de projeto executivo, com base em modelagens energéticas detalhadas e simulações de marcha e de energia, e considerando critérios de confiabilidade, seletividade, proteção e manutenção. As subestações deverão estar integradas ao Sistema Supervisório Central, com dispositivos de monitoramento e atuação remota, possibilitando resposta rápida em caso de falhas ou necessidades operacionais.



2.3.3. Sistema de Alimentação de Baixa Tensão

O Sistema de Alimentação de Baixa Tensão será responsável pelo fornecimento de energia elétrica destinada aos sistemas auxiliares de operação, controle e segurança do VLT. Esse fornecimento abrangerá o Centro de Controle Operacional (CCO), o Pátio de Manutenção, as paradas ao longo do traçado e toda a infraestrutura técnica de apoio distribuída pela linha.

A alimentação de baixa tensão atende a diversos subsistemas, como iluminação interna e pública, bilhetagem, CFTV, sonorização, painéis de informação ao passageiro, telecomunicações, ventilação, climatização, rede lógica e sistemas de automação. Esses serviços são essenciais para a operação segura e eficiente do sistema e devem estar permanentemente energizados, mesmo em condições de instabilidade da rede principal. Diante da criticidade de alguns desses serviços — especialmente os ligados à segurança, comunicação e controle operacional — recomenda-se a utilização de sistemas de alimentação ininterrupta (*Uninterruptible Power Supply* (UPS) ou nobreak), particularmente no CCO, nas salas técnicas das paradas e em pontos estratégicos da linha. A adoção de UPS deverá considerar critérios de seletividade, autonomia mínima compatível com os planos de emergência e integração com o Sistema Supervisório.

Em pontos de parada com menor demanda energética, poderá ser considerada a alimentação direta a partir da rede de distribuição pública local, por meio de ramal com medição individual. Essa solução, comumente adotada em sistemas de VLT urbanos, permite maior flexibilidade na implantação e na manutenção, especialmente em trechos distantes do backbone de média tensão do sistema. A viabilidade dessa abordagem deverá ser avaliada durante o projeto executivo, com base em critérios de demanda, segurança, custos operacionais e integração com os sistemas centrais.

O Sistema de Baixa Tensão deverá ser dimensionado conforme a carga estimada para cada instalação, prevendo capacidade de expansão, padronização de tensões, proteção contra sobretensões e segregação adequada de circuitos críticos, em conformidade com as diretrizes da ABNT NBR 5410 (Instalações elétricas de baixa tensão) e demais normas aplicáveis.



2.3.4. Sistema de Alimentação de Tração

O Sistema de Alimentação de Tração é o responsável por fornecer energia elétrica diretamente aos veículos do VLT, assegurando sua operação em conformidade com os requisitos de desempenho, segurança, eficiência energética e integração urbana. A definição do Sistema de Tração está diretamente relacionada ao sistema de fornecimento elétrico como um todo, exigindo compatibilidade com os parâmetros da rede de média tensão, a capacidade das Subestações Retificadoras, e os requisitos do material rodante, atualmente em fase de especificação.

De forma geral, a alimentação dos veículos poderá ser feita por corrente contínua (Vcc), tipicamente na faixa de 600 a 750 V, proveniente das Subestações Retificadoras, em sistemas baseados em catenária aérea ou alimentação pelo solo (APS). Alternativamente, poderão ser adotados sistemas com energia embarcada, como ultracapacitores, baterias ou células a combustível (hidrogênio), dependendo da viabilidade técnica, urbanística e econômica para cada trecho da linha.

A análise das alternativas deve considerar não apenas fatores como custo de implantação e manutenção, mas também os impactos urbanísticos, a sustentabilidade ambiental e a viabilidade de financiamento — especialmente junto a organismos multilaterais de crédito, que cada vez mais exigem aderência a padrões internacionais de desempenho social, econômico e ambiental.

As alternativas tecnológicas avaliadas neste capítulo demonstram que não existe solução única, mas sim possibilidades que devem ser combinadas de forma estratégica, conforme o perfil urbano, a sensibilidade paisagística e as condições operacionais de cada trecho do traçado. O detalhamento dessas escolhas será responsabilidade do projeto, que deverá adotar critérios de eficiência energética, confiabilidade, sustentabilidade ambiental.

A seguir são descritas as principais tecnologias atualmente utilizadas em sistemas de VLT ao redor do mundo, com suas características técnicas, vantagens e limitações.

A alimentação elétrica por **catenária aérea** continua sendo a solução predominante em sistemas de VLT. Ela consiste em cabos aéreos energizados por subestações e coletados pelos veículos por meio de pantógrafos. Operando geralmente com corrente contínua



entre 600 V e 750 V, esse sistema oferece alta confiabilidade, baixo custo operacional e ampla compatibilidade com diferentes sistemas de sinalização. É uma tecnologia madura, utilizada em centenas de cidades no mundo, com tempo de vida útil da infraestrutura superior a 30 anos, e manutenção relativamente simples. No entanto, seu impacto visual é elevado, comprometendo a integração urbana em áreas históricas ou de interesse arquitetônico. Além disso, a instalação de postes e cabos pode interferir em redes aéreas preexistentes e restringir a arborização urbana.

Como alternativa, surgem os sistemas de **alimentação pelo solo**, como o APS, desenvolvido pela Alstom. Nesse sistema, um terceiro trilho é instalado entre os trilhos convencionais e energizado apenas sob os veículos em movimento, por seções isoladas eletronicamente. Essa tecnologia elimina completamente o uso de catenárias, garantindo maior preservação estética do espaço urbano. O sistema exige, no entanto, infraestrutura de controle sofisticada, manutenção rigorosa e drenagem eficiente, especialmente em regiões sujeitas a alagamentos. O custo por quilômetro implantado pode ser até 50% superior ao da catenária convencional. O APS apresenta boa compatibilidade com sistemas de controle e operação e já foi amplamente testado em cidades como Bordeaux, Nice, Rio de Janeiro e Dubai.

Outra solução promissora são os sistemas de armazenamento de energia embarcada, como os **ultracapacitores**. Essa tecnologia permite que os veículos operem de forma totalmente livre de catenária, sendo recarregados em pontos de parada ou nas estações terminais. Os ultracapacitores se destacam por sua alta capacidade de carga e descarga em ciclos curtos (em torno de 20 a 30 segundos), aproveitando também a energia gerada nas frenagens. O sistema adotado em Doha, no Qatar, por exemplo, oferece uma autonomia de cerca de 1,5 km por ciclo de carga, suficiente para operação em corredores urbanos com paradas frequentes. A durabilidade dos módulos pode ultrapassar 15 anos, com baixos custos de manutenção, pois não há necessidade de troca regular como no caso das baterias. O sistema é leve, mas exige planejamento cuidadoso de pontos de recarga e sincronização com a operação comercial.

Os **sistemas baseados em baterias** (geralmente de íons de lítio ou fosfato de ferro-lítio) vêm sendo cada vez mais explorados em projetos recentes. As baterias apresentam maior



autonomia que os ultracapacitores, podendo alcançar de 5 a 10 km por carga, dependendo da configuração. No entanto, seu tempo de recarga é superior (variando de 1 a 5 minutos), o que exige planejamento operacional específico. As baterias têm vida útil entre 8 e 12 anos, e sua substituição periódica representa um dos principais desafios econômicos do sistema. Além disso, seu descarte requer observância de normas ambientais rigorosas. Em contrapartida, permitem operação sem catenária e são adequadas para trechos urbanos intercalados com alimentação externa ou híbrida.

Por fim, a tração por **hidrogênio** tem ganhado destaque em sistemas ferroviários de média distância, como o Coradia iLint da Alstom, e começa a ser considerada para aplicações em VLT. O sistema utiliza células a combustível embarcadas que convertem hidrogênio em eletricidade, emitindo apenas vapor d'água como subproduto. Com autonomia de até 600 km por abastecimento e velocidade operacional semelhante à de trens convencionais, a tecnologia é particularmente interessante para regiões não eletrificadas. Entretanto, seu uso em corredores urbanos ainda é limitado pela complexidade da infraestrutura de abastecimento, pelos custos de produção e pelas exigências de segurança. O hidrogênio verde — produzido a partir de fontes renováveis — é o ideal para garantir sustentabilidade, mas ainda possui custo elevado e baixa oferta. O potencial de desenvolvimento dessa alternativa no Brasil dependerá de políticas energéticas integradas e da capacidade de produção local com base em fontes limpas, como a solar e a eólica.

Em termos de eficiência energética, os sistemas embarcados com ultracapacitores são especialmente vantajosos, pois aproveitam a energia de frenagem e permitem recargas rápidas em estações de parada. Isso os torna ideais para sistemas com alta frequência de paradas, reduzindo significativamente o consumo de energia da rede. As baterias também apresentam boa eficiência, embora sofram perdas maiores em ciclos de carga e descarga, e exijam gerenciamento térmico mais complexo. Já o hidrogênio, apesar de não emitir poluentes localmente, possui eficiência global inferior, pois envolve múltiplas etapas energéticas desde a produção até a conversão final em eletricidade.

Quanto ao custo de implantação, os sistemas baseados em catenária aérea continuam sendo os mais acessíveis. Sua infraestrutura é amplamente conhecida, com oferta



consolidada de fornecedores e manuais técnicos. Em contrapartida, tecnologias como APS exigem maior investimento inicial, tanto pela complexidade de instalação dos trilhos energizados quanto pela necessidade de equipamentos de controle precisos. Os sistemas embarcados, como baterias e ultracapacitores, apresentam custos intermediários, com variações dependendo da autonomia requerida. Já a implantação da infraestrutura para tração a hidrogênio é a mais onerosa, especialmente em projetos que demandem produção local de hidrogênio verde.

A operação e manutenção também diferem entre as tecnologias. A catenária, embora robusta, demanda inspeções periódicas da rede aérea e apresenta riscos de vandalismo em áreas urbanas. O APS exige manutenção intensiva e limpeza constante do trilho central, além de maior cuidado com sistemas eletrônicos de ativação. As baterias implicam substituição periódica e planejamento de descarte ambientalmente correto, enquanto os ultracapacitores oferecem uma vida útil mais longa, com baixos custos de manutenção. No caso do hidrogênio, a operação exige controle rigoroso da segurança nos pontos de abastecimento e monitoramento contínuo das células de combustível, que devem ser substituídas após cerca de 10 a 15 anos de uso.

59

Do ponto de vista ambiental, todas as tecnologias aqui analisadas possibilitam a operação livre de emissões locais. No entanto, a origem da energia consumida é determinante para a pegada de carbono do sistema. Sistemas baseados em eletricidade da rede pública terão impacto ambiental variável, conforme a matriz energética da região. No Brasil, onde predomina a geração hidrelétrica, os sistemas elétricos possuem vantagem considerável. O hidrogênio, por sua vez, só atinge seu potencial sustentável se for produzido por eletrólise com fontes renováveis, o que ainda representa uma parcela limitada do mercado global.

Na perspectiva de financiamento e certificações, tecnologias com menor impacto visual e emissões tendem a ser mais bem avaliadas. Projetos que adotam soluções livres de catenária, com arquitetura integrada ao espaço urbano e planejamento de gestão de energia, têm maiores chances de se enquadrar em instrumentos como os “*green bonds*” e em critérios de certificação como o Envision e o ISO 14001. Além disso, organismos multilaterais de crédito frequentemente demandam comprovação de viabilidade



econômica associada a benefícios sociais e ambientais, o que favorece soluções que aliam tecnologia limpa, integração urbana e redução de externalidades negativas.

A quadro a seguir compara as principais tecnologias de tração para VLT e resumindo suas principais características.

Quadro 7 – Comparativo das alternativas de alimentação elétrica.

	Fonte de Energia	Necessidade de sub. retif.	Infraestrutura essencial	Autonomia	Impacto Visual	Notas técnicas
Catenária Aérea	Corrente contínua (600-750 Vcc)	Sim	Postes, fios aéreos, pantógrafos, sistema de retorno de corrente	Contínua enquanto energizada	Alto	Solução consolidada, manutenção simples, custo mais acessível
APS (Alimentação pelo Solo)	Corrente contínua (600-750 Vcc)	Sim	Terceiro trilho energizado, seccionadores eletrônicos, drenagem	Contínua enquanto energizada	Muito Baixo	Exige alta precisão de controle e boa drenagem. Ideal para áreas históricas
Ultra-capacitores	Energia embarcada, recarga em paradas	Não (ou reduzida)	Estações com pontos de recarga rápida, integração com frenagem regenerativa	1 a 2 km por carga	Nenhum	Alta eficiência, recarga rápida, ideal para sistemas com muitas paradas
Baterias - Íons de Lítio	Energia embarcada	Não (ou reduzida)	Estações com pantógrafos ou carregadores, controle térmico	5 a 10 km por carga	Nenhum	Boa flexibilidade, recarga mais lenta, ciclo de vida menor que ultracapacitor
Hidrogênio	Célula a combustível embarcada	Não	Infraestrutura de abastecimento, segurança de armazenamento	Até 600 km por abastecimento	Nenhum	Sem emissão local, custo alto, ideal para trechos longos ou não eletrificados

Independentemente da tecnologia adotada, o Sistema de Tração deverá ser projetado com base em critérios de confiabilidade, eficiência energética e compatibilidade com os sistemas de controle e sinalização. O dimensionamento da rede de tração, os sistemas de retorno de corrente, os dispositivos de proteção, o aterramento e a integração com o Sistema de Controle Central serão definidos com o apoio dos projetos básicos e executivos a serem contratados.

Diversos sistemas de VLT ao redor do mundo têm adotado diferentes tecnologias de tração, moldadas pelas características urbanas, climáticas, culturais e financeiras de cada local. A análise de casos internacionais ajuda a compreender os cenários ideais de



aplicação para cada solução e fornece subsídios técnicos importantes para tomada de decisão.

i. Doha, Qatar – Ultracapacitores em Clima Extremo

O sistema de VLT de Doha, desenvolvido pela Siemens, representa um exemplo emblemático de uso de ultracapacitores embarcados como alternativa à alimentação por catenária. O projeto foi implementado na Education City, um campus universitário de grande porte, e conta com 19 trens do modelo Avenio, operando de forma 100% livre de cabos aéreos. A decisão pela tecnologia se deu principalmente pelas condições ambientais desafiadoras da região, como calor intenso, presença constante de poeira e areia, e risco de corrosão acelerada da infraestrutura aérea.

Os veículos são recarregados nos pontos de parada, com ciclos rápidos de 20 a 30 segundos, e utilizam energia recuperada nas frenagens para aumentar a eficiência energética. Com velocidade máxima de 40 km/h e capacidade para até 157 passageiros, o sistema mostra como os ultracapacitores podem ser eficazes mesmo em ambientes extremos, mantendo baixo custo operacional e excelente integração com a paisagem urbana.

61

ii. Rio de Janeiro, Brasil – APS e Integração com o Centro Histórico

O VLT Carioca, implantado na região central do Rio de Janeiro, é um caso de referência nacional. O sistema utiliza tecnologia da Alstom com alimentação mista: catenária convencional em alguns trechos e o APS (alimentação pelo solo) em áreas sensíveis do ponto de vista paisagístico, como a Orla Conde e os entornos do Paço Imperial.

A escolha do APS se deu como parte de um projeto de requalificação urbana da região portuária, que incluiu a derrubada do Elevado da Perimetral e a valorização do espaço público. O sistema, além de promover um modal limpo e silencioso, foi integrado ao Bilhete Único, permitindo a conexão com ônibus, BRT, metrô e barcas. A operação média ocorre com intervalos de 7 minutos, e os trens, com 44 metros, comportam cerca de 420 passageiros.



Apesar de ser uma tecnologia de custo mais elevado, o APS foi fundamental para garantir a aceitação pública e a preservação do patrimônio histórico, mostrando-se uma solução equilibrada entre valor estético, eficiência e sustentabilidade.

iii. Bordeaux, França – Pioneirismo em Alimentação Pelo Solo

Bordeaux foi uma das primeiras cidades do mundo a eliminar completamente a catenária em sua malha urbana central. A cidade francesa implantou o sistema APS em seu VLT como parte de um programa mais amplo de revitalização urbana, com foco em patrimônio, mobilidade ativa e redução do tráfego motorizado.

A operação teve início no início dos anos 2000, e desde então o sistema tem sido expandido com grande sucesso. O VLT é considerado elemento central da estratégia de mobilidade da cidade, e o uso do APS permitiu preservar a estética do centro histórico, que inclui construções tombadas e eixos turísticos importantes.

A operação do sistema tem demonstrado grande confiabilidade, embora exija um plano contínuo de manutenção preventiva para garantir o funcionamento dos trilhos energizados mesmo em condições adversas, como chuvas intensas ou acúmulo de folhas e detritos.

62

iv. Nice e Barcelona – Baterias em Trechos Históricos

Em cidades como Nice (França) e Barcelona (Espanha), os sistemas de VLT utilizam baterias embarcadas como solução para evitar o uso de catenárias em pontos sensíveis. Em Nice, por exemplo, os trens recarregam automaticamente em estações por pantógrafos de contato rápido e utilizam essa energia para trafegar em zonas de pedestres ou áreas de interesse turístico.

O sistema oferece autonomia de até 5 km em modo totalmente autônomo e integra-se perfeitamente ao planejamento urbano, mantendo a continuidade visual das praças e vias históricas. Essa solução tem sido considerada uma das mais equilibradas entre custo, flexibilidade e impacto urbano, embora demande maior controle sobre o ciclo de vida útil das baterias.



v. *O caso de São Paulo*

No contexto do centro da cidade de São Paulo, os impactos urbanísticos associados à escolha da tecnologia de tração para VLT assumem papel central no processo de decisão. Trata-se de uma região de alta densidade, com forte valor histórico, arquitetônico e cultural, que convive com uma paisagem urbana saturada por infraestrutura aérea — como redes de energia, telecomunicações e iluminação pública — e com crescente pressão por requalificação do espaço público.

Nessa perspectiva, a adoção de tecnologias de tração que dispensam o uso de catenárias aéreas — como a alimentação pelo solo (APS), sistemas de energia embarcada ou mesmo soluções híbridas — apresenta-se como uma estratégia viável e desejável. Além de preservar a identidade visual da região, tais soluções contribuem para a criação de espaços urbanos mais limpos, organizados e acessíveis, favorecendo a integração com a mobilidade ativa e a circulação de pedestres. Em contrapartida, exigem maior investimento inicial e, muitas vezes, acordos tecnológicos com fornecedores específicos.

Ao mesmo tempo, a escolha tecnológica influencia a forma como o sistema de VLT se articula com o tecido urbano. Tecnologias sem catenária favorecem a ampliação de calçadas, a criação de vias compartilhadas e o atendimento a requisitos de acessibilidade universal, reforçando o papel do VLT como elemento estruturador de políticas públicas de mobilidade, inclusão e revitalização urbana no centro de São Paulo.

Sistemas baseados em catenária aérea, por sua vez, permanecem competitivos em corredores de média e alta capacidade, principalmente quando o custo de implantação é um fator decisivo. Sua maturidade tecnológica, simplicidade de manutenção e compatibilidade com sistemas existentes tornam essa opção segura e econômica, sobretudo em vias segregadas ou novas centralidades urbanas.

A tração por hidrogênio, ainda que em fase inicial para aplicações urbanas, se apresenta como alternativa promissora para o futuro — especialmente em corredores suburbanos, intermunicipais ou regiões com baixa densidade, onde a infraestrutura elétrica seria onerosa ou tecnicamente inviável. Seu desenvolvimento, no entanto, depende da



estruturação de cadeias logísticas e produtivas de hidrogênio verde, em sintonia com políticas nacionais de energia limpa.

Do ponto de vista da sustentabilidade, todas as tecnologias analisadas oferecem condições para operação de baixo impacto ambiental. Entretanto, a real contribuição à redução das emissões de carbono está diretamente relacionada à fonte de energia utilizada — fator que, no Brasil, tende a ser favorável pela predominância da matriz elétrica renovável. A escolha tecnológica, nesse sentido, deve dialogar com as estratégias municipais de descarbonização e com os compromissos internacionais de enfrentamento às mudanças climáticas.

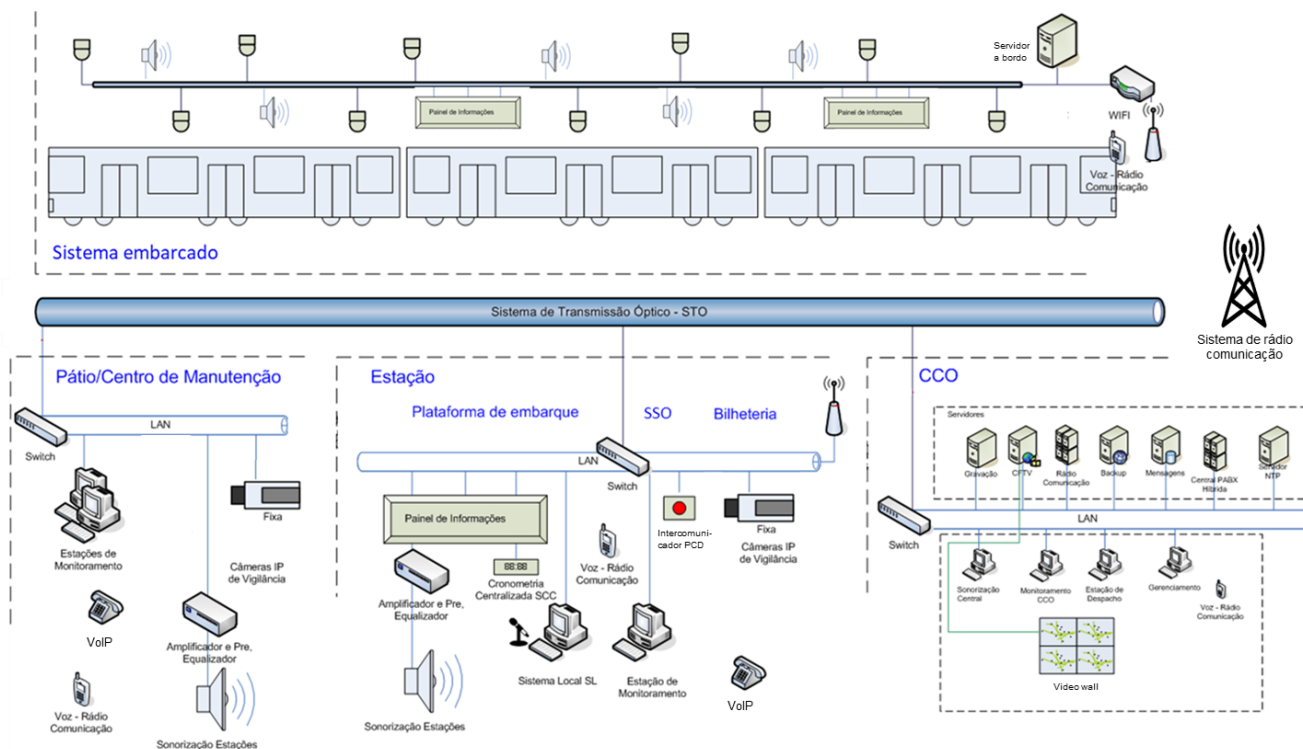
2.4. SISTEMAS

O presente item apresenta os sistemas essenciais à operação e à gestão do VLT, estruturados conforme as melhores práticas internacionais e os referenciais técnicos aplicáveis ao transporte guiado urbano.

Esses sistemas abrangem desde a supervisão centralizada, o controle de tráfego e de energia, até os subsistemas de telecomunicações, bilhetagem e videomonitoramento, compondo uma infraestrutura tecnológica integrada, voltada à eficiência operacional, à segurança dos usuários e à confiabilidade do serviço.

Baseada nos estudos técnicos da futura Linha 14 – Ônix, conduzidos pelo Governo do Estado de São Paulo, a configuração funcional apresentada a seguir reúne os principais blocos tecnológicos típicos de sistemas modernos de VLT, incluindo os componentes embarcados, a infraestrutura das estações e o Centro de Controle Operacional (CCO), todos interligados por uma rede de transmissão digital segura e redundante.

Figura 11 – Arquitetura dos sistemas funcionais do VLT.



Fonte: Governo do Estado de São Paulo. Estudos Técnicos do VLT Linha 14 – Ônix (2025) – Imagem ilustrativa, sem caráter vinculativo de projeto.

65

As subseções seguintes descrevem os sistemas que deverão ser implantados no VLT do Centro de São Paulo, conforme a concepção prevista neste relatório. A arquitetura sistêmica apresentada acima serve unicamente como ilustração de referência funcional, com base em estudos de projetos similares, e não representa uma proposta executiva para o sistema local.

2.4.1. Sistema de Controle Centralizado

O Sistema de Controle Centralizado (SCC) constitui a plataforma supervisória responsável pela coordenação, monitoramento e apoio à operação do VLT, atuando a partir do CCO. Sua principal função é garantir o monitoramento em tempo real, o comando remoto e a análise contínua dos eventos operacionais dos diversos sistemas autônomos que compõem a infraestrutura técnica do modal.



O SCC não se configura como um sistema que incorpora fisicamente os subsistemas operacionais, mas como uma camada de integração lógica e supervisão de alto nível. Por meio de interfaces padronizadas e protocolos de comunicação interoperáveis, o SCC estabelece conexões com os sistemas de controle de tráfego, sinalização semafórica, telecomunicações, bilhetagem, energia, videomonitoramento e apoio à manutenção, consolidando informações operacionais e viabilizando a tomada de decisões estratégicas e táticas.

Sua arquitetura deverá ser baseada em servidores redundantes, infraestrutura de rede de alta disponibilidade, bancos de dados com replicação automática e postos de operação distribuídos, assegurando o funcionamento contínuo e seguro das atividades críticas do VLT. A comunicação com os sistemas de campo será realizada via Sistema de Transmissão de Dados (STD), em arquitetura TCP/IP, com enlaces protegidos, segregação lógica e redundância física.

O SCC deverá integrar as seguintes funções operacionais:

- Supervisão da circulação das composições e dos dispositivos de via;
- Monitoramento de status e alarmes do sistema de energia de tração;
- Visualização de imagens e eventos do sistema de monitoramento (CFTV);
- Acompanhamento dos dados de bilhetagem e fluxo de passageiros;
- Suporte à manutenção preventiva e corretiva;
- Gerenciamento da comunicação operacional com condutores, agentes de campo e sistemas embarcados.

Cada sistema operacional manterá sua lógica de funcionamento própria, porém deverá ser plenamente integrável ao SCC, por meio de protocolos de dados compatíveis e mecanismos de troca de informações em tempo real.

Critérios de Dimensionamento e Projeto

O Sistema de Controle Centralizado deverá ser projetado conforme os seguintes critérios técnicos e de desempenho:



- **Normas aplicáveis:**

- IEC 62290-1: Sistemas de comando e controle para transporte guiado urbano – requisitos funcionais e de desempenho.
- ABNT NBR 15570: Sistemas de controle e supervisão para transporte ferroviário – diretrizes técnicas nacionais.
- IEC 61508: Segurança funcional de sistemas elétricos/eletrônicos programáveis relacionados à segurança.

- **Requisitos mínimos de desempenho:**

- Disponibilidade operacional mínima de 99,9% (nível de serviço 24/7);
- Tempo de resposta inferior a 5 segundos para eventos críticos;
- Capacidade de monitorar em tempo real todos as composições que estiverem circulando simultâneas;
- Armazenamento de eventos históricos com rastreabilidade por pelo menos 30 dias.

- **Critérios de projeto e operação:**

- Arquitetura tolerante a falhas, com servidores espelhados e backups automáticos;
- Suporte a operação distribuída com redundância geográfica opcional;
- Interface gráfica amigável com controle por mapas georreferenciados;
- Compatibilidade com protocolos SNMP (Simple Network Management Protocol), Modbus TCP/IP (Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet), OPC-UA (Open Platform Communications - Unified Architecture) e Web Services;
- Sincronização horária via servidor NTP (Network Time Protocol) centralizado;
- Integração nativa com o Sistema de Transmissão de Dados (STD), Sistema de Radiocomunicação e Sistema de Monitoramento Eletrônico (CFTV);
- Capacidade de gerar relatórios automáticos, alarmes por prioridade e registro de ocorrências com carimbo de tempo.

- **Referências Operacionais**



Como referência nacional, o VLT Carioca (Rio de Janeiro) opera com sistema SCADA centralizado no CCO da Praça XV. Esse sistema supervisiona a sinalização CBTC ([Controle de Trens Baseado em Comunicação](#)), a alimentação elétrica das subestações e o monitoramento da frota, com redundância de servidores, comunicação IP sobre rede de fibra óptica e operação ininterrupta.

No caso do VLT de Santos, o Centro de Controle Operacional, localizado em São Vicente, adota uma arquitetura modular com redundância plena e monitoramento 24/7. O sistema é responsável pela integração entre supervisão de tráfego, subestações, bilhetagem, videomonitoramento e sistema de informação ao usuário, utilizando plataforma digital compatível com os padrões da EMTU.

Ambos os casos seguem os preceitos técnicos das normas IEC 62290 e ABNT NBR 15570, e oferecem boas práticas aplicáveis ao contexto de implementação do VLT no município de São Paulo.

O projeto do SCC deverá contemplar interfaces operacionais seguras, com estações de trabalho redundantes, controle de acesso lógico, sincronismo de tempo centralizado e integração com plataformas de visualização em tempo real, como video wall e painéis de operação supervisória.

68

2.4.2. Sistema de Controle de Tráfego

O Sistema de Controle de Tráfego do VLT será responsável por garantir a regularidade da operação e a circulação segura, contínua e eficiente dos veículos ao longo do traçado, especialmente em trechos com operação em via mista. Além disso, também será responsável pela circulação dos VLTs no pátio, compreendendo os procedimentos de controle, segurança e mudança de via em ambiente de estacionamento e manobra.

A regularidade da oferta de composição será a principal função do sistema, assegurando a circulação do número adequado de composições para atender ao intervalo operacional previsto (*headway*). Para isso, o sistema deverá executar funções como controle do tempo de parada, rastreamento em tempo real das composições, gestão de horários e geração de gráficos operacionais dos veículos em circulação.



O sistema também será responsável por garantir a segurança da operação, por meio de funcionalidades como a composição automática de rotas e o bloqueio automático de trechos, evitando conflitos entre os veículos e assegurando a integridade da operação em todos os trechos do percurso.

O Sistema de Controle de Tráfego será responsável pelas funções de intertravamento, rastreamento, sinalização e comando dos aparelhos de mudança de via (AMV), garantindo a segurança da movimentação dos veículos em pontos críticos da via, cruzamentos, ramais e pátios.

A condução dos VLTs será realizada por condutores, sob o regime de marcha à vista, com apoio de sinalização viária e supervisão do CCO. Nesse contexto, os sistemas de sinalização e controle cumprem papéis distintos e complementares, atuando de forma integrada para garantir regularidade, segurança, fluidez e prioridade operacional ao transporte coletivo sobre trilhos.

A alimentação elétrica do sistema deverá ser garantida por fonte redundante e Sistema Ininterrupto de Energia (UPS).

69

Os componentes principais do Sistema de Controle de Tráfego são:

- **Intertravamentos Locais e Centralizados:** Cada trecho com elementos de via deverá contar com módulo local de intertravamento microprocessado, instalado em sala técnica, com capacidade autônoma de comando e diagnóstico. Os intertravamentos locais deverão se comunicar com o intertravamento centralizado, instalado no CCO ou no Pátio de Manutenção, por meio de rede de dados dedicada.
- **Deteção por Contadores de Eixos:** O sistema de detecção de presença será baseado em contadores de eixos, fundamentais para garantir a ocupação segura de trechos e o acionamento de intertravamentos. A arquitetura deverá utilizar comunicação Ethernet entre o Avaliador de Contador de Eixos e os pontos de contagem.
- **Máquinas de Chave Eletro-Hidráulicas:** Os aparelhos de mudança de via (AMV) serão comandados eletronicamente pelo sistema de intertravamento. Em caso de falha, deverá ser previsto sistema de alavanca para acionamento manual. A integração mecânica, elétrica e hidráulica deverá ser modular e de fácil manutenção.



- **Rede de Dados da Sinalização:** A comunicação entre os componentes do Sistema de Sinalização e Controle deverá ser realizada por rede dedicada com switches Layer 3, interligada via fibra óptica à rede geral do STD. A comunicação deverá ser logicamente segregada por firewall, garantindo segurança operacional e independência funcional.

No Pátio de Estacionamento de Veículos, o controle dos aparelhos de mudança de via (AMV) deverá ser feito da mesma forma que para a linha corrida. O CCO deverá exercer supervisão e controle de todos os aparelhos de mudança de via situados nas entradas e saídas do pátio de estacionamento.

Da mesma forma que na via corrida, o operador do VLT também deverá, prioritariamente, depois de comunicar-se com o supervisor do CCO, exercer a mudança de direção do AMV através dos botões específicos instalados nas cabines de comando dos veículos.

Durante a entrada, saída ou movimento do veículo dentro do Pátio, o operador será responsável por uma direção segura, mantendo a velocidade dentro do limite de 15 km/h.

Critérios Técnicos e de Projeto

O Sistema de Controle de Tráfego deverá ser projetado conforme os seguintes requisitos:

70

- **Normas aplicáveis:**
 - IEC 62290-1: Princípios e requisitos funcionais para sistemas de comando e controle em transporte guiado urbano.
 - EN 50126 / EN 50128: Aplicações ferroviárias – especificação e demonstração de confiabilidade, disponibilidade, manutenção e segurança (RAMS).
 - ABNT NBR 15570: Sistemas de controle e supervisão ferroviária.
- **Requisitos de desempenho mínimo:**
 - Tempo de resposta inferior a 3 segundos para comandos críticos (ex: liberação de via ou acionamento de AMV);
 - Disponibilidade operacional $\geq 99,9\%$;
 - Operação em modo degradado com fallback local;
 - Registro de eventos e alarmes classificados no SCC.
- **Critérios de projeto:**
 - Modularidade dos intertravamentos e escalabilidade da lógica;



- Interface compatível com o Sistema de Controle Centralizado (SCC);
- Rede de comunicação dedicada, com redundância física e lógica;
- Operação segura em trechos de via mista, com lógica de proteção contra conflitos.

Dessa forma, o Sistema de Controle de Tráfego deverá ser estruturado para assegurar a regularidade da operação e a segurança da circulação do VLT em todos os contextos operacionais, desde as vias principais até os pátios e estacionamentos. O projeto deverá contemplar a integração plena com os demais subsistemas, garantir alta disponibilidade e permitir respostas rápidas em situações críticas, contribuindo para uma operação eficiente, segura e em conformidade com as melhores práticas do setor.

2.4.3. Sistema de Controle Semafórico

O Sistema de Controle Semafórico deverá atender às necessidades de regulação de tráfego nas interseções, otimizando a movimentação do VLT em relação ao trânsito local, ajustando dinamicamente os tempos de verde/vermelho.

Com a finalidade de otimizar o transporte e o fluxo de veículos do sistema de VLT, tais veículos devem ter prioridade de direito de passagem nos cruzamentos. Tal prioridade tem de ser garantida pelo gerenciamento do tráfego com as seguintes limitações:

- Sob qualquer cor do ciclo do semáforo, o primeiro veículo terá 100% de prioridade no seu direito de passagem no cruzamento. O segundo VLT em sentido contrário terá a prioridade de passagem se for possível estender o tempo de semáforo vermelho para os veículos rodoviários à espera no cruzamento.
- Se não for possível estender o tempo do sinal de permissão ao segundo VLT para ultrapassar o cruzamento, novo ciclo deverá ser aguardado.

Para consecução destes objetivos, a solicitação de prioridade deverá ser feita através de sinal emitido quando da passagem do veículo pela baliza de proximidade (cuja distância do cruzamento em análise deverá ser calculada em função da velocidade desenvolvida (permitida) no trecho e estimada através de simulação).



Ao aproximar-se do cruzamento, outro sinal deverá marcar a posição final de decisão de manutenção do direito de passagem ou desistência do processo.

Após o cruzamento, novo sinal informará ao sistema semafórico que o veículo já concluiu a travessia.

O operador do VLT poderá ainda solicitar a prioridade através dos botões instalados especialmente para este fim no console de comando.

O sistema de solicitação de prioridade nos cruzamentos deverá ser fornecido completo, com todos os itens necessários, incluindo antenas ou balizas de solo e leitores instalados no material rodante além do software necessário.

A operação do Sistema de Controle Semafórico deverá ocorrer em articulação direta com a Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade de São Paulo (CET-SP), órgão responsável pela operação e sincronização da malha semafórica urbana. A integração entre o sistema do VLT e a infraestrutura existente deverá ser assegurada por meio de protocolo técnico que permita comunicação em tempo real entre os controladores semafóricos do VLT e a central de controle de tráfego da cidade. Essa integração deverá permitir o compartilhamento de dados operacionais, a compatibilização dos ciclos semafóricos e a priorização do VLT conforme critérios previamente acordados, garantindo a fluidez urbana e a segurança dos deslocamentos mistos.

72

Critérios Técnicos e de Projeto

O Sistema de Controle Semafórico deverá ser projetado conforme os seguintes requisitos:

- **Normas aplicáveis:**
 - **ABNT NBR 8069:** Sinalização semafórica para controle de tráfego em áreas urbanas.
 - **IEC 61508:** Segurança funcional de sistemas elétricos e eletrônicos relacionados à segurança.
 - **Manual de Sinalização Semafórica da CET-SP:** Padrão técnico municipal de operação e integração semafórica.
 - **ABNT NBR 14433:** Requisitos de desempenho para controladores eletrônicos de tráfego veicular;



- **Requisitos de desempenho mínimo:**

- Tempo de resposta inferior a 2 segundos entre o acionamento da baliza e a execução do comando de prioridade;
- Disponibilidade operacional $\geq 99,9\%$;
- Lógica de falha segura em caso de perda de sinal, com reversão à prioridade do tráfego rodoviário;
- Registro de eventos operacionais e falhas no Sistema de Controle Centralizado (SCC).

- **Crítérios de projeto:**

- Distância das balizas calculada conforme a velocidade operacional do VLT e tempo mínimo de transição semafórica;
- Compatibilidade com os algoritmos adaptativos utilizados pela CET em cruzamentos críticos;
- Comunicação bidirecional segura entre os VLTs, os controladores e a central da CET;
- Equipamentos à prova de intempéries (grau de proteção mínimo IP65) e resistentes a atos de vandalismo;
- Possibilidade de atualização remota de parâmetros operacionais.

73

Em síntese, o Sistema de Controle Semafórico deverá garantir a prioridade operacional do VLT nos cruzamentos urbanos, sem comprometer a segurança viária ou a fluidez do tráfego local. Sua concepção deverá considerar a integração plena com os sistemas existentes da cidade, respeitando a governança da CET e adotando critérios técnicos de confiabilidade, tempo de resposta e interoperabilidade. A experiência do VLT Carioca demonstra a viabilidade dessa integração, onde a prioridade é coordenada entre a concessionária e a CET-Rio por meio de comunicação em tempo real com os controladores semafóricos urbanos. A adoção de um sistema responsivo e robusto contribuirá para a eficiência da operação do VLT em áreas de alta complexidade viária, assegurando regularidade nos tempos de viagem e segurança nas interseções.



2.4.4. Sistema de Telecomunicações

O Sistema de Telecomunicações do VLT será responsável por garantir a conectividade plena entre os diversos componentes operacionais, de segurança, supervisão e atendimento ao usuário que integram a rede de transporte. A estrutura será composta por um conjunto de subsistemas interligados, embarcados e de solo, que assegurarão a troca contínua de informações entre os veículos, o Centro de Controle Operacional (CCO) e demais unidades técnicas e administrativas. A arquitetura do sistema deverá garantir alta disponibilidade ($\geq 99,9\%$), redundância física e lógica e segurança na transmissão de dados, voz e vídeo, assegurando o funcionamento coordenado de funções críticas da operação. Entre elas destacam-se a comunicação permanente com os condutores, o monitoramento em tempo real da frota, a supervisão por vídeo, o controle remoto de sistemas auxiliares e a prestação de informações ao usuário. Os subsistemas de telecomunicações deverão ser plenamente integrados ao Sistema de Controle Centralizado (SCC) e compatíveis com os demais sistemas embarcados e de solo, permitindo resposta rápida a eventos operacionais, comunicação institucional eficiente e suporte à segurança pública e à gestão da operação.

74

A seguir, são apresentados os subsistemas que compõem o Sistema de Telecomunicações:

- (i) Radiocomunicações;
- (ii) Transmissão de Dados;
- (iii) Comunicação Fixa;
- (iv) Monitoramento Eletrônico;
- (v) Multimídia.

i. Radiocomunicações

O Sistema de Radiocomunicação deverá ser responsável por assegurar a comunicação operacional permanente entre os operadores dos veículos, o Centro de Controle Operacional (CCO), as equipes de manutenção, fiscalização e segurança ao longo do traçado, nas paradas e no Pátio de Manutenção. A infraestrutura de comunicação deverá



cobrir toda a extensão das linhas, inclusive trechos com maior densidade urbana e interferências eletromagnéticas.

Considerando as diretrizes operacionais da cidade e as experiências anteriores de sistemas de transporte, recomenda-se a adoção de tecnologia baseada no padrão TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*), padrão desenvolvido pela ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), amplamente utilizado em sistemas de transporte urbano, por sua confiabilidade, escalabilidade e capacidade de comunicação por grupos operacionais simultâneos. A adoção de outras tecnologias poderá ser analisada desde que comprovada sua compatibilidade com os requisitos de segurança e tempo de resposta.

A solução de radiocomunicação deverá contemplar:

- Consoles de despacho com interface gráfica instalados no CCO;
- Rádios móveis embarcados nos VLTs e veículos auxiliares;
- Rádios portáteis para agentes de operação, segurança e manutenção;
- Recursos de chamada de voz, mensagens curtas (SMS), formação de grupos e rastreamento (GPS);
- Infraestrutura de cobertura (ERBs) ao longo do traçado, priorizando o uso de infraestrutura urbana compartilhada, sempre que possível.

75

A integração ao Sistema de Transmissão de Dados (STD) e ao Sistema de Controle Central (SCC) deverá garantir o gerenciamento remoto dos equipamentos e a gravação automática das comunicações originadas ou recebidas pelo CCO, com mecanismos de redundância, criptografia e controle de acesso.

O projeto executivo deverá definir a localização das Estações Rádio Base (ERBs), considerando os pontos críticos do traçado, o entorno urbano, os obstáculos estruturais e a possibilidade de reaproveitamento de ativos da SPTrans, CET, GCM ou parceiros de telecomunicação pública, em conformidade com as normas técnicas e regulatórias da ANATEL.

O Sistema de Radiocomunicação também poderá ser utilizado como canal auxiliar de transmissão de dados operacionais, inclusive rastreamento de composições e eventos



técnicos em tempo real, contribuindo para a supervisão da frota, apoio à tomada de decisão no CCO e resposta a incidentes.

Critérios Técnicos e de Projeto:

- **Normas aplicáveis:**

- ETSI EN 300 392-2: Especificações do padrão TETRA – Requisitos do sistema de rádio.
- IEC 62236: Compatibilidade eletromagnética para aplicações ferroviárias.
- ANATEL Resolução nº 773/2025: Regulamento sobre condições de uso de radiofrequências.

- **Requisitos de desempenho mínimo:**

- Cobertura de 100% da extensão da linha com disponibilidade $\geq 99,9\%$;
- Tempo de estabelecimento da chamada de voz inferior a 300 milissegundos;
- Capacidade de manter comunicação simultânea com ao menos 3 grupos operacionais distintos;
- Retenção mínima de 30 dias das gravações em mídia segura.

- **Critérios de dimensionamento:**

- Densidade de ERBs determinada pela análise de propagação radioelétrica considerando obstruções urbanas;
- Capacidade de ampliação para novas linhas e equipes operacionais;
- Compatibilidade com rádios embarcados com GPS ativo e integração com sistema AVL (Automatic Vehicle Location);
- Planejamento de redundância geográfica com ERBs sobrepostas nos principais cruzamentos operacionais.

Critérios Operacionais de Uso:

O Sistema de Radiocomunicação deverá garantir a continuidade das comunicações operacionais em todas as situações de serviço, incluindo:

- Operações em marcha degradada, interrupções de energia e falhas de comunicação de dados;



- Coordenação entre condutores, agentes de segurança, operadores do CCO e equipes de manutenção;
- Prioridade automática nas chamadas de emergência originadas do CCO ou dos veículos;
- Canal de despacho exclusivo para comunicações de controle operacional, separado dos canais de manutenção e segurança;
- Procedimentos padronizados de comunicação por grupos, com codificação funcional e identificação automática dos terminais;
- Interface com planos de contingência e protocolos de evacuação, integrando alertas do SCC e sistemas de sonorização;
- Treinamento obrigatório para todos os operadores sobre uso dos rádios e resposta a eventos operacionais por voz.

O uso do sistema deverá estar normatizado por manual de operação validado com a autoridade de trânsito e segurança pública, com procedimentos específicos para:

- Operações noturnas ou com baixa visibilidade;
- Atendimentos a falhas de AMV ou intertravamentos;
- Apoio em situações de obstrução de via e acidentes.

77

Dessa forma, o Sistema de Radiocomunicação constitui elemento essencial para a segurança operacional e a coordenação entre os agentes envolvidos na operação do VLT, devendo apresentar desempenho elevado, cobertura total do traçado e compatibilidade plena com os demais sistemas de supervisão e controle. Sua correta especificação e integração ao conjunto dos sistemas de telecomunicações é fundamental para garantir a confiabilidade da operação, a resposta rápida a ocorrências e a qualidade do serviço prestado à população.

ii. Transmissão de Dados

O Sistema de Transmissão de Dados (STD) constitui a espinha dorsal da infraestrutura tecnológica do VLT, responsável por assegurar a conectividade permanente de todos os subsistemas por meio de uma infraestrutura de alta capacidade, confiabilidade e segurança. Seu papel é garantir a comunicação contínua de dados, voz e vídeo entre os



veículos, as estações, as subestações de energia, sistema de sinalização, o Pátio de Manutenção e o Centro de Controle Operacional (CCO), assegurando o desempenho dos sistemas de supervisão, segurança e apoio à operação.

O STD deverá ser estruturado em três camadas de rede integradas, com topologias redundantes e protocolos padronizados:

- Rede de Dados cabeada, com arquitetura hierárquica e redundante;
- Rede de Fibra Óptica, com topologia de anéis independentes ao longo do traçado;
- Rede Wi-Fi com malha de comunicação (baseada em IEEE 802.11) embarcada/pontos de paradas.

a. Rede de Dados

A Rede de Dados deverá ser baseada em arquitetura TCP/IP, composta por dois níveis: Camada Core e Camada de Acesso, estruturadas com tecnologia de comutação de alto desempenho, enlaces full duplex e topologia lógica radial. Essa rede será responsável por interligar todos os sistemas de usuários (CFTV, sinalização, radiocomunicação, bilhetagem, informação ao usuário, entre outros), assegurando comunicação segura, contínua e de baixa latência.

- Camada Core: Instalada na sala técnica do CCO, deverá ser composta por equipamentos modulares com redundância total de fontes, módulos e interfaces, operando com enlaces de 10 Gbps, e com gerenciamento centralizado de rede. Essa camada deverá seguir boas práticas de segurança de rede industriais, conforme IEC 62443, e prover alta disponibilidade para os serviços essenciais de operação.
- Camada de Acesso: Instalada nas estações, subestações e áreas do Pátio de Manutenção, com switches de camada 3 (*Layer 3*), interfaces PoE (*Power over Ethernet*) e conectividade segura via *patch panel*, e suporte a protocolos de roteamento interno. Esta camada será responsável pela distribuição local da conectividade e integração direta aos equipamentos terminais dos subsistemas.

A rede deverá contar com firewall dedicado, segmentação lógica (Rede Local Virtual - VLANs), autenticação de dispositivos e servidores para gerenciamento de endereços IP -



Protocolo de Internet (DHCP - Protocolo de Configuração Dinâmica de Host), todos instalados em ambiente controlado no CCO.

A rede deverá contar com:

- Firewall dedicado com gerenciamento centralizado;
- Segmentação lógica por VLANs, com definição de domínios de broadcast independentes por tipo de serviço;
- Autenticação de dispositivos via protocolo 802.1X ou equivalente;
- Servidores de gerenciamento de endereços IP (DHCP);
- Todos os dispositivos críticos instalados em ambiente controlado no CCO, com acesso restrito, climatização, redundância elétrica e proteção contra surtos.

A especificação técnica deverá observar as normas EN 50159 (Comunicação segura em sistemas ferroviários), IEC 62443 (Segurança cibernética para sistemas de automação e controle industrial) e boas práticas de cabeamento estruturado conforme TIA/EIA-568.

A operação da Rede de Dados será centralizada no CCO, integrada ao sistema de gerenciamento de rede do STD, permitindo o monitoramento contínuo dos ativos, identificação de falhas, diagnóstico remoto e parametrização de equipamentos. Essa estrutura garante a alta disponibilidade dos serviços críticos de comunicação e será configurada com redundância lógica e física, de forma a assegurar a resiliência operacional do sistema frente a falhas isoladas de equipamentos ou enlaces.

79

b. Rede de Fibra Óptica

A Rede de Fibra Óptica deverá ser composta por cabos monomodo dedicados à infraestrutura IP, com reserva técnica de fibras para usos futuros ou expansão. O dimensionamento deve observar as normas ITU-T G.652.D para fibras monomodo, TIA/EIA-568 e EN 50173, garantindo desempenho, compatibilidade e interoperabilidade com equipamentos ativos.

Deverão ser previstos dois cabos independentes ao longo do traçado, conectando o CCO a todas as estações de passageiros, subestações e instalações técnicas, incluindo sistema semaforico, com roteamento por dutos separados para garantir redundância física.



Nos pontos terminais, as fibras deverão ser organizadas em Distribuidores Intermediários Ópticos (DIO) com funções de bastidor de emenda, permitindo continuidade dos enlaces por emendas e conexão aos equipamentos via cordões ópticos.

A rede óptica deverá atender aos seguintes critérios técnicos mínimos:

- Atenuação máxima de 0,4 dB/km em 1310 nm;
- Reserva técnica de no mínimo 30% de fibras no lançamento inicial;
- Reflexão óptica (ORL - Perda de Retorno Óptico) inferior a -40 dB;
- Utilização de elementos de proteção mecânica, caixas de emenda com vedação IP68 e infraestrutura subterrânea com identificação padronizada.

Sempre que viável, deverá ser considerada a utilização de infraestrutura existente da administração municipal, SPTrans, CET ou parceiros institucionais, com vistas à economicidade e compatibilidade técnica.

O projeto executivo deverá validar e detalhar o roteamento da infraestrutura óptica conforme as condições do ambiente urbano, observando as restrições de interferência com redes preexistentes e o plano de ocupação do subsolo da cidade, assegurando conformidade com as diretrizes de segurança, desempenho e manutenção preventiva do sistema.

80

c. Rede Wi-Fi

A Rede Wi-Fi será responsável pela comunicação bidirecional entre os VLTs e o CCO, utilizando a tecnologia IEEE 802.11 (nas bandas de 2.4 GHz e 5 GHz, com suporte aos padrões 802.11ac/ax). Esta rede deverá ser estruturada em topologia do tipo Mesh, garantindo continuidade de conexão em movimento e redundância lógica entre os pontos de acesso fixos e embarcados.

Essa infraestrutura permitirá a transmissão em tempo real de dados operacionais, imagens das câmeras embarcadas (CFTV), comandos do CCO, telemetria de bordo, relatórios automáticos e atualizações de software dos sistemas embarcados. Além disso, será possível disponibilizar acesso à internet aos usuários do sistema, respeitando políticas de controle de tráfego, priorização de serviços e autenticação.



A arquitetura da rede Wi-Fi deverá atender aos seguintes requisitos técnicos:

- Pontos de Acesso (APs) industriais, com proteção IP67, deverão ser instalados em áreas elevadas nas estações, subestações e salas técnicas, com cobertura total do traçado e vias internas do Pátio de Manutenção;
- Cada VLT deverá possuir um AP embarcado, integrado à rede interna do veículo, permitindo comunicação contínua com o CCO durante todo o percurso;
- A cobertura deverá garantir 100% de disponibilidade em movimento, com suporte a roaming/handover rápido entre APs fixos, de forma transparente para os sistemas embarcados;
- A capacidade da rede deverá suportar largura de banda mínima de 10 Mbps por VLT, com latência inferior a 50 ms para pacotes de controle e priorização por tipo de serviço (QoS – Qualidade de Serviço), assegurando desempenho adequado para aplicações críticas.

Em termos de segurança, a rede deverá adotar:

- Criptografia WPA3-Enterprise, com autenticação centralizada via servidor RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service);
- Segmentação lógica do tráfego de bordo, operação e acesso público, com isolamento entre redes;
- Monitoramento em tempo real de tráfego, integridade e status dos APs, com alertas automáticos para falhas ou degradação de sinal;
- Políticas de atualização automática de firmware e reconfiguração remota dos APs embarcados e fixos.
- A infraestrutura da rede Wi-Fi será gerenciada de forma integrada ao Sistema de Transmissão de Dados, com monitoramento centralizado no CCO, garantindo a resiliência, rastreabilidade e manutenção preditiva da conectividade ao longo de toda a linha.

Quadro 8 – Parâmetros Técnicos e Normas Aplicáveis à Rede Wi-Fi do VLT

Parâmetro	Especificação Técnica	Norma / Referência Técnica
Padrão de Comunicação	IEEE 802.11ac / 802.11ax (Wi-Fi 5/6), 2,4 GHz e 5 GHz	IEEE 802.11 series
Topologia de Rede	Mesh com roteamento automático	IEEE 802.11s (Mesh Networking)



Parâmetro	Especificação Técnica	Norma / Referência Técnica
Access Points (APs)	Industriais, IP67, PoE, gerenciamento remoto	IEC 60529 (grau de proteção); IEEE 802.3af/at (PoE)
Instalação dos APs	Estações, subestações, salas técnicas e VLTs	N/A (especificação do projeto)
Cobertura Requerida	100% do traçado, incluindo pátio	N/A
Conectividade Embarcada	Comunicação contínua com handover automático	IEEE 802.11r (Fast Roaming)
Largura de Banda Mínima (por VLT)	≥ 10 Mbps	Recomendação técnica
Latência Máxima (dados críticos)	≤ 50 ms	Requisito de operação
Qualidade de Serviço (QoS)	Prioridade para voz, vídeo e dados operacionais	IEEE 802.11e (QoS Extensions)
Segurança da Rede	WPA3-Enterprise, RADIUS, segmentação por VLAN	Wi-Fi Alliance WPA3; IEEE 802.1X; RFC 2865
Gerenciamento	Centralizado no CCO (SNMP, logs, alertas, atualizações)	SNMPv3 (RFC 3411+); IEEE 802.1AB (LLDP)

A Rede Wi-Fi, conforme especificações apresentadas, desempenha papel estratégico na integração dos sistemas embarcados com o Centro de Controle Operacional, viabilizando a supervisão em tempo real, a automação de rotinas operacionais e a disponibilização de serviços ao usuário. A definição dos parâmetros técnicos e dos padrões normativos garante a interoperabilidade com demais camadas da arquitetura de telecomunicações e assegura a escalabilidade da solução para futuras expansões ou atualizações tecnológicas.

82

d. Gerenciamento do Sistema

O Sistema de Transmissão de Dados (STD) deverá dispor de uma solução de gerenciamento dedicada, centralizada no CCO, capaz de supervisionar em tempo real todos os elementos da infraestrutura de rede, garantindo confiabilidade, rastreabilidade e suporte técnico à operação do VLT.

A plataforma de gerenciamento deverá integrar-se ao Sistema de Controle Central (SCC), com sincronização horária via protocolo NTP (Network Time Protocol), assegurando a coerência temporal entre eventos, alarmes e logs de sistema. O ambiente deverá contemplar uma arquitetura escalável e modular, com base em protocolos padronizados e com suporte a interfaces gráficas intuitivas para operação por equipe técnica especializada.



Entre as funcionalidades mínimas, destacam-se:

- Monitoramento em tempo real da integridade dos enlaces e equipamentos (ping ativo, verificação de disponibilidade, detecção de perdas e latência);
- Diagnóstico proativo de falhas, com análise de causa raiz, registros históricos e alarmes configuráveis com diferentes níveis de criticidade;
- Geração automática de relatórios operacionais, técnicos e estatísticos, com indicadores de desempenho (KPIs - Key Performance Indicator), tempo médio entre falhas (MTBF - Mean Time Between Failures) e tempo médio de reparo (MTTR - Mean Time To Repair);
- Parametrização remota dos dispositivos da rede (firewalls, switches, roteadores, access points), com versionamento de configuração;
- Execução de atualizações de firmware, patches de segurança e alterações de topologia com rastreabilidade e validação em ambiente de homologação.

A segurança do sistema de gerenciamento deverá estar em conformidade com as diretrizes internacionais para infraestruturas críticas urbanas, observando especialmente:

- IEC 62443 (segurança cibernética para sistemas de controle industrial),
- ISO/IEC 27001 (sistemas de gestão de segurança da informação),
- EN 50159 (comunicação segura em sistemas ferroviários).

83

O acesso ao sistema deverá ser restrito por meio de autenticação multifator, com perfis de usuário diferenciados, trilhas de auditoria para todas as operações, e registros imutáveis dos eventos críticos. A solução deverá contar com redundância de servidores e mecanismos de alta disponibilidade (HA), assegurando operação contínua mesmo em caso de falha parcial da infraestrutura.

iii. Comunicação Fixa

O Sistema de Comunicação Fixa será responsável por prover as comunicações de voz administrativas e operacionais entre os diversos pontos fixos da infraestrutura do VLT, incluindo o Centro de Controle Operacional (CCO), o Pátio de Manutenção, as estações de passageiros e as subestações de energia.



A solução tecnológica deverá ser baseada em telefonia IP (VoIP – Voice over Internet Protocol), garantindo flexibilidade, integração e escalabilidade da rede de voz. O sistema de Telefonia deverá ser plenamente interligado ao Sistema de Transmissão de Dados (STD), permitindo o roteamento das chamadas por meio da infraestrutura digital do VLT.

O sistema deverá ser composto, no mínimo, pelos seguintes elementos:

- Central Telefônica IP (com funcionalidades de PABX - Private Automatic Branch Exchange);
- Gateways de mídia para conexão com a rede pública (PSTN - Public Switched Telephone Network);
- Telefones IP com suporte a PoE;
- Sistema de gravação de chamadas;
- Caixa postal e sistema de tarifação;
- Posto de gerenciamento central com interface gráfica.

Todos os terminais instalados no CCO deverão ter suas comunicações gravadas automaticamente, com armazenamento seguro e acesso restrito para posterior auditoria. Essa funcionalidade será para fins de controle operacional, segurança e rastreabilidade de ocorrências críticas.

O sistema de telefonia deverá dispor de linhas diretas de emergência para comunicação imediata com os serviços de atendimento essenciais, como os principais órgãos da prefeitura de São Paulo (SPTrans, CET, outros), Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, Defesa Civil e demais órgãos de segurança pública, garantindo respostas ágeis em situações críticas.

Deverá ser prevista a instalação de telefones IP em:

- Salas técnicas e operacionais do CCO;
- Salas administrativas e operacionais do Pátio de Manutenção;
- Estações de passageiros (ambientes técnicos);
- Subestações de energia e salas elétricas.



Critérios Técnicos e de Funcionamento

- O sistema deverá operar com tempo de disponibilidade mínima de 99,9% em regime 24x7, com backup automático e redundância de enlaces.
- A qualidade das chamadas deverá atender o padrão MOS ≥ 4.0 (Mean Opinion Score), com gerenciamento de jitter, latência e perda de pacotes via QoS (Quality of Service).
- A gravação de chamadas deverá garantir retenção mínima de 180 dias, com sistema de busca por data, número ou terminal.

Critérios de Dimensionamento

- A central IP deverá ter capacidade inicial para no mínimo 100 ramais, expansível para até 300, com 30 canais simultâneos externos disponíveis (rede pública), estes dados deverão ser validados na elaboração do projeto executivo.
- Os telefones IP deverão ser instalados nos seguintes locais:
 - Salas técnicas e operacionais do CCO;
 - Salas administrativas e operacionais do Pátio de Manutenção;
 - Estações de passageiros (ambientes técnicos);
 - Subestações de energia e salas elétricas.

85

O sistema deverá incluir interface para conexão com a rede pública de telefonia fixa e móvel, fisicamente realizada na sala técnica do CCO, permitindo chamadas externas em condições emergenciais ou institucionais.

Integração e Gerenciamento

O Sistema de Comunicação Fixa será gerenciado a partir de um posto de controle instalado no CCO, com funcionalidades de:

- Monitoramento em tempo real;
- Parametrização de ramais;
- Rastreamento de chamadas;
- Geração de relatórios técnicos e estatísticos.



Todo o sistema deverá estar sincronizado com a infraestrutura de tempo oficial do VLT, por meio de conexão ao Sistema de Sincronismo Horário, utilizando o protocolo NTP (Network Time Protocol), via backbone do STD.

Normas Técnicas Aplicáveis

O projeto executivo deverá observar as seguintes normas técnicas:

- ABNT NBR 14565 – Cabeamento estruturado para edifícios comerciais e Data Centers;
- IEC 60950 / IEC 62368 – Requisitos de segurança para equipamentos de telecomunicações;
- ANATEL Resolução nº 752/2022 – Revoga e altera Resoluções expedidas pela Agência (Guilhotina Regulatória).

Dessa forma, o Sistema de Comunicação Fixa deverá ser concebido com base em padrões de alta disponibilidade, segurança e interoperabilidade, permitindo o suporte pleno às funções operacionais e administrativas do VLT. A adoção de telefonia IP, aliada à integração com o backbone de dados e à observância das normas técnicas vigentes, garantirá um sistema escalável, auditável e preparado para responder de forma eficiente a situações de rotina e emergência. A estrutura modular e a capacidade de gerenciamento centralizado fortalecem a confiabilidade do sistema, contribuindo para o desempenho global da operação.

86

iv. Monitoramento Eletrônico

O Sistema de Monitoramento Eletrônico será responsável pelo monitoramento por vídeo de toda a infraestrutura fixa do VLT, com cobertura em tempo real das estações de passageiros, subestações de energia, áreas do Pátio de Manutenção, trechos ao longo da via e interseções com a malha viária urbana.

Sua função será subsidiar as equipes de operação, manutenção e segurança patrimonial, fornecendo imagens contínuas e registradas para fins de supervisão, controle operacional e suporte à tomada de decisão em situações críticas ou emergenciais.



O Sistema de Monitoramento deverá utilizar exclusivamente câmeras com tecnologia IP nativa (protocolo TCP/IP), com resolução mínima Full HD, compatíveis com alimentação via Power over Ethernet (PoE). Nos casos em que a distância entre câmera e ponto de rede ultrapassar 100 metros, deverá ser prevista a transmissão via fibra óptica, com uso de conversores eletro-ópticos apropriados.

As câmeras deverão possuir as seguintes características mínimas:

- Operação em condições de baixa luminosidade sem degradação significativa da imagem;
- Modo noturno automático com visualização em preto e branco;
- Dispositivo infravermelho (IR) integrado nos pontos onde a deficiência de iluminação for identificada no projeto executivo;
- Registro contínuo de vídeo, com inserção de nome da localidade, data, hora, minuto e segundo.

Todas as imagens deverão ser gravadas de forma ininterrupta, 24 horas por dia, 7 dias por semana, em equipamentos NVR (Network Video Recorder), ou gravadores que atendam o dimensionamento, instalados localmente, garantindo redundância e autonomia de armazenamento em cada ponto monitorado.

As câmeras e os NVRs deverão estar conectados ao Sistema de Transmissão de Dados (STD), possibilitando o envio das imagens em tempo real para os postos de monitoramento localizados na sala do CCO. A partir desses terminais, os operadores deverão ter acesso completo às imagens ao vivo e gravadas, além da capacidade de controle remoto das câmeras móveis (PTZ - Pan-Tilt-Zoom).

O sistema deverá ser integrado ao Sistema de Vídeo Wall do CCO, permitindo a exibição em tempo real de câmeras pré-configuradas em monitores específicos, conforme critérios operacionais e de vigilância definidos pelo operador.

O sistema deverá contar com uma plataforma de gerenciamento dedicada, com posto de operação no CCO, permitindo:

- Monitoramento do status dos dispositivos;
- Gerenciamento dos fluxos de vídeo;



- Programação de câmeras e gravações;
- Emissão de relatórios operacionais.

Todo o Sistema deverá estar sincronizado com o Sistema de Sincronismo Horário, por meio do backbone do STD, utilizando o protocolo NTP (Network Time Protocol), garantindo uniformidade nos registros de vídeo para fins de rastreabilidade e auditoria.

Critérios Técnicos e de Desempenho

O Sistema de Monitoramento deverá atender aos seguintes parâmetros mínimos de desempenho:

- Tempo de retenção das gravações de vídeo não inferior a 30 dias, com possibilidade de expansão;
- Capacidade de gravação simultânea de todas as câmeras, com bitrate adaptativo para otimização da rede;
- Disponibilidade mínima de 99,5% para os componentes críticos do sistema;
- Interface de acesso restrita por autenticação segura, com registros de auditoria para todas as ações realizadas pelos operadores;
- Sincronização obrigatória de todos os equipamentos ao tempo oficial do sistema, com desvio máximo de 2 segundos.

88

As centrais NVR devem ser dimensionadas conforme o número de câmeras por local, levando em conta a resolução e taxa de quadros por segundo (mínimo 15 fps), com suporte à codificação H.265 para economia de banda e armazenamento.

Normas Técnicas Aplicáveis

O projeto executivo do Sistema de Monitoramento Eletrônico deverá observar as seguintes normas:

- ABNT NBR 16149 – Sistemas de CFTV – Diretrizes para projeto e instalação;
- ABNT NBR 16150 – Sistemas de CFTV – Requisitos de desempenho;
- IEC 62676-1-1 / IEC 62676-2-3 – Video surveillance systems for use in security applications;



- ABNT NBR ISO/IEC 27002 – Código de práticas para a gestão da segurança da informação (aplicável à confidencialidade das gravações);
- ANATEL Resolução nº 752/2022 – Revoga e altera Resoluções expedidas pela Agência (Guilhotina Regulatória).

Assim, o Sistema de Monitoramento Eletrônico deverá constituir uma solução robusta, modular e interoperável, capaz de fornecer suporte contínuo às atividades operacionais e de segurança do VLT. A adoção de câmeras IP de alta performance, aliada ao gerenciamento centralizado, à redundância local e ao cumprimento de normas técnicas nacionais e internacionais, assegurará confiabilidade, rastreabilidade e eficiência na supervisão de eventos críticos e ações preventivas em toda a malha do VLT.

v. Multimídia

O Sistema de Multimídia será responsável por prover informações sonoras e visuais aos usuários e funcionários do VLT, por meio de totem de informação digital, conteúdos disponibilizados em aplicativos móveis e sistemas de sonorização distribuídos nas estações de passageiros e no Pátio de Manutenção. O objetivo é garantir uma comunicação clara, acessível, em tempo real, sobre a operação do sistema, condições de serviço e mensagens institucionais, contribuindo para a segurança, o conforto e a orientação do público.

O sistema será operado a partir de posições específicas localizadas no Centro de Controle Operacional (CCO), e estará plenamente integrado ao Sistema de Transmissão de Dados (STD), que garantirá a comunicação entre os servidores centrais e os equipamentos instalados nas demais localidades.

a) Sistema de Sonorização

O sistema de sonorização ambiente permitirá a emissão de mensagens pré-gravadas ou em tempo real (voz ao vivo), acionadas pelo CCO, com alto-falantes fixos instalados:

- Nas plataformas e áreas públicas das estações de passageiros;
- Em pontos estratégicos do Pátio de Manutenção (oficinas e vias operacionais).



A arquitetura seguirá modelo cliente-servidor, com controle centralizado e redundância de servidores. As mensagens deverão incluir orientações operacionais, alertas de segurança e avisos institucionais.

b) Totem Interativo Multimídia

Os totens digitais interativos deverão estar presentes em todas as plataformas de embarque das estações de passageiros e serão o principal meio visual de comunicação com os usuários. Deverão exibir, de forma rotativa, os seguintes blocos de conteúdo:

- Informações operacionais: horários de chegada/partida, tempo estimado de espera, lotação dos veículos, alterações ou interrupções de serviço e economia de tempo no trânsito;
- Indicadores ambientais: qualidade do ar, temperatura, umidade, alertas climáticos, CO₂ evitado, energia solar captada e materiais reciclados;
- Conteúdos turísticos e culturais: pontos turísticos próximos, eventos, serviços culturais e mapas da região;
- Mobilidade urbana: integração com ônibus, bicicletas compartilhadas, rotas acessíveis e dados de conectividade intermodal;
- Atualizações locais: avisos de segurança pública, eventos comunitários, campanhas educativas e intervenções urbanas.

90

Os totens deverão ter interface acessível e intuitiva, com comandos táteis, leitura por voz e contraste visual adequado, em conformidade com a ABNT NBR 9050.

Na lateral dos totens, serão integrados pontos de coleta seletiva para resíduos especiais (pilhas, baterias, medicamentos vencidos), com sinalização clara e visual amigável. Esses coletores deverão ser esteticamente integrados ao corpo do totem, promovendo sustentabilidade sem comprometer a experiência interativa.

c) Aplicativo de Informação ao Usuário

Como complemento às informações visuais e sonoras locais, o Sistema de Multimídia poderá disponibilizar informações operacionais do VLT também por meio de aplicativo móvel. A proposta é permitir que os usuários acessem, em tempo real, dados como



previsão de chegada, horários de funcionamento, eventuais interrupções e alertas operacionais, diretamente em seus dispositivos pessoais. Esse serviço poderá ser desenvolvido como uma solução dedicada do VLT ou, preferencialmente, integrado à plataforma já existente da SPTrans, o aplicativo Olho Vivo, que atualmente centraliza informações de localização e previsão de chegada da frota de ônibus da cidade de São Paulo. A integração entre os sistemas garantirá maior transparência, confiabilidade e comodidade ao usuário, além de reforçar a interoperabilidade entre os modais municipais.

d) Sistema de Sincronismo Horário

O Sistema de Sincronismo Horário será parte integrante do Sistema de Multimídia e terá a função de fornecer a informação horária precisa para todos os dispositivos do sistema VLT. A solução deverá utilizar sinal GPS como fonte primária de tempo, operando como relógio mestre e distribuindo a hora padrão para os sistemas usuários por meio do protocolo NTP (Network Time Protocol), através do STD.

Relógios digitais sincronizados deverão ser instalados nos seguintes ambientes:

- Salas administrativas e técnicas do Pátio de Manutenção;
- Salas técnicas das estações de passageiros;
- Subestações de energia;
- Sala técnica e sala de controle do CCO.

e) Gerenciamento do Sistema

O Sistema de Multimídia deverá dispor de plataforma de gerenciamento com interface de controle dedicada no CCO, permitindo:

- Programação e emissão de mensagens sonoras e visuais;
- Supervisão de equipamentos e detecção de falhas;
- Sincronismo centralizado com todos os dispositivos associados;
- Geração de relatórios operacionais e registros de eventos.

O sistema deverá operar de forma ininterrupta (24x7), com interface segura, controle por perfis de acesso e disponibilidade mínima de 99,9% para os serviços críticos.



Normas Técnicas Aplicáveis

O projeto executivo do Sistema de Multimídia deverá seguir as seguintes normas:

- ABNT NBR 14565 – Cabeamento estruturado;
- ABNT NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário e equipamentos urbanos;
- ABNT NBR 16149 / 16150 – Sistemas de CFTV IP (aplicáveis à infraestrutura audiovisual e gerenciamento de conteúdo);
- IEC 62368-1 – Segurança de equipamentos de tecnologia da informação e comunicação;
- ANATEL Resolução nº 752/2022 – Revoga e altera Resoluções expedidas pela Agência (Guilhotina Regulatória).

Dessa forma, o Sistema de Multimídia será um componente importante da infraestrutura de apoio à operação e ao relacionamento com os usuários do VLT, promovendo comunicação eficiente, orientação em tempo real e conscientização ambiental. A integração entre plataformas digitais, dispositivos físicos e sistemas de informação, aliada à conformidade normativa e à acessibilidade universal, garantirá um ambiente moderno, funcional e conectado aos princípios da mobilidade inteligente e sustentável.

92

2.4.5. Sistema de Bilhetagem, Controle e Arrecadação de Passageiros

O sistema de bilhetagem do VLT será plenamente integrado à plataforma de arrecadação da SPTrans, utilizando exclusivamente o Bilhete Único como meio de pagamento. Essa diretriz assegura a unificação do modelo tarifário da cidade de São Paulo e posiciona o VLT como mais um componente da rede de transporte público municipal, alinhado às políticas de mobilidade urbana vigentes.

Implantado na cidade desde 2004, o Bilhete Único permitiu inicialmente que os passageiros realizassem até quatro embarques em ônibus municipais no intervalo de duas horas, pagando uma única tarifa. Essa inovação substituiu os antigos passes de papel e facilitou a mobilidade urbana, especialmente para os moradores das periferias, que passaram a contar com maior flexibilidade nos deslocamentos.



Em 2006, o sistema foi expandido para incluir o Metrô e a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), permitindo integrações entre ônibus, metrô e trens metropolitanos. Essa ampliação consolidou o Bilhete Único como um instrumento essencial para a integração dos diferentes modais de transporte na cidade.

Ao longo dos anos, o Bilhete Único passou por diversas atualizações para atender às necessidades da população e às políticas de mobilidade urbana. Foram introduzidas modalidades específicas, como o Bilhete Único Estudante, que oferece descontos para alunos, e o Bilhete Único Vale-Transporte, destinado a empregadores que fornecem o benefício aos funcionários.

Para viabilizar a integração financeira entre os diferentes operadores de transporte, foi estabelecida a Câmara de Compensação Tarifária. Esse mecanismo gerencia a distribuição da receita arrecadada com as tarifas pagas pelos usuários, garantindo que cada empresa receba a parcela correspondente ao serviço prestado. A SPTrans coordena esse processo, assegurando a transparência e o equilíbrio financeiro entre os operadores.

O Bilhete Único permite que os usuários integrem viagens entre ônibus municipais, metrô e trens metropolitanos, promovendo uma mobilidade mais eficiente e econômica. Por exemplo, ao iniciar a viagem em um ônibus e prosseguir no metrô ou na CPTM dentro de um período determinado, o passageiro paga uma tarifa integrada, inferior à soma das tarifas individuais.

Além disso, o sistema contempla gratuidades e descontos para públicos específicos, como idosos, pessoas com deficiência e estudantes, ampliando a acessibilidade ao transporte público.

É neste cenário e sob essas condições de pagamento que será implementado o VLT. As diretrizes apontam para um modelo operacional mais aberto: não haverá instalação de catracas ou linhas de bloqueio nas paradas, uma vez que o controle de acesso e tarifação deverá ser realizado por meio de validadores, instalados nas paradas ou embarcados, compatíveis com a tecnologia do Bilhete Único. Essa abordagem prioriza a fluidez operacional, reduz o tempo de embarque e desembarque, amplia a acessibilidade universal e simplifica a infraestrutura das estações, ao mesmo tempo em que mantém os



padrões de segurança e rastreabilidade da arrecadação já consolidados na operação dos demais modais geridos pela SPTrans.

A gestão do sistema, bem como a coleta e o processamento dos dados de validação, será realizada em articulação com o Centro de Controle Operacional (CCO), garantindo sincronia em tempo real com a plataforma da SPTrans. O VLT operará, portanto, sob o mesmo arcabouço tecnológico, financeiro e institucional que rege os demais modais municipais de transporte coletivo, favorecendo a interoperabilidade, a transparência na arrecadação e a adoção de instrumentos de financiamento baseados em desempenho.

A operação do VLT em modelo aberto exigirá a adoção de um sistema robusto de fiscalização de evasão tarifária. A estratégia recomendada segue o modelo embarcado, já adotado com sucesso no VLT do Rio de Janeiro, baseado na fiscalização aleatória por agentes devidamente credenciados e equipados com dispositivos móveis de validação do Bilhete Único. Passageiros que não comprovarem o pagamento estarão sujeitos a multa administrativa, a ser definida por legislação municipal específica. A gestão da fiscalização deverá ser apoiada por inteligência de dados, com cruzamento de informações de bilhetagem, contagem de passageiros e monitoramento por câmeras embarcadas, integrando-se plenamente ao Centro de Controle Operacional (CCO). Essa abordagem garante equilíbrio entre eficiência operacional, transparência e cumprimento das normas tarifárias, sem comprometer a fluidez do embarque e a acessibilidade do sistema.

94

A adoção do Bilhete Único como base para o sistema de arrecadação do VLT insere o modal em um ecossistema consolidado de mobilidade urbana, com ganhos operacionais e institucionais relevantes. A compatibilidade tecnológica, a articulação com a Câmara de Compensação Tarifária e a integração plena ao ambiente da SPTrans reduzem custos de implantação, favorecem a interoperabilidade e possibilitam estratégias de financiamento baseadas em metas de desempenho. Com apoio de inteligência de dados e integração com o CCO, o modelo de controle embarcado assegura o combate à evasão tarifária sem comprometer os princípios de acessibilidade, fluidez e inclusão.



3. CARACTERIZAÇÃO DA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Este capítulo traz a identificação dos padrões de operação e manutenção e os critérios da segurança operacional. Dessa forma, a caracterização da operação e manutenção aborda os aspectos operacionais do sistema VLT e o dimensionamento da frota, além da definição dos principais critérios de segurança operacional.

3.1. ESQUEMA OPERACIONAL

Como parte integrante do Plano de Requalificação Urbana, o Sistema de Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) será implantado na região central de São Paulo, operando prioritariamente em vias semi-segregadas, com compartilhamento do leito apenas em trechos de interseção com o tráfego convencional.

O sistema contará com duas rotas principais:

- Linha Azul: trilho duplo, com extensão de aproximadamente 6,45 km por sentido e 24 estações.
- Linha Vermelha: trilho singelo, com 6,3 km de extensão e 13 estações.

95

As composições serão bidirecionais, cada um com cabine de comando em suas extremidades, o que permite reversibilidade nas operações sem a necessidade de manobras em terminais.

3.1.1. Prestação do Serviço

A operadora do sistema VLT deve desenvolver seu programa operacional de forma a assegurar que:

- os veículos prestarão serviço de embarque e desembarque de passageiros em todas as paradas que se encontrem em estado operacional, na linha ou em serviço parcial de linha onde estiverem circulando e que, quando o serviço não for prestado pelos motivos operacionais listados a seguir, os usuários serão informados do fato e dos motivos que o ocasionarem:
 - início ou término do serviço operacional;
 - ajustes na grade horária ou estratégia operacional;



- falhas;
 - incidentes;
- os veículos só poderão trafegar com todas as portas fechadas e realizar a operação de portas (abertura e/ou fechamento) quando parados;
- o tempo em que o veículo permanecer com portas abertas para embarque e desembarque de passageiros não será inferior a 10 segundos e o tempo total das paradas, incluídas as operações de abertura e fechamento das portas, não será inferior a 15 segundos. O tempo para embarque e desembarque dos passageiros com o veículo parado com as portas abertas será medido entre a abertura total das portas e o início da emissão dos sinais de aviso (sonoro e visual) de fechamento das portas.

3.1.2. Uso dos Títulos de Transporte

Deverão ser transportados os usuários dentro dos seguintes princípios e considerações:

- não haverá venda de passagem no interior dos veículos, devendo os usuários que desejem embarcar no sistema adquirir título de transporte antecipadamente;
- todo usuário portador do Bilhete Único, título de transporte (incluindo gratuidades legais) adotado nos sistemas de transporte público coletivo da cidade e da região metropolitana de São Paulo, tem assegurado o seu direito a viajar no VLT;
- todo o título de transporte, inclusive de integração ao sistema municipal de transporte e gratuidades, deverá obrigatoriamente ser validado, nos equipamentos instalados no interior dos veículos e em paradas do sistema VLT, sendo, para tanto, considerada a interoperabilidade operacional entre todos os sistemas envolvidos, considerando as regras previstas para frota municipal no Bilhete Único;
- todo o usuário não portador de título de transporte ou cujo título não seja validado e não passível de regularização de tal situação, no momento, deverá ser convidado a retirar-se do veículo por funcionários da operadora, podendo ser solicitado, se necessário, a colaboração de agentes da ordem pública, e o infrator ficará, ainda, sujeito às penalidades legais. Poderá a operadora realizar programas educativos



junto aos usuários não portadores de título de transporte ou cujo título não tenha sido validado;

- serão integralmente adotadas pelo sistema VLT, todas as políticas e regulamentos instituídos pelos poderes Estadual e Municipal de São Paulo referentes a integração intermodal, vigentes nos sistemas de transporte público coletivo da cidade e da região metropolitana de São Paulo.

Caso ocorra uma situação que venha a exigir que o veículo em operação seja evacuado, os passageiros deverão ser informados e orientados a como proceder com segurança, devendo a evacuação do veículo ser realizada, de preferência, em um ponto de parada.

Deverão ser aplicados procedimentos que assegurem aos usuários afetados pela não conclusão da viagem que esses não serão penalizados financeiramente.

Os procedimentos a serem implantados deverão ser capazes de ressarcir os usuários através de crédito nos títulos que foram utilizados e corretamente validados na viagem não concluída, um crédito igual ao debitado no início do deslocamento interrompido.

3.1.3. Condução dos Veículos

97

A operação será realizada no modo Marcha à Vista, no qual a condução do VLT é feita com base na visibilidade direta da via, cabendo ao operador manter velocidade compatível e distância de segurança em relação a obstáculos e composições à frente.

O sistema contará ainda com supervisão centralizada para controle do intervalo entre veículos (*headway*), utilizando sistema de “coaching”, isto é, um sistema de assistência operacional para apoio e orientação em tempo real ao condutor, que fornece informações (visuais ou sonoras) sobre o intervalo e a distância entre composições, auxiliando a manter o headway adequado em toda a extensão da linha.

A interface entre o sistema de VLT e os controladores semafóricos da cidade será integrada ao sistema de controle de tráfego, priorizando a circulação do VLT em cruzamentos semafóricos. A prioridade de passagem será solicitada automaticamente pelo veículo à medida que se aproxima de cada interseção, possibilitando a fluidez operacional e minimizando paradas.



A condução dos trens será realizada por um único operador por composição, com visibilidade direta da via à frente. O comando simultâneo pelas duas cabines não poderá ser possível. O comutador da cabine de comando deve ser do tipo multiposições, permitindo realizar a preparação automática do veículo e a ativação da cabina em serviço em modo normal e em modo de manobra. Se nenhuma das cabines estiver ocupada por um condutor, o veículo deve ter todos os comandos inabilitados, exceto o freio de segurança e os interfones entre cabines.

A ativação do veículo não liberará o freio de estacionamento, para isso será necessário um comando específico. A velocidade de operação será controlada manualmente, respeitando os limites de velocidade, a distância segura em relação ao veículo precedente e a presença de outros modais ou pedestres nas vias.

O veículo deve possuir três tipos de marcha. São elas:

- **Marcha Avante:** Uma manopla única deverá permitir os comandos de tração e a frenagem do veículo, com ela posicionada neutra e com velocidade nula, será aplicado o freio de estacionamento. A manopla deverá ter um dispositivo, de comando intermitente, com a função homem morto. Com o veículo em marcha, caso o dispositivo de comando intermitente deixe de ser acionado automaticamente, será aplicada a “frenagem de segurança”. A aplicação da frenagem de emergência deverá ser irreversível até a parada total do veículo. De acordo com o Caderno Técnico para Projetos de Mobilidade Urbana – Veículo Leve sobre Trilhos, desenvolvido pelo Ministério das Cidades, a composição não deve superar a velocidade de 50 km/h, a fim de atender às recomendações de segurança.
- **Marcha em Sentido Contrário:** A condução do veículo em sentido contrário ao da operação normal da via deverá ser limitada a 3 km/h e todos os procedimentos operacionais de segurança específicos para essa manobra deverão ser rigorosamente cumpridos.
- **Marcha de Manobra:** Esse modo de condução será utilizado no centro de manutenção, nos desvios e nas áreas de manobra. Nesse caso, a velocidade será limitada a 20 km/h.



Na operação de acoplamento, deverá existir um comando que limite a velocidade dos veículos a 3 km/h para permitir o acoplamento entre duas unidades. Esse comando será utilizado também na condução do veículo na máquina de lavar.

3.1.4. Operação das Portas

O tempo de parada nas estações será otimizado, mantendo-se o menor tempo possível para garantir agilidade nas viagens, sem comprometer a segurança e o conforto dos usuários. O tempo de abertura e fechamento das portas será reduzido, estimado em cerca de 4 segundos, conforme exigido pelas normas técnicas de segurança.

Existirão dois modos de operação das portas. Em ambos os casos, a abertura das portas somente será autorizada pelo sistema se a velocidade do veículo for igual ou menor que 3 km/h. Não deverá haver memorização do último lado de abertura selecionado.

Primeiro modo:

- Autorização de comando de abertura pelo condutor do veículo e acionamento pelos passageiros (autosserviço).
- Qualquer porta, do lado autorizado para abertura pelo condutor, poderá ser aberta pelos passageiros, interna ou externamente ao veículo, pela ativação do botão de abertura localizado nas portas.
- Deverá existir uma sinalização luminosa nos botões de acionamento de porta para indicar que a autorização para suas aberturas foi dada.
- O condutor poderá anular a autorização para a abertura das portas.
- O fechamento das portas comandadas pelos passageiros ocorrerá automaticamente após um tempo predeterminado. O condutor, ao término do tempo de parada, deverá comandar o fechamento de todas as portas. Mensagens sonoras pré-gravadas e luminosas devem indicar a iminência do fechamento das portas.
- No caso de detecção de obstáculos durante o fechamento numa ou mais portas, essa(s) porta(s) retrocederá(ão) ligeiramente para retirada do obstáculo, tornando a fechar automaticamente.



- Caso o obstáculo não seja removido todas as portas do lado comandado serão abertas, e o condutor poderá comandar de novo o fechamento, nesse caso os dispositivos de detecção de presença ficarão inibidos.

Segundo Modo:

- Os comandos de abertura e fechamento deverão ser acionados unicamente pelo condutor do veículo.
- No caso de detecção de obstáculos durante o fechamento numa ou mais portas, essa(s) porta(s) retrocederá(ão) ligeiramente para retirada do obstáculo, tornando a fechar automaticamente.
- Caso o obstáculo não seja removido, todas as portas do lado comandado serão abertas e o condutor poderá comandar de novo o fechamento. Nesse caso, os dispositivos de detecção de presença ficarão inibidos.

As portas para acesso de pessoas com deficiência deverão ser equipadas com dispositivo de abertura instalado em altura adequada para uso de usuário em cadeira de roda.

100

3.1.5. Supervisão dos Veículos

O comando e supervisão da operação serão realizados pelo Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM), localizado junto ao Pátio de Manutenção e Estacionamento.

Cada VLT será tratado como um veículo urbano, sujeito às regras de trânsito, especialmente em cruzamentos com vias públicas. Contudo, por se tratar de um modo de transporte prioritário, os veículos terão precedência na circulação, com o sistema de controle de tráfego adaptado para responder às solicitações de prioridade.

No veículo serão executadas várias funções pelo acionamento dos diversos comandos que serão supervisionados.

Internamente haverá uma rede estruturada (data bus), interna ao veículo, para supervisão, controle e aquisição de dados desses eventos.



Os operadores deverão seguir rigorosamente os procedimentos operacionais, obedecendo à sinalização semafórica e às sinalizações específicas do sistema, respeitando os limites de velocidade e instruções emitidas pelo CIOM. A comunicação entre o operador e o CIOM será feita por sistema de radiocomunicação, com possibilidade de mensagens em tempo real. Haverá ainda comunicação direta ponto-a-ponto entre as cabines.

A regulação do intervalo entre composições será definida dinamicamente pelo CIOM. Por se tratar de operação tipo Marcha à Vista, os operadores deverão ajustar manualmente a velocidade dos veículos com base nas informações transmitidas pela central via radiocomunicação, utilizando a interface da cabine de comando para monitoramento e tomada de decisão operacional.

As composições também contarão com sistema de comunicação com os passageiros, incluindo alto-falantes para mensagens automáticas ou enviadas pelo CIOM, e painéis de informação interna, com dados sobre itinerário, paradas e mensagens de orientação. Na parte externa, displays localizados na parte superior das cabines indicarão a linha em operação e o destino final da composição.

101

3.1.6. Operação em Modo Degradado

Deverão ser possíveis as seguintes operações dos veículos em situações degradadas:

- Veículo com Falha a ser reparada após a operação comercial: Caso ocorra uma falha leve, que não interfira na segurança dos passageiros e não impacte na operação, o veículo deverá permanecer em operação até a viagem final prevista em sua tabela horária ou após o término do horário de pico, para só então a falha ser reparada.
- Veículo com Falha a ser retirado da operação comercial na Parada Final da Linha: Caso ocorra uma falha que limite o funcionamento do veículo, ele será retirado da operação na parada final da linha, para reparo da falha.
- Veículo com Falha a ser retirado da operação na próxima Parada após ser evacuado: Corresponde à falha envolvendo a segurança dos passageiros. Nesse



caso, os passageiros serão desembarcados na próxima parada e o veículo retirado de operação para reparo.

- Reboque do veículo: Corresponde à falha que requeira o reboque do veículo.

Para reboque do veículo com falha, será utilizado o veículo que estiver mais próximo e no mesmo sentido. Para isso, os passageiros dos dois veículos serão evacuados na próxima parada. O comboio formado pelos dois veículos será conduzido até a parada no final da linha ou ao Centro de Manutenção. A classificação da operação a ser executada após uma falha será determinada pelo CCO, de acordo com as informações do condutor do veículo e de acordo com os procedimentos operacionais.

Deve ser possível a preparação do veículo mesmo com baixo nível de carga nas suas baterias auxiliares. Nesse caso, deverá haver um sistema que possibilite ao condutor acionar manualmente a subida do pantógrafo para completar a preparação do veículo e a recarga das baterias.

Quando o comando de fechamento de uma ou várias portas não funcionarem, deverá ser possível fechá-las manualmente. Nesse caso, as portas em falha deverão ser isoladas e travadas por um dispositivo independente.

A porta isolada deverá ter seu dispositivo de comando local inabilitado, ser sinalizada na cabina de condução e para os passageiros de dentro ou de fora do veículo. Uma porta travada não poderá ser destravada por um passageiro.

Deverá ser possível realizar as operações de reboque em qualquer local da linha, inclusive nas paradas. Na condição de reboque os engates entre os dois veículos deverão estar travados.

Deverá existir um acabamento frontal, integrado à máscara do veículo, para ocultar o engate. Esse acabamento deverá ser solidário à máscara.

Deverá ser possível a realização da operação de acoplamento entre duas unidades de VLT em menos de quinze minutos. Essa operação deverá ser facilmente realizada pelos dois condutores dos veículos, qualquer que seja o nível de luminosidade no ambiente exterior. As seguintes funcionalidades deverão estar disponíveis após e somente após a operação de acoplamento:



- Comunicação por interfone entre cabinas de condução dos dois veículos. Por motivo de segurança deverá ser possível o acionamento das buzinas das cabinas;
- Comunicações de rádio entre as os veículos de socorro e socorrido com o CCO;
- As comunicações entre os intercomunicadores da cabine do veículo de socorro e socorrido deverão abrir um canal para gravação deste evento no registrador de eventos do VLT. Nesta gravação deverá ser registrada data, hora, minuto e segundo de modo a garantir a preservação dos dados e permitir posterior recuperação deste áudio com o registro das informações de gravação;
- Desbloqueio dos freios do veículo socorrido através de comando do veículo de socorro. Nesse caso, o veículo de socorro deverá prover a energia para o desbloqueio dos freios do veículo socorrido;
- Comando do freio de segurança das duas unidades das cabinas de ambos os veículos. Em caso de falha nesse comando, essa função poderá ser inibida, e o desbloqueio deverá ser ativado;
- Tração do comboio pela cabina líder (dianteira) do veículo socorrido;
- Aplicação de freio de segurança no caso de desacoplamento;
- Sinalização luminosa dos veículos e comando dos faróis da unidade socorrida;
- Comando das buzinas pelas cabinas dianteiras dos dois veículos;
- Comando do limpador de para-brisas das cabinas frontais dos dois veículos.

3.1.7. Limpeza

Deverá ser adotada uma sistemática de limpeza, higienização e sanitificação de suas instalações operacionais (paradas) e dos veículos interna e externamente.

Deverá ser dada, ainda, ênfase especial às paradas pelo fato de serem áreas com regiões parcialmente descobertas, sujeitas às contingências urbanas e não assistidas de forma permanente.

Deverão ser estabelecidos mecanismos de intervenção rápida que possam atuar para corrigir problemas, ocasionados pelos usuários e/ou por eventos climáticos, que ocorram durante os horários de circulação.



3.2. PADRÕES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

A operação do sistema VLT deverá respeitar os parâmetros operacionais apresentados a seguir, como indicativos referenciais, desde a primeira etapa, cabendo, no entanto à mesma em função do comportamento da demanda, propor ajustes devidamente justificados.

Para monitorar o desempenho do sistema, devem ser acompanhados com regularidade os índices de desempenho (apresentados no Produto 4.1.4 - Projeto Operacional e Comercial para exploração dos serviços do Sistema - *business plan*), que abrangem qualidade do serviço e produtividade.

3.2.1. Horário de Funcionamento

O sistema VLT deverá operar com operação diária entre 6h e 00h, com equipes de condutores em turnos. A manutenção preventiva e corretiva deverá ser realizada prioritariamente no período noturno entre 0h e 6h, com equipes de plantão para emergências durante o dia. Além disso, o CCO deverá operar de forma ininterrupta (24/7).

104

3.2.2. Intervalo entre Veículos

O usuário deseja que seja respeitado o seu direito de ser transportado, com conforto, segurança e regularidade. Assim os intervalos entre veículos, nas diversas linhas operacionais, deverão ser informados com exatidão, e respeitadas às taxas de ocupação especificadas.

A operação deverá respeitar em todas as linhas, os seguintes intervalos máximos:

- dias úteis e sábados (até as 14h): 15 minutos
- sábado (após as 14h), domingos e feriados: 20 minutos

3.2.3. Taxa de Ocupação

A taxa de ocupação (passageiros em pé/m²) é um dos parâmetros mais perceptíveis pelo usuário dos sistemas de transportes e será um dos diferenciais que distinguirá o VLT em



relação aos demais modais. Por esse motivo, a taxa de 6 (seis) passageiros em pé/m² será a máxima admitida em qualquer horário e circunstância e deverá ser rigorosamente administrada e gradualmente reduzida pela operadora como sistemática de melhoria contínua da qualidade.

3.2.4. Frota e Reserva Operacional

Para o planejamento da operação do VLT, foram consideradas as diretrizes previamente abordadas em estudos anteriores. A estimativa do tempo de ciclo da viagem compreendendo o trajeto entre a estação inicial e a estação final, baseou-se nas seguintes premissas operacionais, considerando o sentido horário e anti-horário do Circuito Azul e o Circuito Vermelho:

- Percurso equivalente à extensão total de cada linha;
- Número de estações de cada linha (considerando uma plataforma dupla que atende a ambos os sentidos do Circuito Azul);
- Tempo médio de parada de 35 segundos por estação. Este tempo contempla o acionamento do gongo, abertura e fechamento das portas, além dos efeitos da aceleração inicial (jerk).

105

Os tempos de deslocamento entre estações foram calculados sem considerar diretamente as curvas de aceleração e frenagem. No entanto, tendo em vista a curta distância entre as estações, é importante observar que o VLT iniciará o processo de frenagem antes de atingir sua velocidade máxima, o que impacta diretamente o tempo efetivo de deslocamento entre paradas.

Além disso, para garantir a confiabilidade do serviço, é prevista uma reserva operacional de veículos para atender eventuais necessidades da operação e possibilitar a realização das manutenções programadas. Como indicativo referencial é proposto, no mínimo, que essa reserva seja igual a 20% do total da frota operacional determinada pela soma da quantidade máxima de veículos necessária para atender o horário de pico mais carregado.

Com base nessas premissas, foi elaborado o dimensionamento da frota de implantação, apresentado no Quadro 9, que indica a necessidade de 21 veículos no total, distribuídos



igualmente entre os três circuitos (Azul sentido horário, Azul sentido anti-horário e Vermelho).

Quadro 9 – Dimensionamento da frota de implantação.

	Circuito Azul - sentido horário	Circuito Azul - sentido anti-horário	Circuito Vermelho	Unidade
Premissas				
Extensão do trajeto	6,45	6,45	6,3	km
Número de estações (*)	11	14	13	unidades
Velocidade comercial	18	18	18	km/h
Horário de funcionamento	18	18	18	h/dia
Tempo médio de parada nas estações	36	36	36	segundos
Intervalo médio entre composições (headway)	6,5	6,5	6,5	minutos
Dimensionamento da Frota				
Tempo parado nas estações	6,6	8,4	7,8	minutos
Tempo de deslocamento	21,5	21,5	21,0	minutos
Tempo parado no ponto final	6,5	6,5	6,5	minutos
Tempo do Carrossel	34,6	36,4	35,3	minutos
VLT's no Carrossel	6	6	6	unidades
Reserva de Manutenção	1	1	1	unidades
Total Frota por circuito	7	7	7	unidades
TOTAL FROTA	21			unidades

(*) Nota-se que uma das 24 paradas do circuito azul atende ambos os sentidos do circuito azul, portanto é considerada duas vezes.

3.2.5. Frota Operacional pós-implantação

Conforme item anterior, deverão ser operadas três linhas, sendo: Circuito Azul – sentido horário e anti-horário – e Circuito Vermelho. Para cada uma delas foi estabelecido:

- Frota de implantação operacional: 6 veículos;
- Frota de implantação reserva: 1 veículo;
- Intervalo entre os veículos: 6,5 minutos.

Adicionalmente, deve-se considerar o período de maturação da demanda, fenômeno amplamente reconhecido em estudos internacionais, como os do Banco Mundial, que evidenciam que sistemas de transporte de média e alta capacidade passam por uma fase inicial de adaptação dos usuários. Após a implantação, observa-se um crescimento



gradual de demanda nos primeiros anos de operação, até que o serviço se consolide como alternativa preferencial de deslocamento.

Dessa forma, a frota de 21 veículos é adequada para a implantação, porém uma estratégia de planejamento a longo prazo deve ser considerada, permitindo a expansão do serviço em consonância com a evolução da demanda e a necessidade de manter níveis adequados de conforto e confiabilidade.

Quadro 10 – Dimensionamento da frota pós-implantação.

	Circuito Azul - sentido horário	Circuito Azul - sentido anti-horário	Circuito Vermelho	Unidade
Premissas				
Extensão do trajeto	6,45	6,45	6,3	km
Número de estações (*)	11	14	13	unidades
Velocidade comercial	18	18	18	km/h
Horário de funcionamento	18	18	18	h/dia
Tempo médio de parada nas estações	36	36	36	segundos
Intervalo médio entre composições (headway)	3,5	3,5	3,5	minutos
Dimensionamento da Frota				
Tempo parado nas estações	6,6	8,4	7,8	minutos
Tempo de deslocamento	21,5	21,5	21,0	minutos
Tempo parado no ponto final	3,5	3,5	3,5	minutos
Tempo do Carrossel	31,6	33,4	32,3	minutos
VLT's no Carrossel	10	10	10	unidades
Reserva de Manutenção	2	2	2	unidades
Total Frota por circuito	12	12	12	unidades
TOTAL FROTA	36			unidades

(*) Nota-se que uma das 24 paradas do circuito azul atende ambos os sentidos do circuito azul, portanto é considerada duas vezes.

Assim, transcorridos os cinco primeiros anos de operação, e considerando o crescimento da demanda — decorrente da dinâmica demográfica, do aumento do PIB e da intensificação do uso da região central — prevê-se a redução do headway para 3,5 minutos. Esse cenário fundamenta a previsão de expansão futura da frota inicial de 21 veículos para até 36 veículos, conforme indicado em estudos anteriores, caso a evolução da demanda assim o exija.



3.2.6. Manutenção

A manutenção dos sistemas, instalações e equipamentos que comporão o sistema VLT, após o início da operação comercial, seja parcial ou total, e durante todo o período de concessão, será de responsabilidade exclusiva da operadora.

Esta deverá estar estruturada para executar diretamente, ou através de terceiros, as manutenções preventivas e corretivas das edificações, instalações, sistemas, material rodante (veículos) e demais equipamentos, devendo implantar um programa de manutenção preventiva baseado em inspeções, monitoramentos, revisões e intervenções programadas.

Qualquer intervenção de manutenção ao longo da rede operacional só poderá ser realizada em conformidade com os procedimentos operacionais que deverão levar em consideração não prejudicar a operação do VLT ou colocar em risco a segurança dos seus usuários, da coletividade em geral e dos funcionários.

No caso de intervenções de manutenção na via, atenção especial deverá ser dada à interdição e à sinalização dos locais de atuação, para que não ofereça riscos aos usuários, aos empregados e aos pedestres e prejudique o mínimo possível a circulação de veículos rodoviários na região.

Deverão ser incluídos nos procedimentos de manutenção preventiva que após os terminos dos serviços, seja realizada a limpeza dos equipamentos, vias, túneis, passagens subterrâneas, oficinas, pátios, subestações retificadoras ou de qualquer outro local onde tenham sido realizadas operações.

Além disso, deverá ser dada especial atenção ao recolhimento e destino do lixo, sucatas, lubrificantes, solventes e outros produtos afins, visando que os mesmos não causem danos ambientais, em estrita obediência a legislação, às normas e regulamentos aplicáveis.

No desenvolvimento da avaliação da qualidade dos serviços de manutenção serão consideradas as seguintes definições básicas:



- Níveis de Manutenção Corretivas - as ocorrências de manutenções corretivas serão classificadas em 3 (três) níveis:
 - Nível 1 - Emergência: é toda e qualquer ocorrência que provoque interferência na operação comercial e que provoque a retirada de circulação de equipamento, sistema e/ou material rodante (veículo) defeituoso e que prejudique a operação comercial, exigindo o atendimento imediato da equipe de manutenção visando restabelecer a sua operacionalidade;
 - Nível 2 - Urgência: é toda e qualquer ocorrência que provoque interferência na operação comercial e restrições na utilização de equipamento, sistema e/ou material rodante (veículo), mas que não impeça que o sistema/equipamento em falha permaneça em operação comercial de forma degradada, porém absolutamente segura e que não prejudique a imagem da Concessionária perante a opinião pública, até que a manutenção possa intervir, o que deverá ocorrer no mais curto prazo de tempo possível;
 - Nível 3 - Programada: é toda e qualquer ocorrência que provoque interferência na operação comercial e imponha restrições à operação do equipamento, sistema ou material rodante defeituoso, mas que possa ter seu reparo realizado pela manutenção em horário em que haja disponibilidade ou cuja intervenção possa ser postergada para ser realizada junto com a próxima manutenção preventiva programada, porém, permitindo uma operação absolutamente segura e que não prejudique a imagem da Concessionária perante a opinião pública;
- Atividade Programada de Manutenção: é toda e qualquer atividade de manutenção preventiva e/ou corretiva programada contida em um plano de manutenção;
- Plano de Manutenção: é o detalhamento dos serviços a serem executados durante um programa de manutenção preventiva e/ou corretiva programada para garantir o desempenho, a disponibilidade e a segurança especificados para os equipamentos, sistemas ou material rodante do VLT;
- Veículo Disponível: será considerado disponível o veículo que não possua nenhuma ocorrência do Nível 1 - Emergência aberta que impeça sua



movimentação segura, e que não gerem interferências na circulação dos demais veículos, prejuízo à segurança ou ao conforto do usuário e que não afetem a imagem da Concessionária perante a opinião pública. O veículo será considerado indisponível caso apresente qualquer uma das falhas abaixo listadas:

- permita a abertura das portas com o veículo em movimento;
- permita a abertura das portas indevidamente ou do lado oposto ao comandado;
- que apresente uma ou mais folhas de porta que não possa ser travada na posição fechada;
- que tenha uma ou mais portas sem sinalização luminosa e/ou sonora de fechamento iminente;
- que apresente falha de funcionamento no controle de velocidade;
- que apresente controles inoperantes;
- que apresente instrumentos essenciais inoperantes;
- que apresente cheiro de queimado ou sinais de fogo ou fumaça;
- que apresente anormalidades que impeçam o acesso aos controles do veículo;
- que apresente vidros de portas ou janelas quebrados;
- que apresente para-brisa quebrado ou limpador de para-brisa inoperante;
- que apresente equipamento de Aviso ao Público inoperante;
- que apresente equipamento de comunicação inoperante;
- que apresente falhas nos dispositivos de engate que impeçam o acoplamento e desacoplamento;
- que apresente falha no carregamento da tubulação do freio pneumático;
- que apresente falha na aplicação e/ou na remoção de qualquer um dos sistemas de freio;
- que apresente falha de suprimento elétrico;
- que apresente um compressor inoperante ou que tenha vazamento de ar sob a caixa;
- que tenha mais de duas luminárias de emergência apagadas;



- que apresente anormalidades no sistema de tração, tais como baixa propulsão, trancos na frenagem ou na aceleração;
 - que possua calo acentuado em alguma roda;
 - que apresente trepidações e ruídos anormais;
 - que apresente sistema de ar-condicionado inoperante;
 - que tenha falta de mais de um extintor de incêndio, ou descarregado ou com carga fora do período de validade;
 - que apresente pichação interna ou externa com conteúdo inconveniente, insultuoso ou constrangedor;
 - que apresente bancos, painéis de acabamento ou pega mãos danificados;
 - que tenha mais de 10% da área de piso danificado ou solto, que ofereça risco de acidente aos usuários;
 - que apresente saliências ou falhas de acabamento que ofereçam risco de acidente aos usuários;
 - que apresente falha em qualquer um dos equipamentos de alerta, tais como: luzes frontais e traseiras, buzina e/ou outro recurso sonoro, destinados a avisar aos pedestres e veículos que estiverem utilizando a mesma faixa de rolamento, da aproximação ou da circulação do VLT;
 - que apresente falhas no circuito de CFTV, destinado ao controle de embarque e desembarque e de auxílio à condução do veículo.
- **Parada Disponível:** é aquela que não possua ocorrências de Nível 1 - Emergência abertas, que impeçam a utilização pelos usuários, não permitindo o embarque ou desembarque de forma segura. Todos os sistemas, equipamentos e instalações das paradas deverão oferecer condições técnicas e de segurança mínimas de funcionamento. Uma parada será considerada indisponível, caso apresente qualquer uma das condições abaixo:
 - mais de 30% dos sonofletores inoperantes;
 - mais de 50% dos displays de informação ao usuário inoperantes;
 - mais de 30% das áreas de circulação de usuários sem iluminação ou apresentando irregularidades que ponham em risco a segurança dos mesmos;

- mais de 30% de câmeras do sistema de CFTV inoperantes;
- que tenha equipamentos obrigatórios para uso de pessoas com deficiência fora de operação;
- extintores de incêndio fora do prazo de validade, inoperantes ou faltantes.

As ocorrências de conservação civil listadas serão admitidas desde que sejam respeitados os prazos de reparação relacionados a seguir.

Quadro 11 – Prazos máximos de reparos

Ocorrências	Escopo	Prazo Máximo
Instalações e equipamentos hidráulicos	Lavatórios, vasos sanitários, mictórios, ralos, canaletas, torneiras, registros e tubulações com vazamentos ou entupimento	24 horas
Portas, portões, cancelas e bloqueios	Elementos danificados	48 horas
Mobiliários	Bancos, lixeiras, cinzeiros e porta-macas danificados	48 horas
Pisos	Pisos, degraus, tampos e grelhas danificados	48 horas
Corrimãos e Guarda Corpo	Elementos danificados	48 horas
Revestimentos	Revestimentos de parede e teto danificados	72 horas
Comunicação Visual	Estrutura, suporte, pintura de placas danificadas, faixas de limite (ambulantes, fila de embarque, borda de plataforma) e marcos luminosos danificados	72 horas
Pichações (*)	Em equipamentos ou instalações localizados em áreas públicas de acesso, circulação ou permanência de usuários	72 horas

(*) Exceto para pichações com conteúdo inconveniente ou insultuoso que deverão ser removidas em até 24 horas, independentemente da localização.

3.3. CRITÉRIOS DA SEGURANÇA OPERACIONAL

A definição dos critérios de segurança operacional constitui etapa crítica no processo de planejamento e estruturação do sistema de VLT proposto para a cidade de São Paulo, especialmente em função da previsão de operação em vias mistas na região central. Esses critérios devem garantir níveis adequados de confiabilidade, disponibilidade e integridade do sistema, ao mesmo tempo em que ofereçam segurança aos usuários e aos



demais agentes que compartilham o espaço urbano incluindo pedestres, ciclistas e veículos motorizados.

Para que seja possível a posterior elaboração do *datobook* técnico do sistema, é necessário que os critérios de segurança estejam claramente estabelecidos, documentados e tecnicamente justificáveis. Tais critérios devem incorporar boas práticas internacionais, conformidade normativa e parâmetros de desempenho mensuráveis, compatíveis com os requisitos de certificações ambientais, operacionais e financeiras, inclusive aquelas exigidas por organismos multilaterais de financiamento.

A seguir, são propostos os principais critérios de segurança operacional que deverão ser observados:

- Confiabilidade e Disponibilidade do Sistema (RAMS): estabelecer níveis mínimos de disponibilidade operacional (ex.: > 98%) e de confiabilidade do material rodante e dos subsistemas críticos (freios, portas, sinalização, controle, tração), conforme metodologia RAMS definida pelas normas EN 50126/50128/50129.
- Segurança em Vias Mistas: desenvolver protocolos específicos de operação para áreas compartilhadas com o tráfego urbano, considerando a presença de pedestres, ciclistas e veículos leves. Isso inclui definição de velocidades máximas por trecho, prioridade semaforica, sinalização dinâmica e integração com o sistema viário da cidade. De acordo com o Caderno Técnico para Projetos de Mobilidade Urbana – Veículo Leve sobre Trilhos, desenvolvido pelo Ministério das Cidades, a composição não deve superar a velocidade de 50 km/h, a fim de atender às recomendações de segurança.
- Sistema de Controle e Monitoramento: adoção de sistemas que permitam o rastreamento em tempo real da posição, velocidade e estado dos veículos, com capacidade de intervenção automática em caso de risco. A sinalização deve ser compatível com ambientes urbanos e prever redundância para falhas.
- Interface com o entorno urbano: adotar medidas que minimizem a possibilidade de conflito com pedestres e demais usuários do espaço urbano, tais como: faixas de segurança iluminadas, sinalização horizontal e vertical em conformidade com o Código de Trânsito Brasileiro, e alertas sonoros ou visuais integrados aos veículos.



- Gestão de Incidentes e Riscos Operacionais: definição de planos operacionais de contingência para falhas, panes ou acidentes, incluindo tempos máximos de resposta, fluxos de comunicação com a CET, SAMU, Corpo de Bombeiros e Defesa Civil, e rotinas de evacuação.
- Treinamento e Capacitação Contínua: critérios de formação e reciclagem periódica para condutores e operadores de sistema, com certificações específicas para atuação em áreas compartilhadas. A formação deve incluir simulações de falhas, resposta a emergências e atendimento ao usuário.
- Compatibilidade com Certificações Ambientais e de Segurança: os critérios devem atender aos requisitos mínimos de sistemas de gestão ambiental e de saúde e segurança ocupacional, com rastreabilidade conforme normas como ISO 14001 e ISO 45001.
- Todos os componentes e subsistemas deverão ser submetidos a testes de validação técnica, incluindo o FAT – *Factory Acceptance Test* (Teste de Aceitação em Fábrica) e o SAT – *Site Acceptance Test* (Teste de Aceitação em Campo), bem como provas de carga e desempenho. Os resultados desses ensaios deverão compor o conjunto documental técnico de referência, integrando o databook do sistema para fins de comissionamento e aceitação final.

114

Esses critérios deverão ser consolidados em uma matriz técnica de requisitos de segurança, com metas associadas a indicadores de desempenho contratual, e integrados ao escopo da futura concessão. A rastreabilidade desses dados, evidências e parâmetros ao longo do ciclo de vida do sistema permitirá não apenas o monitoramento da operação, mas também a elaboração de um databook robusto, auditável e aderente aos padrões internacionais de segurança e sustentabilidade.

A seguir, são detalhados requisitos de confiabilidade e de segurança adotados por outros sistemas de VLT nacionais como referência para o projeto do VLT de São Paulo.



3.3.1. Requisitos de Confiabilidade

Os veículos, seus componentes, equipamentos, sistemas e circuitos, deverão ser fabricados, montados e testados objetivando apresentar um alto nível de confiabilidade e disponibilidade operacional.

Todos os principais componentes, equipamentos e sistemas envolvidos na montagem e fornecimento dos VLTs deverão ter suas confiabilidades aferidas, por meio de atestados de desempenho ou através de ensaios de tipo específico.

As partes estruturais dos carros deverão ter uma vida útil de no mínimo 20 anos.

A confiabilidade deve ser medida a partir de um indicador de Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), calculado tal que:

$$MTBF = \frac{\text{Quantidade de horas trabalhadas pelo VLT}}{\text{Número de falhas não interdependentes nos trens}}$$

No cálculo devem ser consideradas todas as falhas que interferirem na operação comercial do VLT, sem considerar o tempo de restabelecimento. Além disso, as falhas causadas por outras falhas não deverão ser consideradas como relevantes para a validação da confiabilidade já que poderiam causar efeito em “cascata” (interdependentes). Nesses casos considerar somente a falha inicial.

Para cada um dos sistemas do VLT, deve ser estabelecido o índice de confiabilidade MTBF como uma das medidas de desempenho contratual, que deve constar no Plano de Manutenção a ser entregue pela operadora do sistema. A seguir, são apresentados como referência os requisitos mínimos de confiabilidade para os sistemas do VLT da Baixada Santista.



Quadro 12 – Requisitos de confiabilidade do VLT da Baixada Santista.

SISTEMA	MTBF (Horas)
CAIXA: Estrutura, revestimentos internos e externos, piso, balaústres, pega mão, cabine, console, salão de passageiros, bancos, fechaduras, limpador de para-brisa, janelas, etc.	200.000
FREIO: Unidade de comando de freio, unidade operante pneumático/hidráulica, unidade antideslizamento e antipatinação, freio de estacionamento, válvulas, mangueiras, etc.	150.000
ILUMINAÇÃO E ANUNCIADORES: Reatores, inversores de emergência, instrumentação do console, velocímetro, odômetro, monitor de vídeo, anunciadores de falhas, mapa da linha, indicador de destino, etc.	60.000
SUPRIMENTO ELÉTRICO: Pantógrafo, disjuntores principais, inversores auxiliares, bateria, supercapacitores, retificadores, conversor, painéis de comandos, chaves, botoeiras, fontes, etc.	80.000
PROPULSÃO: equipamento de comando e controle, inversor de tração, motores de tração, contadores, chaves de manobra, etc.	60.000
PORTAS: equipamento de comando, mecanismo de acionamento das portas e conjunto das folhas, etc.	100.000
SUPRIMENTO DE AR: unidade compressora, unidade de tratamento de ar e painel de comando, etc.	200.000
CLIMATIZAÇÃO: painel de comando e conjunto motor ventilador, motor compressor, etc.	60.000
SONORIZAÇÃO: fontes, amplificadores e unidade de controle, etc.	150.000
ACOPLAMENTOS ELÉTRICOS: engates, mangueiras, cabos de conexões ("jumpers")	1.000.000
TRUQUES: Estrutura, suspensões, rodeiros, redutores, mecanismo de freio	500.000
CONTROLE DE BORDO	50.000
SISTEMA "DATA BUS"	150.000
REGISTRADOR DE EVENTOS	150.000
CAIXA PRETA	150.000
SISTEMA DE DETECÇÃO DE INCÊNDIO	150.000

116

Outra medida de desempenho contratual que deve ser considerada é o Tempo Médio para Reparo (MTTR). Este indicador será a média ponderada do MTTR dos elementos-chave do sistema listados no Quadro a seguir. O tempo de diagnóstico deve ser incluído no MTTR.

A seguir, são apresentados como referência os requisitos de Tempo Médio para Reparo para os sistemas do VLT da Baixada Santista, onde o MTTR Global deve ser menor ou igual a 1,8 horas.



Quadro 13 – Requisitos de MTTR do VLT da Baixada Santista.

SISTEMA	MTTR (h)
Equipamentos de tração e os comandos	1,8
Equipamentos de frenagem	2,0
Equipamentos de comunicação	1,0
Portas laterais e equipamentos de controle	0,8
Equipamentos de iluminação	0,5
Equipamento de Alimentação auxiliar	1,5
Sistema de Engate	2,6
Componentes do Truque e suspensão	1,6
Equipamentos de comunicação de sinalização de controle	1,0
Caixa e correlatos	2,1

Por fim, a disponibilidade deve também ser uma medida de desempenho contratual. No VLT da Baixada Santista, por exemplo, a disponibilidade deve ser de, no mínimo, 99%.

Destaca-se que o índice de disponibilidade do material rodante, das estações e dos sistemas de via são medidas que fazem parte do Indicador de Qualidade da Manutenção (IQM), pontuando na determinação do Índice de Qualidade de Serviço. O Produto 4.1.4 - Projeto Operacional e Comercial para exploração dos serviços do Sistema (*business plan*) apresenta a metodologia de cálculo de tais indicadores.

117

3.3.2. Requisitos de Segurança

Quanto à segurança operacional, os requisitos a serem considerados são divididos em dois grupos: segurança ativa e segurança passiva. A segurança ativa foca em evitar acidentes, enquanto a segurança passiva visa proteger os ocupantes do veículo em caso de acidente.

Segurança Ativa:

Como segurança ativa do projeto, além de buzina e faróis, sinalização e iluminação, deverão ser consideradas as seguintes funções e equipamentos:

i. Função de Frenagem



Devem ser usados nos veículos três tipos de frenagem: frenagem mecânica através da aplicação de discos de freio, frenagem elétrica e frenagem eletromagnética de emergência.

ii. Dispositivos de Segurança nas Portas

- As portas de acesso devem ter os seguintes dispositivos de segurança: Indicador luminoso em cada porta, que acionará uma luz intermitente durante o seu fechamento, que será acompanhado por um sinal acústico também intermitente.
- Uma vez fechadas, as portas deverão ser bloqueadas mecanicamente e assim permanecerem enquanto o veículo estiver em movimento. Nenhuma falha, nas portas ou em seu sistema de controle, deverá possibilitar o seu desbloqueio ou a sua abertura enquanto o veículo estiver em movimento.
- Toda porta deverá ser controlada. O veículo não poderá ser movimentado se todas as portas não estiverem fechadas e bloqueadas.
- A abertura de uma porta com o veículo em movimento provocará uma frenagem de emergência.
- As portas terão um dispositivo de detecção que indicará sua obstrução por um passageiro e impedirá seu fechamento enquanto ele estiver ativado.
- As folhas das portas devem ser providas de guarnições de borracha em toda extensão de contato entre as folhas. O perfil da borracha deve ser do tipo macho-fêmea e a fixação nas folhas deve ser do tipo encaixe.
- As bordas laterais das portas devem ser providas de guarnições de borracha em toda extensão de contato entre as folhas. O perfil da borracha deve ser do tipo macho-fêmea e a fixação nas folhas deve ser do tipo encaixe.
- O sistema não deve reconhecer a porta como “fechada” caso haja a obstrução de um objeto rígido com 10 mm de espessura por 40 mm de largura, posicionado entre as bordas das folhas a 1 m do piso do carro. Desta forma, durante seu fechamento, se a porta entrar em contato com um objeto que esteja obstruindo o seu curso, deverá ocorrer a seguinte sequência: parada imediata, reabertura e reinício automático do processo de fechamento.



- Qualquer objeto com 25 mm de diâmetro, ou maior, dará início a esse ciclo de reabertura. Somente a porta que tenha detectado a presença do objeto deverá seguir esta sequência.
- Todas as portas deverão possuir um dispositivo manual que permita seu desbloqueio e abertura em caso de avaria ou emergência, tanto na parte interna como no exterior do veículo.
- Em caso de falha de uma porta, esta poderá ser fechada e bloqueada internamente na posição fechada, ficando fora de serviço, porém permitindo continuar a operação do veículo.
- Este bloqueio deverá ocorrer com a ajuda de uma chave especial em posse de pessoal autorizado. O bloqueio físico da porta deverá disparar um sinal luminoso indicando a situação para os usuários.
- Uma vez fechadas, não deverá haver nenhum tipo de folga nas portas, que permita a penetração de água. Com as portas fechadas, nenhuma parte de seus mecanismos, guias, etc. deve ultrapassar a largura máxima do veículo.
- Todas as portas deverão poder ser bloqueadas manualmente, de maneira que não possam ser abertas nem automaticamente nem com o dispositivo manual de abertura para o caso de avaria ou emergência.
- Para permitir que o condutor ou outra pessoa autorizada possa acessar o veículo por uma das portas de acesso dos passageiros, os dispositivos de bloqueio/desbloqueio das portas deverão ser acessíveis externamente por meio de chave especial.

iii. Dispositivos de Alarme e Evacuação

As funções de alarme e evacuação deverão ser facilmente acessíveis aos passageiros em cada porta de acesso. O dispositivo terá duas funções e será associado ao intercomunicador.

A alavanca de alarme e evacuação terá duas posições:

- A primeira posição permitirá o envio de um alarme, sonoro e luminoso à cabina de condução, onde o condutor pode então autorizar a comunicação com o passageiro



através do intercomunicador. Somente o alto falante localizado no intercomunicador, próximo ao passageiro que acionou a alavanca de alarme, será sonorizado. Nessa posição a alavanca não será travada em sua posição. O primeiro pedido de chamada de passageiros será prioritário e atendido pelo condutor. No entanto, o condutor será informado dos outros pedidos de comunicação. O condutor pode parar ou finalizar a comunicação quando então o dispositivo será reinicializado automaticamente.

- A segunda posição permitirá o destravamento e a abertura da porta correspondente, se a velocidade do veículo for inferior a 3 km/h.

iv. Função de Vigilância do Condutor (homem morto)

O sistema de vigilância do condutor deverá atender integralmente à norma UIC 641 (*Vigilance and Deadman Control Devices*), que define critérios mínimos para sistemas de vigilância do condutor em material rodante, garantindo a ativação da função de segurança conhecida como “homem-morto”.

Este recurso assegura que, em caso de inatividade ou incapacidade do condutor (ausência de pressão ou acionamento periódico do dispositivo de vigilância), a composição entre automaticamente em estado de frenagem de segurança, imobilizando o veículo de forma controlada.

As principais exigências da UIC 641 a serem atendidas são:

- Ativação contínua da vigilância: O condutor deve manter contato físico constante com um dispositivo de vigilância (pedal, alavanca, botão ou equivalente). Alternativamente, deve realizar ações periódicas no posto de condução (como por exemplo, comando de tração, freio, buzina, etc.), dentro de intervalos definidos.
- Tempo máximo de inatividade: Se não houver interação do condutor no período máximo definido (tipicamente 10 a 60 segundos, conforme configuração do operador), o sistema deve iniciar a sequência de alarme e segurança.
- Sequência de segurança (*fail-safe*): Emissão de alerta sonoro e/ou visual para advertir o condutor. Caso não haja resposta imediata, o sistema deve aplicar frenagem automática de emergência.



- Impossibilidade de neutralização indevida: O sistema deve ser projetado para impedir que o condutor consiga anular ou travar permanentemente o dispositivo de vigilância (ex.: peso sobre pedal, objeto fixo em botão).
- Integração com o sistema de frenagem: A ativação do modo de segurança deve sempre resultar na aplicação do freio de emergência, até a imobilização total do veículo.
- Confiabilidade e redundância: O sistema deve ser projetado em conformidade com os princípios *fail-safe*, garantindo funcionamento mesmo em caso de falha de componentes.

v. *Deteção e Extinção de Incêndio*

O equipamento de detecção de incêndio deverá detectar a presença de fumaça no salão de passageiros e cabina de condução por meio de aspiração contínua do ar, inclusive com a ventilação em máxima capacidade. Os filtros de poeira ou sujeira deverão ser dimensionados para durabilidade mínima de 5 anos de utilização.

O equipamento deverá fornecer no mínimo 3 níveis de alarme, com saída por reles programáveis. Os alarmes e a identificação do módulo ou cabine com fumaça deverão ser sinalizados na cabina do módulo líder.

O dispositivo de detecção de incêndio deverá atender às normas da ABNT e à legislação brasileira aplicável.

Todos os módulos (carros) deverão ter extintores de incêndio localizados no salão de passageiros em compartimentos protegidos e sinalizados conforme norma. Além desses, os carros de extremidades deverão ter outro extintor localizado na cabina de condução.

Segurança Passiva:

No que se refere a segurança passiva, o projeto deverá garantir a resistência da caixa a esforços verticais, de compressão e colisão, a existência de barras de proteção lateral para os passageiros sentados, proteção antivandalismo, registrador de eventos e cabine de condução ergonômica. Além disso, deverão ser consideradas as seguintes funções e equipamentos:



i. Proteção Anti-encavalamento

As extremidades do veículo e as dos módulos deverão ser projetadas para evitar encavalamento em caso de colisão em velocidades de até 5 km/h carregados com carga máxima.

ii. Dispositivo de Proteção Frontal/Guarda Corpo

As duas extremidades do veículo deverão ser providas de saia frontal, cuja função será evitar a possibilidade de objetos ou pessoas entrarem embaixo da parte frontal do veículo, por exemplo, em casos de acidente.

iii. Resistência dos Materiais a Fogo

Quanto à resistência a fogo, todos os materiais utilizados no veículo deverão atender à norma NF F 16-101 e todos os equipamentos elétricos, à norma NFF16-102.

4. ESTIMATIVA DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO

122

Este capítulo apresenta a estimativa consolidada de custos de implantação (CAPEX - *Capital Expenditure*) e operação/manutenção (OPEX - *Operational Expenditure*) do sistema de VLT proposto para o centro de São Paulo. Os valores foram levantados com base em referências técnicas disponíveis, considerando a realidade do mercado brasileiro e padrões utilizados pela administração pública.

4.1. ESTRUTURA DO CAPEX

A estrutura para as estimativas de investimento para a implantação do sistema VLT na região central de São Paulo foi organizada em grandes componentes de investimento, conforme caracterização do projeto apresentada no capítulo 2 deste relatório, que são:

- **Estrutura Física do Projeto:** Projetos, Via Permanente, Obras de Arte Especial, Parada de Embarque e Desembarque, Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM) e a Urbanização do Entorno;
- **Material Rodante;**



- **Energia:** Sistema de Alimentação de Alta Tensão, Sistema de Alimentação de Média Tensão, Sistema de Alimentação de Baixa Tensão e Sistema de Alimentação de Tração;
- **Sistemas:** Sistema de Controle Centralizado, Sistema de Controle de Tráfego, Sistema de Controle Semafórico, Sistema de Telecomunicações e Sistema de Bilhetagem, Controle e Arrecadação de Passageiros.

O BDI - Benefícios e Despesas Indiretas do projeto não está explicitado nesta fase, pois serão integralmente considerados e detalhados no Produto 4.1.6 – Relatório de Avaliação Econômico-Financeira, conforme previsto no escopo contratual.

As estimativas de custo apresentadas neste estudo foram elaboradas com base em uma abordagem comparativa e analítica, utilizando dados de referência extraídos de projetos já executados no Brasil e no exterior. Entre os casos nacionais, destacam-se os sistemas de VLT implementados no Rio de Janeiro (VLT Carioca), em Santos e São Vicente (VLT da Baixada Santista), e em Cuiabá-Várzea Grande. Esses exemplos permitem a aferição de parâmetros realistas de custo por quilômetro e de composição orçamentária, incluindo atualizações monetárias com base em índices como o IGP-M. No cenário internacional, foram consultados estudos consolidados por instituições especializadas, como o *Manhattan Institute*, a *UITP (Union Internationale des Transports Publics)*, o *ITDP (Institute for Transportation and Development Policy)* e a *APTA (American Public Transportation Association)*, os quais contribuíram para o balizamento de custos e a identificação de variáveis estruturais comuns a sistemas similares.

123

Quadro 14 – Comparativo de Custos por Quilômetro (valores corrigidos – jan/2025).

Item	VLT Baixada Santista	VLT Cuiabá	VLT CARIOCA
Preço por km (R\$)	R\$ 27.000.000,00	R\$ 63.000.000,00	R\$ 43.000.000,00
Data do contrato	Jul/12	Jun/12	Jun/13
Índice IGPM (jan/25)	2,8468	2,87099	2,68498
Preço Unitário Corrigido (jan/25)	R\$ 76.863.600,00	R\$ 180.872.370,00	R\$ 115.454.140,00



Além das referências externas, foram considerados os orçamentos técnicos preliminares contratados ou elaborados pela SPUrbanismo no âmbito da Prefeitura de São Paulo. Esses documentos refletem as especificidades do contexto urbano local e incorporam elementos técnicos compatíveis com a complexidade de obras em áreas centrais densamente edificadas, com elevada incidência de interferências subterrâneas e sobreposição de redes de infraestrutura.

A variação dos custos de implantação está diretamente relacionada a uma série de condicionantes técnicas. Entre elas, destaca-se a configuração do traçado, que pode ser segregado — com infraestrutura exclusiva para o VLT — ou compartilhado com o tráfego veicular existente, exigindo adaptações significativas na malha viária. Também impactam os custos as condições geotécnicas do solo, que, quando instáveis ou com presença de lençol freático elevado, demandam fundações específicas e soluções de engenharia mais complexas. A presença de obras de arte especiais, como viadutos, túneis e pontes, eleva consideravelmente os investimentos, tanto pelas exigências estruturais quanto pela necessidade de garantir acessibilidade universal por meio de rampas, elevadores ou passarelas.

124

Outro fator de peso é a densidade da ocupação urbana ao longo do traçado. Em áreas centrais como o centro de São Paulo, há intensa atividade comercial e restrição de espaço físico para a instalação de canteiros, o que implica em operações mais lentas e criteriosas, além do remanejamento de mobiliário urbano, interferências viárias e redes de serviço. Adicionalmente, os custos são afetados pelas exigências legais e ambientais do projeto, como a necessidade de licenciamento, medidas compensatórias, controle de impactos sonoros e visuais, e preservação de patrimônio histórico. Por fim, a dimensão da requalificação urbana e das exigências de acessibilidade universal exerce influência direta no CAPEX total, pois inclui a reforma e ampliação de calçadas, instalação de piso tátil, arborização, iluminação pública e mobiliário urbano adaptado.

Dessa forma, justifica-se a estimativa de faixa de custo entre R\$ 75 milhões e R\$ 180 milhões por quilômetro de VLT implantado em áreas urbanas densas, refletindo a diversidade de soluções de engenharia, o grau de interferência no tecido urbano e o padrão de urbanização proposto para integração plena do sistema ao espaço público.

4.1.1. Estimativa de Custo da Via Permanente

A via permanente do VLT Carioca, utilizada como principal referência para o presente estudo, teve seu custo estimado originalmente em R\$ 8,6 milhões por quilômetro. A correção monetária ocorre pelo Índice Geral de Preços – Mercado (IGP-M) até janeiro de 2025, com fator acumulado de atualização de 2,68498 e resulta em um valor corrigido de R\$ 23.090.828,00 por quilômetro.

Quadro 15 – Preço de implantação por km da Via Permanente.

Item	VLT CARIOCA
Preço por km (R\$)	R\$ 8.600.000,00
Data de contrato	Jun/13
Índice IGPM (jan/25)	2,68498
Preço Unitário Corrigido (jan/25)	R\$ 23.090.828,00

Esse valor contempla os principais elementos da superestrutura ferroviária leve, incluindo o fornecimento e instalação de trilhos de aço compatíveis com veículos de bitola métrica, dormentes de concreto ou poliméricos, sistemas de fixação elástica e barreiras de dilatação. Também estão inclusas as obras civis associadas à infraestrutura da via, como base e sub-base granulares, camada de concreto de suporte (em casos de via em placa), drenagem superficial e, quando necessário, o reforço da fundação nos segmentos com solo de baixa capacidade de carga.

No caso específico do VLT Carioca, o traçado atravessa áreas urbanas consolidadas e regiões portuárias com significativa presença de redes enterradas e estruturas antigas, o que demandou técnicas de escavação controlada, proteção de interferências existentes e readequações geométricas da via. Essas particularidades foram incorporadas à estrutura orçamentária do projeto, influenciando diretamente o custo final da via permanente.

Para fins de planejamento do VLT Centro, esse valor corrigido é adotado como referência básica por quilômetro implantado, considerando que o cenário urbano do centro de São Paulo apresenta desafios técnicos semelhantes aos enfrentados no projeto do Rio de Janeiro. A adoção desse parâmetro fornece um ponto de partida realista para o dimensionamento financeiro, que poderá ser ajustado conforme as especificidades do



traçado definitivo, as técnicas construtivas escolhidas e as soluções de fundação e pavimentação a serem adotadas.

4.1.2. Estimativa das Obras de Arte Especiais

O custo estimado para a implantação de um viaduto exclusivo para o sistema de VLT, com duas vias e extensão aproximada de 500 metros, apresenta significativa variação em função das características específicas do projeto. Entre os principais fatores que influenciam o valor final destacam-se o tipo de estrutura adotado — como vigas pré-moldadas de concreto ou tabuleiros metálicos —, as cargas por eixo suportadas, que em geral são superiores às de viadutos rodoviários convencionais, e a necessidade de fundações profundas, especialmente em áreas com solo de baixa capacidade de suporte.

Além disso, outros fatores relevantes incluem o grau de interferência urbana no entorno, a exigência de soluções arquitetônicas compatíveis com o ambiente construído, e os padrões de acessibilidade e acabamento exigidos pela legislação vigente.

Embora os custos definitivos estejam sendo consolidados no âmbito do projeto executivo contratado pela SPUrbanismo, estimativas preliminares indicam que o custo por metro linear de viadutos desse tipo pode variar entre R\$ 60 mil e R\$ 120 mil. Valores mais elevados ocorrem em cenários com alta complexidade geotécnica, exigências técnicas mais rigorosas ou inserção em áreas de preservação e patrimônio histórico.

Tomando como referência esse intervalo e as especificidades técnicas do traçado no centro de São Paulo, considera-se adequada, para fins de estimativa de CAPEX, a adoção de um custo médio de R\$ 100 mil por metro linear. Assim, para um viaduto com 500 metros de extensão, projeta-se um investimento da ordem de R\$ 50 milhões, valor compatível com padrões técnicos nacionais e internacionais para obras de infraestrutura de transporte de média capacidade em ambientes urbanos densos.

4.1.3. Estimativa de Custo das Paradas de Embarque e Desembarque

A estimativa de custo para a implantação do ponto de parada de VLT foi elaborada com base em composições de preços referenciais extraídas de bases públicas.



Os custos unitários foram baseados nas composições referenciais do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e SICRO (Sistema de Custos Referenciais de Obras), representando valores médios de mercado para obras públicas. Por se tratar de preços estimados e em fase inicial de projeto, admite-se que as cifras apresentem arredondamentos para que eventuais ajustes específicos sejam considerados nas etapas de projeto executivo e contratação.

Foi realizada uma composição de preço para 3 tipos de paradas: Parada Plataforma, Parada Abrigo e Parada Totem, considerando também a necessidade de reforma de uma Parada já existente.

Quadro 16 – Custo Estimado de uma Parada Plataforma.

Item	Unidade	Qtd. estimada	Preço Unitário Estimado	Subtotal Estimado
Obra Civil				
Fundação Rasa em Concreto Armado	m ²	138,6	R\$ 500,00	R\$ 69.300,00
Plataforma de Concreto Armado com Piso Tátil	m ²	138,6	R\$ 400,00	R\$ 55.440,00
Piso	m ²	138,6	R\$ 80,00	R\$ 11.088,00
Acessibilidade: rebaixamento e rampas	m ²	18,9	R\$ 300,00	R\$ 5.670,00
Estrutura Metálica de Cobertura	m ²	48	R\$ 1.200,00	R\$ 57.600,00
Sinalização de solo e pintura de faixa	M	44	R\$ 200,00	R\$ 8.800,00
Iluminação pública em LED	global	1	R\$ 6.000,00	R\$ 6.000,00
Iluminação no Chão	global	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Totem Informativo com LED	un.	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Painel Fotovoltaico	m ²	48	R\$ 480,00	R\$ 23.040,00
Mobiliário Urbano (Quiosque, Bebedouro, Nebulizador, Lixeira, Floreira, Banco de Madeira, Divisória de Vidro)	global	1	R\$ 65.000,00	R\$ 65.000,00
TOTAL INVESTIMENTO				R\$ 326.938,00

Quadro 17 – Custo Estimado de uma Parada Abrigo.

Item	Unidade	Qtd. estimada	Preço Unitário Estimado	Subtotal Estimado
Obra Civil				
Fundação Rasa em Concreto Armado	m ²	6	R\$ 500,00	R\$ 3.000,00
Plataforma de Concreto Armado com Piso Tátil	m ²	6	R\$ 400,00	R\$ 2.400,00
Piso	m ²	138,6	R\$ 80,00	R\$ 11.088,00
Acessibilidade: rebaixamento e rampas	m ²	18,9	R\$ 300,00	R\$ 5.670,00
Estrutura Metálica de Cobertura	m ²	20	R\$ 1.200,00	R\$ 24.000,00
Sinalização de solo e pintura de faixa	m	44	R\$ 200,00	R\$ 8.800,00
Iluminação pública em LED	global	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Iluminação no Chão	global	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Totem Informativo com LED	un.	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Painel Fotovoltaico	m ²	0	R\$ 480,00	R\$
Mobiliário Urbano (Quiosque, Bebedouro, Nebulizador, Lixeira, Floreira, Banco de Madeira, Divisória de Vidro)	global	1	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
TOTAL INVESTIMENTO				R\$ 101.458,00

128

Quadro 18 – Custo Estimado de uma Parada com Totem.

Item	Unidade	Qtd. estimada	Preço Unitário Estimado	Subtotal Estimado
Obra Civil				
Piso	m ²	94,5	R\$ 80,00	R\$ 7.560,00
Sinalização de solo e pintura de faixa	m	36	R\$ 200,00	R\$ 7.200,00
Iluminação no Chão	global	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Totem de Indicação	un.	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
TOTAL INVESTIMENTO				R\$ 34.760,00

Dessa forma, foram estimados os seguintes custos de implantação: R\$ 326.938,00 para a Parada Plataforma, R\$ 101.458,00 para a Parada Abrigo e R\$ 34.760,00 para a Parada com Totem. Sobre a reforma da Parada Existente, estipulou-se um valor global de R\$ 40.000,00. Ressalta-se que, embora as composições reflitam práticas e custos médios de mercado, eventuais ajustes finos poderão ser necessários na fase de projeto executivo, considerando particularidades construtivas, especificações técnicas definitivas e



condições locais de implantação. Assim, os valores apresentados servem como referência preliminar para o planejamento orçamentário e a definição da estratégia de implantação do sistema de paradas do VLT.

Sendo que é possível estimar que os totais dos custos com Paradas no Circuito Vermelho e no Circuito Azul são:

Quadro 19 – Custo Estimado de Paradas por Circuito e Total do Investimento.

	Unid.	Qtd.	Valor Unitário	Valor Subtotal
Circuito Azul				
Plataforma	un.	10	R\$ 326.938,00	R\$ 3.269.380,00
Abrigo	un.	9	R\$ 101.458,00	R\$ 913.122,00
Totem	un.	4	R\$ 34.760,00	R\$ 139.040,00
Parada existente	un.	1	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00
TOTAL - Circuito Azul				R\$ 4.361.542,00
Circuito Vermelho				
Plataforma	un.	7	R\$ 326.938,00	R\$ 2.288.566,00
Abrigo	un.	3	R\$ 101.458,00	R\$ 304.374,00
Totem	un.	3	R\$ 34.760,00	R\$ 104.280,00
Parada existente	un.	-	R\$ 40.000,00	R\$ -
TOTAL - Circuito Vermelho				R\$ 2.697.220,00
TOTAL INVESTIMENTO - PARADAS				R\$ 7.058.762,00

4.1.4. Estimativa de Custo do Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM)

Considerando que ainda não foram desenvolvidos os projetos executivos do Centro de Controle Operacional (CCO) e dos Pátios de Manutenção e Estacionamento do VLT Centro, e tendo em vista a existência de diversas particularidades técnicas e a elevada complexidade inerente a esses componentes, a elaboração de uma estimativa de custos precisa torna-se inviável neste momento. Diante desse cenário, optou-se por adotar como referência os valores estimados no Estudo da Futura Linha 14, realizado pelo Governo do Estado de São Paulo e o dimensionamento das áreas é baseado nos projetos do VLT Carioca e VLT de Santos.

Quadro 20 – Custo Estimado do CIOM.

Item	Unidade	Qtd. estimada	Preço Unitário Estimado	Subtotal Estimado
Obral Civil	m2	58800	R\$ 4.600,00	R\$ 270.480.000,00
Gerência de Operações	m2	2400		
Gerência Administrativa	m2	5300		
Gerência de Manutenção	m2	9300		
Pátio de Estacionamento e Instalações de Suporte	m2	31800		
Áreas Sobressalentes	m2	10000		
Via Permanente	km	2	R\$ 20.386.345,58	R\$ 40.772.691,16
Sistema de Alimentação Elétrica	global	1	R\$ 23.000.000,00	R\$ 23.000.000,00
Equipamentos	global	1	R\$ 15.000.000,00	R\$ 15.000.000,00
CCO	global	1	R\$ 43.650.000,10	R\$ 43.650.000,10
TOTAL INVESTIMENTO				R\$ 392.902.691,26

Dessa forma, os valores apresentados representam uma referência preliminar de investimento, a ser revisada e refinada oportunamente, conforme a evolução dos projetos executivos do Centro de Controle Operacional e dos Pátios do VLT Centro.

130

4.1.5. Estimativa de Custo da Requalificação Urbana do Entorno

A estimativa de custo para a requalificação urbana do entorno do empreendimento foi fornecida pela SP Urbanismo, a partir da estimativa orçamentária do anteprojeto, totalizando um valor R\$ 45.054.785,68 para o Circuito Azul e R\$ 27.093.064,13 para o Circuito Vermelho. Essa estimativa contempla diversos componentes relacionados à urbanização da área, incluindo vala técnica, interferências, sinalização urbana, paisagismo, ações de urbanismo e os custos com canteiro de obras e administração local, conforme detalhamento nos Quadros a seguir.



Quadro 21 – Estimativa Orçamentária Anteprojeto – Circuito Azul.

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	SUBTOTAL (R\$)
VLT					
VALA TÉCNICA					13.282.024,86
SERVIÇOS PRELIMINARES					
1	DEMOLIÇÃO DE CONCRETO SIMPLES	m³	837,12	207,58	173.768,75
2	DEMOLIÇÃO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO, INCLUSIVE CAPA, INCLUI CARGA NO CAMINHÃO	m²	4.605,97	21,73	100.087,73
3	CARGA E REMOÇÃO DE ENTULHO ATÉ A DISTÂNCIA MÉDIA DE IDA E VOLTA DE 1KM	m³	2.440,80	19,29	47.083,01
4	REMOÇÃO DE ENTULHO ALÉM DO PRIMEIRO KM	m³Xkm	24.407,99	1,65	40.273,18
5	Taxa de destinação de resíduo sólido em aterro, tipo inerte	T	5.125,68	39,90	204.514,55
BANCO DE DUTOS					
6	ESCAVAÇÃO MANUAL PARA FUNDAÇÕES E VALAS COM PROFUNDIDADE MÉDIA MAIOR QUE 1,5M E MENOR OU IGUAL À 3,0M	m³	14.536,05	84,36	1.226.261,21
7	APILOAMENTO MANUAL DE CAVA DE FUNDAÇÃO	m²	15.947,10	6,02	96.001,53
8	Eletroduto corrugado em polietileno de alta densidade, DN= 50 mm, com acessórios	m	47.525,40	10,73	509.947,54
9	Eletroduto corrugado em polietileno de alta densidade, DN= 100 mm, com acessórios	m	39.042,54	21,71	847.613,54
10	ENVOLVIMENTO DE TUBOS COM AREIA	m³	16.959,47	278,16	4.717.447,45
11	REATERRO DE VALAS, INCLUSIVE APILOAMENTO	m³	15.947,10	27,48	438.226,28
12	FITA DE ALERTA PARA REDE SUBTERRÂNEA	m	86.567,94	3,00	259.703,82
13	Caixa de passagem em chapa, com tampa parafusada, 150 x 150 x 80 mm	un	866,00	31,41	27.201,06
14	CARGA E REMOÇÃO DE TERRA ATÉ A DISTÂNCIA MÉDIA DE 1,0KM COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M3	m³	9.079,21	15,26	138.548,72
15	REMOÇÃO DE TERRA ALÉM DO PRIMEIRO KM COM CAMINHÃO DE 14 M3	m³Xkm	90.792,08	1,84	167.057,43
16	Taxa de destinação de resíduo sólido em aterro, tipo solo/terra	m³	9.079,21	30,55	277.369,81
RECONSTITUIÇÃO DO PASSEIO/PAVIMENTO					
17	PASSEIO DE CONCRETO FCK=15,0MPA, INCLUSIVE PREPARO DE CAIXA E LASTRO DE BRITA	m³	1.345,42	799,15	1.075.196,00
18	BASE DE BRITA GRADUADA	m³	1.383,00	246,70	341.185,23
19	IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE	m²	9.219,98	6,48	59.745,44
20	IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m²	9.219,98	15,69	144.661,43



ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	SUBTOTAL (R\$)
21	BASE DE BINDER ABERTO (SEM TRANSPORTE)	m³	1.331,87	1.056,71	1.407.398,70
22	REVESTIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO (SEM TRANSPORTE)	m³	665,93	1.475,72	982.732,45
SINALIZAÇÃO					2.778.408,32
SINALIZAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL					
23	SINALIZ.HOR.ACRILICA BASE AGUA	m²	481,50	27,81	13.392,83
24	SINALIZ.HOR. C/TERMOPLAST. HOT-SPRAY	m²	2.554,68	67,42	172.241,86
25	SINALIZ.HOR.C/TERMOPLAST EXTRUDADO	m²	9.454,89	84,04	794.631,14
26	TACHA MONODIRECIONAL REFLETIVO PLASTICO	un	3.834,00	22,28	85.427,20
27	TACHA BIDIRECIONAL REFLETIVO PLASTICO	un	390,00	26,44	10.313,33
28	Tachão tipo I monodirecional refletivo	un	1.366,00	81,76	111.684,16
29	Tachão tipo I bidirecional refletivo	un	441,00	83,24	36.708,84
30	FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE PLACA MOD. ALUMINIO GT+GT.	m²	61,90	1.294,78	80.146,74
31	COLOCACAO DE PLACA EM SUPORTE DE MADEIRA OU METALICO - SOLO	m²	61,90	68,68	4.251,38
32	Coluna simples (PP), diâmetro de 2 1/2" e comprimento de 3,6 m	un	17,00	1.298,23	22.069,91
33	Coluna (P-57) para fixação de placa de orientação, com braço projetado	un	44,00	6.077,43	267.406,92
SINALIZAÇÃO DESVIO DE TRÁFEGO					
34	FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE PLACA MOD. ALUMINIO GT+GT.	m²	686,32	1.294,78	888.631,88
35	COLOCACAO DE PLACA EM SUPORTE DE MADEIRA OU METALICO - SOLO	m²	686,32	68,68	47.137,47
36	SUPORTE MADEIRA TRATADA 0,10X0,10M	m	3.515,40	34,89	122.648,40
37	CONE PARA SINALIZAÇÃO, CONFORME NBR15071	un	847,00	121,11	102.583,55
38	CERQUITE PARA ISOLAMENTO	m	4.368,00	4,38	19.132,71
INTERFERÊNCIAS					7.741.069,71
39	REMANEJAMENTO - ELÉTRICA	m	3.885,14	150,00	582.771,00
40	REMANEJAMENTO - ÁGUA	m	2.621,95	250,00	655.487,50
41	REMANEJAMENTO - ESGOTO	m	4.801,39	250,00	1.200.347,50
42	REMANEJAMENTO - CET	m	2.155,93	200,00	431.186,00
43	REMANEJAMENTO - COMGÁS	m	2.740,08	200,00	548.016,00
44	REMANEJAMENTO - SPTRANS	m	6.144,40	150,00	921.660,00
45	REMANEJAMENTO - TELECOM	m	10.844,29	300,00	3.253.287,00
46	CORTE, RECORTE E REMOÇÃO DE ÁRVORES INCLUSIVE RAIZES DIÂM. > 15 E < 30CM	un	54,00	560,77	30.281,58
47	TRANSPLANTE DE ÁRVORES COM DIÂMETRO ATÉ 30CM	un	54,00	1.571,91	84.883,14
48	REMOÇÃO DE LUMINÁRIA EXTERNA INSTALADA EM BRAÇO DE FERRO	un	43,00	85,79	3.688,97



ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	SUBTOTAL (R\$)
49	RECOLOCAÇÃO DE LUMINÁRIA EXTERNA INSTALADA EM BRAÇO DE FERRO	un	43,00	114,39	4.918,77
50	REMOÇÃO DE POSTE DE CONCRETO EM REDE DE ENERGIA	un	25,00	285,96	7.149,00
51	RECOLOCAÇÃO DE POSTE DE CONCRETO EM REDE DE ENERGIA	un	25,00	695,73	17.393,25
PAISAGISMO					805.397,05
52	IPÊ ROSA (TABEBUIA AVELLANEDAE)	un	217,00	337,48	73.233,16
53	PALMEIRA IMPERIAL (ROY STONEAOLERACEA)	un	16,00	139,72	2.235,52
54	QUARESMEIRA (TIBOUCHINA GRANULOSA)	un	177,00	340,55	60.277,35
55	IPÊ VERDE (CYBYSTAX ANTISYPHILITICA)	un	-	256,17	0,00
56	FALSO BARBATIMÃO (CASSIA LEPTOPHYLLA)	un	-	291,23	0,00
57	SIBIPIRUNA (CAESALPINIA PELTOPHOROIDES)	un	-	361,42	0,00
58	ESPÉCIES VARIADAS	un	55,00	361,42	19.878,10
59	FORRAÇÃO PARA CANTEIROS	m²	20.893,02	31,10	649.772,92
URBANISMO					17.304.528,61
60	PISO PODOTÁTIL EM METILMETACRILATO	m²	4.490,88	220,00	987.993,60
61	PASSEIO DE CONCRETO FCK=15,0MPA, INCLUSIVE PREPARO DE CAIXA E LASTRO DE BRITA	m³	160,80	799,15	128.502,04
62	PASSEIO DE CONCRETO ARMADO, FCK=25MPA, INCLUINDO PREPARO DA CAIXA E LASTRO DE BRITA	m³	4,69	1.170,21	5.493,19
63	PASSEIO DE CONCRETO ARMADO, FCK=30MPA, INCLUINDO PREPARO DA CAIXA E LASTRO DE BRITA	m²	10.506,75	1.194,37	12.548.946,28
64	PISO DE CONCRETO PIGMENTADO, CONFORME MEMORIAL DESCRITIVO	m²	5.270,07	250,00	1.317.517,50
65	BANCO EM CONCRETO E MADEIRA, CONFORME MEMORIAL DESCRITIVO	m	388,00	1.650,00	640.200,00
66	LIXEIRA, CONFORME MEMORIAL DESCRITIVO	un	190,00	8.373,30	1.590.927,00
67	PARACICLO, CONFORME MEMORIAL DESCRITIVO	un	100,00	849,49	84.949,00
CANTEIRO DE OBRAS E ADMINISTRAÇÃO LOCAL					3.143.357,13
CANTEIRO DE OBRAS					
68	CANTEIRO DE OBRAS		2,50%	41.911.428,55	1.047.785,71
ADMINISTRAÇÃO LOCAL DAS OBRAS					
69	ADMINISTRAÇÃO LOCAL		5,00%	41.911.428,55	2.095.571,42
PREÇO TOTAL					45.054.785,68

Quadro 22 – Estimativa Orçamentária Anteprojeto – Circuito Vermelho.

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUAN T.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	SUBTOTAL (R\$)
	VLT				
VALA TÉCNICA					8.141.642,95
SERVIÇOS PRELIMINARES					
1	DEMOLIÇÃO DE CONCRETO SIMPLES	m³	642,14	207,58	133.295,62
2	DEMOLIÇÃO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO, INCLUSIVE CAPA, INCLUI CARGA NO CAMINHÃO	m²	5.516,83	21,73	119.880,81
3	CARGA E REMOÇÃO DE ENTULHO ATÉ A DISTÂNCIA MÉDIA DE IDA E VOLTA DE 1KM	m³	2.526,91	19,29	48.744,10
4	REMOÇÃO DE ENTULHO ALÉM DO PRIMEIRO KM	m³xkm	25.269,10	1,65	41.694,02
5	Taxa de destinação de resíduo sólido em aterro, tipo inerte	t	5.306,51	39,90	211.729,82
BANCO DE DUTOS					
6	ESCAVAÇÃO MANUAL PARA FUNDAÇÕES E VALAS COM PROFUNDIDADE MÉDIA MAIOR QUE 1,5M E MENOR OU IGUAL À 3,0M	m³	11.294,48	84,36	952.802,57
7	APILOAMENTO MANUAL DE CAVA DE FUNDAÇÃO	m²	11.182,26	6,02	67.317,20
8	Eletroduto corrugado em polietileno de alta densidade, DN= 50 mm, com acessórios	m	18.570,48	10,73	199.261,25
9	Eletroduto corrugado em polietileno de alta densidade, DN= 100 mm, com acessórios	m	45.261,60	21,71	982.629,33
10	ENVOLVIMENTO DE TUBOS COM AREIA	m³	6.758,75	278,16	1.880.014,38
11	REATERRO DE VALAS, INCLUSIVE APILOAMENTO	m³	11.182,26	27,48	307.288,50
12	FITA DE ALERTA PARA REDE SUBTERRÂNEA	m	63.832,08	3,00	191.496,24
13	Caixa de passagem em chapa, com tampa parafusada, 150 x 150 x 80 mm	un	639,00	31,41	20.070,99
14	CARGA E REMOÇÃO DE TERRA ATÉ A DISTÂNCIA MÉDIA DE 1,0KM COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M3	m³	7.345,15	15,26	112.086,98
15	REMOÇÃO DE TERRA ALÉM DO PRIMEIRO KM COM CAMINHÃO DE 14 M3	m³xkm	73.451,50	1,84	135.150,75
16	Taxa de destinação de resíduo sólido em aterro, tipo solo/terra	m³	7.345,15	30,55	224.394,31
reconstituição do passeio/pavimento					
17	PASSEIO DE CONCRETO FCK=15,0MPA, INCLUSIVE PREPARO DE CAIXA E LASTRO DE BRITA	m³	1.189,31	799,15	950.437,66
18	BASE DE BRITA GRADUADA	m³	785,36	246,70	193.747,31
19	IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE	m²	5.235,71	6,48	33.927,37
20	IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m²	5.235,71	15,69	82.148,23



ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUAN T.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	SUBTOTAL (R\$)
21	BASE DE BINDER ABERTO (SEM TRANSPORTE)	m³	698,51	1.056,71	738.122,75
22	REVESTIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO (SEM TRANSPORTE)	m³	349,26	1.475,72	515.402,76
SINALIZAÇÃO					2.073.907,69
sinalização horizontal e vertical					
23	SINALIZ.HOR.ACRILICA BASE AGUA	m²	1.530,35	27,81	42.566,40
24	SINALIZ.HOR. C/TERMOPLAST. HOT-SPRAY	m²	5.069,83	67,42	341.818,86
25	SINALIZ.HOR.C/TERMOPLAST EXTRUDADO	m²	5.309,09	84,04	446.199,85
26	TACHA MONODIRECIONAL REFLETIVO PLASTICO	un	1.686,00	22,28	37.566,57
27	TACHA BIDIRECIONAL REFLETIVO PLASTICO	un	276,00	26,44	7.298,66
28	Tachão tipo I monodirecional refletivo	un	1.150,00	81,76	94.024,00
29	Tachão tipo I bidirecional refletivo	un	10,00	83,24	832,40
30	FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE PLACA MOD. ALUMINIO GT+GT.	m²	57,00	1.294,78	73.802,33
31	COLOCACAO DE PLACA EM SUPORTE DE MADEIRA OU METALICO - SOLO	m²	57,00	68,68	3.914,84
32	Coluna simples (PP), diâmetro de 2 1/2' e comprimento de 3,6 m	un	35,00	1.298,23	45.438,05
33	Coluna (P-57) para fixação de placa de orientação, com braço projetado	un	46,00	6.077,43	279.561,78
SINALIZAÇÃO DESVIO DE TRÁFEGO					
34	FORNECIMENTO E TRANSPORTE DE PLACA MOD. ALUMINIO GT+GT.	m²	421,31	1.294,78	545.502,82
35	COLOCACAO DE PLACA EM SUPORTE DE MADEIRA OU METALICO - SOLO	m²	421,31	68,68	28.936,19
36	SUPORTE MADEIRA TRATADA 0,10X0,10M	m	2.003,20	34,89	69.889,42
37	CONE PARA SINALIZAÇÃO, CONFORME NBR15071	un	390,00	121,11	47.234,46
38	CERQUITE PARA ISOLAMENTO	m	2.128,00	4,38	9.321,06
INTERFERÊNCIAS					3.859.941,12
39	REMANEJAMENTO - ELÉTRICA	m	2.317,48	150,00	347.622,00
40	REMANEJAMENTO - ÁGUA	m	3.340,22	250,00	835.055,00
41	REMANEJAMENTO - ESGOTO	m	3.609,35	250,00	902.337,50
42	REMANEJAMENTO - CET	m	439,70	200,00	87.940,00
43	REMANEJAMENTO - COMGÁS	m	593,57	200,00	118.714,00
44	REMANEJAMENTO - TELECOM	m	5.131,72	300,00	1.539.516,00
45	CORTE, RECORTE E REMOÇÃO DE ÁRVORES INCLUSIVE RAIZES DIÂM. > 15 E < 30CM	un	12,00	560,77	6.729,24
46	TRANSPLANTE DE ÁRVORES COM DIÂMETRO ATÉ 30CM	un	12,00	1.571,91	18.862,92
47	REMOÇÃO DE LUMINÁRIA EXTERNA INSTALADA EM BRAÇO DE FERRO	un	6,00	85,79	514,74



ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUAN T.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	SUBTOTAL (R\$)
48	RECOLOCAÇÃO DE LUMINÁRIA EXTERNA INSTALADA EM BRAÇO DE FERRO	un	6,00	114,39	686,34
49	REMOÇÃO DE POSTE DE CONCRETO EM REDE DE ENERGIA	un	2,00	285,96	571,92
50	RECOLOCAÇÃO DE POSTE DE CONCRETO EM REDE DE ENERGIA	un	2,00	695,73	1.391,46
PAISAGISMO					488.595,87
51	IPÊ ROSA (TABEBUIA AVELLANEDAE)	un	-	337,48	0,00
52	PALMEIRA IMPERIAL (ROY STONEAOLERACEA)	un	16,00	139,72	2.235,52
53	QUARESMEIRA (TIBOUCHINA GRANULOSA)	un	-	340,55	0,00
54	IPÊ VERDE (CYBYSTAX ANTISYPHILITICA)	un	36,00	256,17	9.222,12
55	FALSO BARBATIMÃO (CASSIA LEPTOPHYLLA)	un	18,00	291,23	5.242,14
56	SIBIPIRUNA (CAESALPINIA PELTOPHOROIDES)	un	30,00	361,42	10.842,60
57	ESPÉCIES VARIADAS	un	402,00	361,42	145.290,84
58	FORRAÇÃO PARA CANTEIROS	m2	10.153,14	31,10	315.762,65
URBANISMO					10.638.762,74
59	PISO PODOTÁTIL EM METILMETACRILATO	m²	3.803,76	220,00	836.827,20
60	PASSEIO DE CONCRETO FCK=15,0MPA, INCLUSIVE PREPARO DE CAIXA E LASTRO DE BRITA	m³	177,76	799,15	142.054,18
61	PASSEIO DE CONCRETO ARMADO, FCK=25MPA, INCLUINDO PREPARO DA CAIXA E LASTRO DE BRITA	m³	25,10	1.170,21	29.373,79
62	PASSEIO DE CONCRETO ARMADO, FCK=30MPA, INCLUINDO PREPARO DA CAIXA E LASTRO DE BRITA	m³	5.810,89	1.194,37	6.940.355,67
63	PISO DE CONCRETO PIGMENTADO, CONFORME MEMORIAL DESCRITIVO	m²	2.140,35	250,00	535.087,50
64	BANCO EM CONCRETO E MADEIRA, CONFORME MEMORIAL DESCRITIVO	m	514,00	1.650,00	848.100,00
65	LIXEIRA, CONFORME MEMORIAL DESCRITIVO	un	150,00	8.373,30	1.255.995,00
66	PARACICLO, CONFORME MEMORIAL DESCRITIVO	un	60,00	849,49	50.969,40
CANTEIRO DE OBRAS E ADMINISTRAÇÃO LOCAL					1.890.213,76
CANTEIRO DE OBRAS					
67	CANTEIRO DE OBRAS		2,50%	25.202.850,37	630.071,25
ADMINISTRAÇÃO LOCAL DAS OBRAS					
68	ADMINISTRAÇÃO LOCAL		5,00%	25.202.850,37	1.260.142,51
PREÇO TOTAL					27.093.064,13

4.1.6. Estimativa de Custo do Material Rodante

A estimativa de custo do material rodante para sistemas de Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) é baseada em um conjunto de referências nacionais e internacionais, combinando dados obtidos por meio de contratos públicos, fabricantes do setor ferroviário e estudos de benchmarking de agências especializadas. Entre as principais fontes utilizadas destacam-se relatórios da *UITP (Union Internationale des Transports Publics)*, *ITDP (Institute for Transportation and Development Policy)*, *APTA (American Public Transportation Association)*, bem como diretrizes de financiamento e avaliação técnica do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e Banco Mundial, especialmente para projetos implementados na América Latina.

No contexto nacional, foram analisados os contratos firmados para o fornecimento de VLTs nos projetos da Baixada Santista, Cuiabá-Várzea Grande e Rio de Janeiro (VLT Carioca). Esses contratos permitiram a identificação de preços unitários de aquisição por composição, que foram atualizados para os valores de janeiro de 2025 a partir da aplicação de fatores de correção cambial compatíveis com as datas de compra e o perfil de indexação dos contratos originais.

Quadro 23 – Custos Estimados do Material Rodante – Referência Nacional

Item	VLT Baixada Santista	VLT Cuiabá	VLT CARIOCA
Fornecedor	Vossloh-TTrans	CAF	Alstom
Comprimento (metros)	45	46	45
Frota (unidades de VLT)	22	40	32
Data da compra	jul/12	jun/12	jun/13
Preço Contrato (R\$)	R\$ 209.716.628,31	R\$ 500.000.000,00	R\$ 411.925.000,00
Preço Unitário (R\$)	R\$ 9.532.574,01	R\$ 12.500.000,00	R\$ 12.872.656,25
Variação Câmbio (jan/25)	2,86	2,84	2,58
Preço Unitário Corrigido (jan/25)	R\$ 27.235.925,75	R\$ 35.539.215,69	R\$ 33.182.847,22

Com base na média dos valores corrigidos para o cenário brasileiro, estima-se um custo de referência de aproximadamente R\$ 33,2 milhões por unidade de VLT para o projeto do Centro de São Paulo. Essa estimativa é considerada adequada, uma vez que o sistema



proposto prevê veículos com tecnologia de alimentação sem catenária aérea — similar ao modelo adotado no VLT Carioca.

Para complementar essa análise, foram consideradas também estimativas internacionais de custo com base na tecnologia de tração adotada. O mercado global apresenta uma ampla faixa de preços, com valores crescentes conforme o nível de sofisticação tecnológica dos sistemas de alimentação embarcada.

Quadro 24 – Custos Estimados do Material Rodante – Referência Internacional

Tipo de Alimentação	Descrição Técnica	Custo Estimado por Unidade (em €)	Câmbio (R\$)
Alimentação por bateria	Bateria embarcada (geralmente LFP ou NMC)	€ 4.500.000,00	R\$ 29.655.000,00
APS (terceiro trilho embutido no solo)	Alimentation Par le Sol (CAF, Alstom)	€ 5.500.000,00	R\$ 36.245.000,00
Ultracapacitores (supercapacitores)	Carga rápida nas paradas	€ 5.000.000,00	R\$ 32.950.000,00
Hidrogênio (célula combustível)	Propulsão com célula a hidrogênio	€ 7.000.000,00	R\$ 46.130.000,00

Dentre as tecnologias analisadas, destacam-se os modelos sem catenária que são mais compatíveis com o traçado urbano do VLT Centro, sobretudo pela estética integrada ao ambiente histórico do centro paulistano. O custo médio internacional e conservador para essa solução é de aproximadamente R\$ 36,24 milhões por unidade, valor que será utilizado como base no dimensionamento do CAPEX do sistema, considerando sua adequação técnica e compatibilidade com o padrão de urbanização da área de implantação.

138

4.1.7. Estimativa de Custo da Alimentação Elétrica

O projeto de alimentação elétrica do VLT Centro de São Paulo está atualmente em fase de contratação pela SP Urbanismo. Somente com a conclusão deste projeto executivo serão definidos em detalhe as especificações técnicas dos equipamentos, o dimensionamento da infraestrutura, o arranjo das subestações e as estimativas de custo consolidadas.



Mas de forma estimada, prevê-se a implantação de duas subestações primárias, destinadas a garantir a alimentação elétrica do sistema com redundância. A adoção dessa configuração visa assegurar a continuidade da operação do VLT, permitindo que, em caso de falha de uma subestação, a outra mantenha a rede em funcionamento sem interrupções, o que é essencial para a confiabilidade e a segurança operacional.

Quanto às subestações retificadoras, também de forma preliminar, estima-se a necessidade de instalação de unidades ao longo do traçado a cada 1.200 metros, aproximadamente. Com base na extensão atual dos circuitos previstos, seriam necessárias oito subestações retificadoras para o Circuito Azul e quatro subestações para o Circuito Vermelho.

É importante destacar que os custos e a quantidade de subestações poderão variar consideravelmente em função das definições técnicas que serão estabelecidas no projeto executivo. Entre as principais variáveis que impactam o custo e o dimensionamento estão: a potência requerida para atendimento da demanda do sistema; a escolha das tecnologias de retificação, proteção e automação; a necessidade de redundância interna nos sistemas de alimentação; a complexidade das condições urbanas para implantação das unidades; as eventuais interferências com redes de infraestrutura existentes; as exigências ambientais e normativas específicas da área central da cidade; e os requisitos de integração estética e funcional com o ambiente urbano, em especial nas áreas tombadas ou de interesse histórico.

Para uma estimativa dos custos de implantação, foi utilizado os valores do Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) do VLT de Goiânia, contratado em outubro de 2013, pelo Governo do Estado de Goiás.

Quadro 25 – Custos Estimado do Sistema de Alimentação Elétrica.

Item	Alimentação de Alta Tensão Subestação Primária	Alimentação de Média Tensão Subestação Retificadora	Alimentação de Tração (R\$/km)
Preço (VLT Goiânia)	R\$ 20.000.000,00	R\$ 8.000.000,00	R\$ 2.000.000,00
Índice IGPM (jan/25)	2,6149	2,6149	2,6149
Preço Unitário Corrigido (jan/25)	R\$ 52.297.587,38	R\$ 20.919.034,95	R\$ 5.229.758,74



Considerando os preços registrados no estudo de Goiânia, é necessária a atualização monetária dos valores para assegurar a sua compatibilidade com o cenário de preços vigente. Para tanto, utilizou-se o IGP-M, acumulado no período entre outubro de 2013 e janeiro de 2025. A aplicação do índice, cujo fator de correção é de 2,6149, permite projetar os custos em valores atualizados, conferindo maior precisão à estimativa de investimento necessária para a implantação do sistema.

Sobre a Alimentação de Baixa tensão, considerando a dificuldade de quantificação e que o custo não é significativo para o custo do Sistema de Energia, foi estipulado uma verba de R\$ 300 mil por quilômetro de implantação do VLT do Centro.

4.1.8. Estimativa de Custo da Sinalização e Controle

Em função da dificuldade de obter informações exatas para calcular com mais precisão as grandezas de custo nesta etapa inicial do projeto, os valores apresentados foram extraídos das estimativas utilizadas nos estudos preliminares desenvolvidos pela SP Urbanismo. Essa abordagem visa fornecer uma referência de investimento para o planejamento e a tomada de decisão, reconhecendo que os valores serão objeto de revisão e detalhamento à medida que os projetos executivos forem elaborados.

140

4.1.9. Resumo da Estruturação do CAPEX

Todos os custos estimados para o sistema de VLT foram estruturados e consolidados na planilha de Estimativa de CAPEX, que reúne, de forma sistematizada, os investimentos previstos para os dois circuitos propostos — Azul e Vermelho. A estimativa abrange as principais frentes de investimento, incluindo estrutura física, urbanização, material rodante, energia e sistemas de controle, com base em dados extraídos de estudos preliminares, composições públicas (como SINAPI/SICRO) e valores de referência de projetos similares.

Diante da ausência de projetos executivos em algumas frentes — como pátios, centro de controle e parte dos sistemas —, determinadas estimativas foram elaboradas com base em parâmetros técnicos adotados por SP Urbanismo e em valores referenciais extraídos



de estudos como o da Linha 14, do VLT de Goiânia, do VLT de Santos e principalmente do VLT Carioca, devidamente atualizados.

O investimento total previsto para a implantação completa do sistema é da ordem de R\$ 3,192 bilhões, sendo R\$ 1,860 bilhão correspondente ao Circuito Azul e R\$ 1,332 bilhão ao Circuito Vermelho. Estes valores deverão ser refinados nas próximas fases do projeto, à medida que forem desenvolvidos os projetos executivos e definidas as soluções técnicas de engenharia, operação e integração urbana.

O BDI - Benefícios e Despesas Indiretas do projeto não está explicitado nesta fase, pois serão integralmente considerados e detalhados no Produto 4.1.6 – Relatório de Avaliação Econômico-Financeira, conforme previsto no escopo contratual.

A seguir, é apresentado um resumo da estruturação do CAPEX do VLT Centro:

Quadro 26 – Resumo CAPEX – Circuito Azul.

CIRCUITO AZUL				
Atividades	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valor Total
ESTRUTURA FÍSICA DO PROJETO				R\$ 451.472.561,79
Projeto	3	%	R\$ 1.806.151.763,61	R\$ 54.184.552,91
Via Permanente	12,9	km	R\$ 23.090.828,00	R\$ 297.871.681,20
Obra de Arte Especial	500	m	R\$ 100.000,00	R\$ 50.000.000,00
Paradas de Embarque e Desembarque				R\$ 4.361.542,00
Plataforma	10	un.	R\$ 326.938,00	R\$ 3.269.380,00
Abrigo	9	un.	R\$ 101.458,00	R\$ 913.122,00
Totem	4	un.	R\$ 34.760,00	R\$ 139.040,00
Parada Existente (Reforma)	1	un.	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00
Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM)	0	un.	R\$ 392.902.691,26	R\$ 0,00
Urbanização				R\$ 45.054.785,68
Vala Técnica	1	global	R\$ 13.282.024,86	R\$ 13.282.024,86
Interferências	1	global	R\$ 7.741.069,71	R\$ 7.741.069,71
Sinalização Urbana	1	global	R\$ 2.778.408,32	R\$ 2.778.408,32
Paisagismo	1	global	R\$ 805.397,05	R\$ 805.397,05
Urbanismo	1	global	R\$ 17.304.528,61	R\$ 17.304.528,61
Cant. de Obras e Adm. Local	1	global	R\$ 3.143.357,13	R\$ 3.143.357,13
MATERIAL RODANTE				R\$ 869.880.000,00
Bi-articulado - 44 metros	24	un.	R\$ 36.245.000,00	R\$ 869.880.000,00
ENERGIA				R\$ 290.983.754,73



Sistema de Alimentação de Alta Tensão	1	un.	R\$	52.297.587,38	R\$ 52.297.587,38
Sistema de Alimentação de Média Tensão	8	un.	R\$	20.919.034,95	R\$ 167.352.279,60
Sistema de Alimentação de Baixa Tensão	12,9	km	R\$	300.000,00	R\$ 3.870.000,00
Sistema de Alimentação de Tração	12,9	km	R\$	5.229.758,74	R\$ 67.463.887,75
SISTEMAS				R\$ 248.000.000,00	
Sistema de Controle Centralizado	1	global	R\$	32.000.000,00	R\$ 32.000.000,00
Sistema de Controle de Tráfego	1	global	R\$	26.000.000,00	R\$ 26.000.000,00
Sistema de Controle Semafórico	1	global	R\$	26.000.000,00	R\$ 26.000.000,00
Sistema de Telecomunicações	1	global	R\$	54.000.000,00	R\$ 54.000.000,00
Sistema de Bilhetagem, Controle e Arrecadação de Passageiros	1	global	R\$	110.000.000,00	R\$ 110.000.000,00
Total de Investimentos - Linha Azul				R\$ 1.860.336.316,51	

Quadro 27 – Resumo CAPEX – Circuito Vermelho.

CIRCUITO VERMELHO					
Atividades	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valor Total	
ESTRUTURA FÍSICA DO PROJETO				R\$	611.467.800,48
Projeto	3	%	R\$ 1.293.416.512,35	R\$	38.802.495,37
Via Permanente	6,3	km	R\$ 23.090.828,00	R\$	145.472.216,40
Obra de Arte Especial	0	m	R\$ 100.000,00	R\$	0,00
Paradas de Embarque e Desembarque				R\$	2.697.220,00
Plataforma	7	un.	R\$ 326.938,00	R\$	2.288.566,00
Abrigo	3	un.	R\$ 101.458,00	R\$	304.374,00
Totem	3	un.	R\$ 34.760,00	R\$	104.280,00
Parada Existente (Reforma)	0	un.	R\$ 40.000,00	R\$	0,00
Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM)	1	un.	R\$ 392.902.691,26	R\$	392.902.691,26
Urbanização				R\$	31.593.177,45
Vala Técnica	1	global	R\$ 9.993.358,26	R\$	9.993.358,26
Interferências	1	global	R\$ 2.545.806,93	R\$	2.545.806,93
Sinalização Urbana	1	global	R\$ 2.545.806,93	R\$	2.545.806,93
Paisagismo	1	global	R\$ 599.711,21	R\$	599.711,21
Urbanismo	1	global	R\$ 13.060.085,38	R\$	13.060.085,38
Canteiro de Obras e Administração Local	1	global	R\$ 2.848.408,74	R\$	2.848.408,74
MATERIAL RODANTE				R\$	434.940.000,00
Bi-articulado - 44 metros	12	un.	R\$ 36.245.000,00	R\$	434.940.000,00



ENERGIA					R\$ 170.811.207,24
Sistema de Alimentação de Alta Tensão	1	un.	R\$	52.297.587,38	R\$ 52.297.587,38
Sistema de Alimentação de Média Tensão	4	un.	R\$	20.919.034,95	R\$ 83.676.139,80
Sistema de Alimentação de Baixa Tensão	6,3	km	R\$	300.000,00	R\$ 1.890.000,00
Sistema de Alimentação de Tração	6,3	km	R\$	5.229.758,74	R\$ 32.947.480,06
SISTEMAS					R\$ 115.000.000,00
Sistema de Controle Centralizado	1	global	R\$	18.000.000,00	R\$ 18.000.000,00
Sistema de Controle de Tráfego	1	global	R\$	12.000.000,00	R\$ 12.000.000,00
Sistema de Controle Semafórico	1	global	R\$	12.000.000,00	R\$ 12.000.000,00
Sistema de Telecomunicações	1	global	R\$	18.000.000,00	R\$ 18.000.000,00
Sistema de Bilhetagem, Controle e Arrecadação de Passageiros	1	global	R\$	55.000.000,00	R\$ 55.000.000,00
Total de Investimentos - Linha Vermelha					R\$ 1.332.219.007,72
Total de Investimentos - Linha Azul					R\$ 1.903.438.773,15
Total de Investimentos - Linha Vermelha					R\$ 1.332.219.007,72
TOTAL DE INVESTIMENTOS					R\$ 3.192.555.324,24

4.2. ESTRUTURA DO OPEX

Os custos operacionais do sistema VLT Centro de São Paulo foram dimensionados com base nos estudos de engenharia apresentados nos Produtos 4.1.3 - Plano de Negócios para Implantação, Construção, Manutenção, Conservação, Operação e Gestão e 4.1.4 - Projeto Operacional e Comercial para exploração dos serviços do Sistema (*business plan*), refletindo os parâmetros estimados definidos para o traçado urbano, características do material rodante, regime de operação com condutor (marcha à vista), plataformas de embarque, modelo de alimentação energética e estrutura administrativa do Centro Integrado de Operação e Manutenção (CIOM). O OPEX está estruturado nas seguintes categorias:

- Custos operacionais: inclui mão de obra, energia do material rodante e limpeza;
- Custos de manutenção: inclui mão de obra e manutenção de material rodante, sistemas, estações/pátios e via permanente;

- Despesas administrativas: inclui mão de obra, pesquisas de satisfação, gastos gerais e treinamentos;
- Outros custos operacionais: inclui verificador independente, serviços de auditoria de investimentos, serviços de saúde e segurança no trabalho e operação assistida.

4.2.1. Mão de Obra

O custo com pessoal foi estimado a partir do dimensionamento detalhado da mão de obra necessária para viabilizar a operação do VLT nas linhas Azul e Vermelha, considerando a frota de 21 VLTs na implantação e de 36 veículos 5 anos após a implantação, 37 estações, e a operação do CIOM. O dimensionamento seguiu a seguinte lógica:

- Funções relacionadas à frota (ex: condutores);
- Funções relacionadas a estações (ex: agentes de estação);
- Funções de manutenção do material rodante e sistemas fixos;
- Funções de limpeza e vigilância;
- Funções fixas do CCO e administração.

144

As escalas adotadas variaram conforme o tipo de função, respeitando a legislação trabalhista vigente e a necessidade de cobertura de turnos e folgas.

Quadro 28 – Custos Estimados de Mão de Obra.

		IMPLANTAÇÃO		5 ANOS PÓS-IMPLANTAÇÃO	
FUNÇÃO	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	QTD ESTIMADA	CUSTO POR MÊS (R\$/mês)	QTD ESTIMADA	CUSTO POR MÊS (R\$/mês)
OPERAÇÃO					
Condutores de VLT	4.708,68	84	395.529,12	144	678.049,92
Fiscalização	3.493,51	84	293.454,84	144	503.065,44
Agente de Estação	3.493,51	37	129.259,87	37	129.259,87
Operadores do CCO	4.708,68	8	37.669,44	8	37.669,44
Supervisores do CCO	9.757,56	4	39.030,24	4	39.030,24
MANUTENÇÃO					
Técnicos – Material Rodante	5.737,50	16	91.800,00	16	91.800,00
Técnicos – Sistemas Fixos	5.737,50	10	57.375,00	10	57.375,00
Eletricistas / Eletrônicos	4.055,81	6	24.334,86	6	24.334,86
Mecânicos / Serralheiros	4.055,81	6	24.334,86	6	24.334,86
LIMPEZA + VIGILÂNCIA					



FUNÇÃO	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	IMPLANTAÇÃO		5 ANOS PÓS-IMPLANTAÇÃO	
		QTD ESTIMADA	CUSTO POR MÊS (R\$/mês)	QTD ESTIMADA	CUSTO POR MÊS (R\$/mês)
Agentes de Limpeza	2.206,74	20	44.134,80	20	44.134,80
Segurança Patrimonial	4.008,96	12	48.107,52	12	48.107,52
ADMINISTRATIVO					
Atendimento ao Usuário	3.453,12	6	20.718,72	6	20.718,72
Administrativos / RH / Suprimentos	6.882,11	10	68.821,10	10	68.821,10
Coordenação / Chefia Técnica	26.531,40	6	159.188,40	6	159.188,40

Fonte: Portal da Transparência, CPTM (set/2025)

Os valores apresentados referem-se exclusivamente às remunerações básicas estimadas por função, com base nas tabelas salariais publicadas no Portal da Transparência pela CPTM (set/2025). Os encargos sociais e benefícios trabalhistas não estão explicitados nesta fase, pois serão integralmente considerados e detalhados no Produto 4.1.6 – Relatório de Avaliação Econômico-Financeira, conforme previsto no escopo contratual.

No Produto 4.1.6, será apresentada a estrutura completa do Modelo OPEX, incluindo encargos legais (INSS, FGTS, provisões), benefícios (vale transporte, alimentação, assistência médica etc.) e demais componentes obrigatórios. A modelagem seguirá boas práticas de estruturação econômico-financeira aplicadas a concessões, com planilhas paramétricas fundamentadas e integradas à definição da tarifa de remuneração.

145

4.2.2. Energia de Tração

A estimativa de consumo de energia elétrica para tração foi desenvolvida com base em parâmetros técnicos do material rodante, premissas operacionais do sistema e projeções de circulação da frota.

As premissas técnicas foram definidas com base nos estudos operacionais desenvolvidos para o presente projeto, nas características preliminares da operação do VLT nas linhas Azul e Vermelha, em dados técnicos de sistemas comparáveis (como o VLT Carioca e o VLT de Santos), e nas boas práticas de modelagem de consumo energético para sistemas de transporte urbano de média capacidade:

- Dias de operação por ano: 364 dias;



- Consumo energético específico: 8,044 kWh/trem.km (*parâmetro técnico de referência com base em benchmarks operacionais*).

Para a frota de implantação:

Circuito Azul – Sentido Horário:

- Quantidade de VLTs em operação simultânea: até 6 veículos;
- Extensão total das linhas (ida e volta): 6,45 km;
- Número médio de viagens por VLT/dia: 31 viagens completas.

Circuito Azul – Sentido Anti-horário:

- Quantidade de VLTs em operação simultânea: até 6 veículos;
- Extensão total das linhas (ida e volta): 6,45 km;
- Número médio de viagens por VLT/dia: 30 viagens completas.

Circuito Vermelho:

- Quantidade de VLTs em operação simultânea: até 6 veículos;
- Extensão total das linhas (ida e volta): 6,3 km;
- Número médio de viagens por VLT/dia: 31 viagens completas.

146

Para a frota 5 anos pós-implantação:

Circuito Azul – Sentido Horário:

- Quantidade de VLTs em operação simultânea: até 10 veículos;
- Extensão total das linhas (ida e volta): 6,45 km;
- Número médio de viagens por VLT/dia: 34 viagens completas.

Circuito Azul – Sentido Anti-horário:

- Quantidade de VLTs em operação simultânea: até 10 veículos;
- Extensão total das linhas (ida e volta): 6,45 km;
- Número médio de viagens por VLT/dia: 32 viagens completas.

Circuito Vermelho:

- Quantidade de VLTs em operação simultânea: até 10 veículos;
- Extensão total das linhas (ida e volta): 6,3 km;
- Número médio de viagens por VLT/dia: 33 viagens completas.



A metodologia de cálculo adotada segue abordagem consagrada em estudos de mobilidade elétrica urbana, projetos de VLT e estruturação de concessões de transporte público. Trata-se de uma técnica consolidada em manuais do BNDES, estudos da WRI Brasil e publicações internacionais como as da UITP (*International Association of Public Transport*) e UIC (*Union Internationale des Chemins de fer*).

O princípio baseia-se na seguinte equação fundamental:

Consumo total (kWh)

$$= Qtd \text{ VLTs } \times \frac{\text{viagem}}{\text{dia}} \times \text{Dist por viagem (km)} \times \frac{\text{dia}}{\text{ano}} \times \text{Consumo específico } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{trem}} \cdot \text{km} \right)$$

Essa fórmula expressa o consumo total de energia de tração como o produto entre a quilometragem anual percorrida pela frota e o consumo energético específico por trem.km. O parâmetro de consumo específico (kWh/trem.km) reflete as condições de operação, o perfil urbano da linha e as características técnicas do material rodante.

Essa abordagem permite uma estimativa confiável da demanda energética anual para fins de planejamento de infraestrutura elétrica, projeção de custos operacionais (OPEX) e avaliação econômico-financeira do projeto. Está alinhada com as práticas empregadas em estudos de viabilidade de sistemas como o VLT Carioca (RJ), VLT de Santos (SP) e sistemas europeus similares.

Quadro 29 – Resumo da memória de cálculo.

PARÂMETRO	Circuito Azul sentido horário	Circuito Azul sentido anti- horário	Circuito Vermelho	UNIDADE
FROTA DE IMPLANTAÇÃO				
Número de VLTs em operação simultânea	6	6	6	veículos
Número de viagens completas por VLT/dia	31	30	31	viagens
Extensão por viagem (ida + volta)	6,45	6,45	6,3	km
Dias de operação por ano	364	364	364	dias
Consumo específico	8,044	8,044	8,044	kWh/trem.km
Consumo energético anual estimado	3.536.975,63	3.362.070,24	3.386.213,18	kWh



Consumo anual total do sistema	10.285.259,05			kWh
FROTA 5 ANOS PÓS-IMPLANTAÇÃO				
Número de VLTs em operação simultânea	10	10	10	veículos
Número de viagens completas por VLT/dia	34	32	33	viagens
Extensão por viagem (ida + volta)	6,45	6,45	6,3	km
Dias de operação por ano	364	364	364	dias
Consumo específico	8,044	8,044	8,044	kWh/trem.km
Consumo energético anual estimado	6.454.607,42	6.106.754,33	6.167.8	kWh
Consumo anual total do sistema	18.729.231,99			kWh

Nota: O valor de 8,044 kWh/trem.km foi adotado como referência técnica com base em benchmarks de operação de VLTs em regime urbano, caracterizados por elevada densidade de paradas e retomadas, velocidade operacional média de 20 a 25 km/h e presença de frenagem regenerativa parcial. Esse parâmetro encontra respaldo em dados técnicos do VLT Carioca, do VLT de Santos e de operadores europeus que utilizam veículos de especificações semelhantes (baixo piso, 5 módulos, ~48 toneladas carregado).

A adoção de valor conservador evita subdimensionamento da demanda e assegura base sólida para os estudos de viabilidade econômico-financeira. O número poderá ser ajustado no anteprojeto e no projeto executivo, em função das especificações do fornecedor e da tecnologia de tração definida.

A tarifa de energia foi estimada inicialmente com base nos valores praticados no mercado cativo (Grupo A4 – média tensão, fornecimento convencional pela Enel-SP), com valor médio de R\$ 0,269/kWh. No entanto, para fins de modelagem econômica sob regime de concessão, considerou-se a migração ao mercado livre de energia (ambiente de contratação livre – ACL), com tarifa média de R\$ 0,513/kWh, conforme contratos típicos de fornecimento celebrados por operadoras metroferroviárias no Estado de São Paulo (referência: SIMISA, EDP).


Custo estimado anual de energia para a frota de implantação (mercado livre de energia):

$$10.285.259,05 \text{ kWh} \times R\$ 0,513 = R\$ 5.276.337,89$$

Custo estimado anual de energia para a frota 5 anos pós-implantação (mercado livre de energia):

$$18.729.231,99 \text{ kWh} \times R\$ 0,513 = R\$ 9.608.096,01$$

A seguir, são apresentadas algumas considerações complementares:

- 
- O valor estimado contempla exclusivamente o consumo de tração. O consumo das instalações fixas (estações, CIOM, subestações, sistemas auxiliares) será tratado em seção específica do relatório;
 - A estimativa será refinada na etapa de projeto executivo, conforme definição da tecnologia de alimentação de energia (catenária aérea, APS, bateria ou híbrido) e características finais do material rodante;
 - A abordagem adotada é compatível com boas práticas de estruturação de projetos de média capacidade, garantindo previsibilidade para o Modelo OPEX a ser detalhado no Produto 4.1.6 - Relatório de Avaliação Econômico-Financeira.

4.2.3. Demais Custos Operacionais

Os custos operacionais complementares à mão de obra direta e ao consumo de energia elétrica foram estimados com base em parâmetros de mercado e práticas observadas em sistemas de transporte de média capacidade, como o VLT da Baixada Santista, a CPTM e outras concessões ferroviárias. Esses custos foram categorizados de forma a refletir a estrutura de suporte necessária à operação segura, contínua e eficiente do sistema VLT, considerando o traçado urbano, o número de estações, as atividades de manutenção e a gestão integrada por meio do CIOM.

149

Os valores foram sistematizados na Planilha de Estimativa de OPEX, e detalham-se a seguir os principais componentes dos “Demais Custos Operacionais”:

- **Limpeza de estações e material rodante e segurança patrimonial:** estimada em R\$ 92.242,32/mês, contempla serviços de limpeza diária dos trens em operação, limpeza técnica nas janelas operacionais, além da higienização periódica das estações, oficinas e áreas administrativas e segurança patrimonial.
- **Manutenção corretiva e de apoio técnico:** os serviços de manutenção não recorrente, corretiva ou sob demanda, estão representados nos custos mensais com manutenção do material rodante (R\$ 64.365,22), sistemas fixos (R\$ 6.635,16), edificações e pátios (R\$ 15.070,89) e via permanente (R\$ 36.562,71), totalizando R\$ 122.634,00/mês.



- **Serviços administrativos, técnicos e operacionais complementares:** incluem desde treinamentos periódicos, gestão de insumos e suporte administrativo, até pesquisas de satisfação com usuários e despesas indiretas de operação. No item “gastos gerais”, destacam-se despesas com utilidades (energia elétrica predial, água e esgoto), materiais de consumo, serviços terceirizados de apoio (recepção, portaria, limpeza administrativa), seguros operacionais, sistemas de tecnologia da informação e telecomunicações, transporte de apoio e manutenção da frota auxiliar. Totalizam R\$ 1.486.462,86/mês, sendo R\$ 1.165.993,51 relacionados a gastos gerais.
- **Serviços especializados obrigatórios em concessões:** com foco em controle externo e qualidade, englobam a atuação de verificador independente (R\$ 224.419,70/mês), auditorias de investimentos (R\$ 137.554,10/mês), serviços de saúde e segurança do trabalho (R\$ 75.313,05/mês) e período de operação assistida (R\$ 142.423,97/mês), totalizando R\$ 579.710,81/mês.

Todos esses custos foram projetados com base em benchmarks operacionais e contratuais aplicáveis e serão refinados nas próximas etapas, especialmente durante a modelagem econômico-financeira (Produto 4.1.6 – Relatório de Avaliação Econômico-Financeira), onde serão validados com dados mais precisos e vinculados à definição de metas contratuais de desempenho, mecanismos de reequilíbrio e indicadores de viabilidade do projeto.

150

4.2.4. Resumo da Estruturação do OPEX

Todos os custos estimados para o sistema de VLT foram estruturados e consolidados na planilha de Estimativa de OPEX, que reúne, de forma sistematizada, os custos de operação considerando os dois circuitos propostos — Azul e Vermelho.

O custo mensal previsto para a operação do sistema é da ordem de R\$ 4,84 milhões no início da operação e de 6,04 milhões a partir do 5º ano pós-implantação, com base nas estimativas atualmente disponíveis. Ressalta-se, no entanto, que esses valores serão aprofundados e refinados na elaboração do Produto 4.1.6 – Relatório de Avaliação Econômico-Financeira, especialmente com a inclusão integral de encargos sociais,



benefícios trabalhistas e parâmetros finais do modelo de concessão, conforme evolução dos projetos executivos e definição das soluções técnicas de engenharia, operação e integração urbana.

Quadro 30 – Planilha resumo de OPEX.

Item	Descrição	Custo por mês (R\$)	
		Implantação	5 anos pós-implantação
1	Custos Operacionais	1.426.880,65	2.279.991,90
1.1	Mão de Obra (Salários)	894.943,51	1.387.074,91
1.2	Energia Material Rodante	439.694,82	800.674,67
1.3	Limpeza (Material Rodante + Estações)	92.242,32	92.242,32
2	Custos de Manutenção	320.478,70	320.478,70
2.1	Mão de Obra (Salários)	197.844,72	197.844,72
2.2	Manutenção Material Rodante	64.365,22	64.365,22
2.3	Manutenção de Sistemas	6.635,16	6.635,16
2.4	Manutenção Estações/Pátios (civil)	15.070,89	15.070,89
2.5	Manutenção Via Permanente	36.562,71	36.562,71
3	Despesas Administrativas	1.486.462,86	1.486.462,86
3.1	Mão de Obra (Salários) - Administração	248.728,22	248.728,22
3.2	Pesquisas de Satisfação	5.938,50	5.938,50
3.3	Gastos Gerais	1.165.993,51	1.165.993,51
3.4	Treinamentos	65.802,63	65.802,63
4	Encargos Sociais	955.273,63	1.377.748,32
4.1	Encargos Sociais sobre Mão de Obra	955.273,63	1.377.748,32
5	Outros Custos Operacionais	579.710,81	579.710,82
5.1	Verificador Independente	224.419,70	224.419,70
5.2	Serviços de Auditoria de Investimentos	137.554,10	137.554,10
5.3	Serviço de Saúde e Segurança no Trabalho	75.313,05	75.313,05
5.4	Operação Assistida	142.423,97	142.423,97
OPEX		4.839.219,11	6.044.392,59

Dessa forma, o detalhamento do OPEX contribui diretamente para a avaliação da viabilidade do projeto, oferecendo base técnica à formulação do modelo econômico-financeiro e contribuindo para a definição de metas de desempenho, limites contratuais e mecanismos de reequilíbrio.



5. MODELAGEM FINANCEIRA

Este capítulo apresenta os fundamentos econômico-financeiros que estruturam a concessão patrocinada do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) do centro de São Paulo. Seu objetivo principal é consolidar as premissas operacionais, jurídicas e financeiras que orientam o modelo de remuneração, a estrutura de financiamento e os riscos alocados entre o poder público e o parceiro privado.

A estruturação deste capítulo também se fundamenta na abordagem de Value for Money (VfM), instrumento amplamente adotado em projetos de concessão e parcerias público-privadas para demonstrar a superioridade de uma alternativa contratual em relação à modelos públicos tradicionais. Neste produto iremos comparar dois cenários distintos de estruturação contratual e financeira, com base nas premissas operacionais, jurídicas e fiscais consolidadas nas etapas anteriores do projeto:

- **Cenário 1:** Concessão comum (remuneração exclusivamente tarifária), com cobertura integral dos investimentos e custos operacionais por meio da arrecadação tarifária.
- **Cenário 2:** Concessão patrocinada, com aporte público de 70% sobre os investimentos e remuneração da concessionária via contraprestações mensais por disponibilidade do serviço.

152

A comparação entre os cenários de concessão tarifária e concessão patrocinada com aporte público e pagamento por disponibilidade é fundamental para demonstrar a racionalidade da modelagem proposta. Simular uma hipótese de remuneração via tarifa técnica integral, mesmo que teoricamente improvável, permite explicitar os limites econômicos da autossustentação do projeto e fundamentar tecnicamente a necessidade de participação pública.

Além disso, essa abordagem comparativa fortalece a transparência e a robustez institucional da modelagem, fornecendo elementos objetivos para a tomada de decisão por parte do poder concedente e das instâncias de controle. Ao demonstrar que a tarifa necessária para equilibrar a concessão sem aportes seria significativamente superior à praticada no sistema público, e que a alternativa de PPP garante maior previsibilidade



contratual, controle de qualidade e modicidade tarifária, a comparação consolida a escolha do modelo mais eficiente sob a ótica do interesse público e da sustentabilidade financeira do sistema como um todo.

A análise orientada pelo VfM será aprofundada no Produto 4.1.6 – Relatório de Avaliação Econômico-Financeira, com base em fluxos de caixa projetados. Contudo, já neste estágio, é possível identificar que o modelo de concessão patrocinada, com pagamento por desempenho operacional e estrutura de financiamento baseada em aportes públicos, tende a apresentar maior eficiência alocativa, menor exposição fiscal futura e maior alinhamento com os objetivos de qualidade e continuidade do serviço. O foco na previsibilidade contratual e na responsabilização técnica do concessionário reforça o compromisso com a entrega de valor público mensurável ao longo de toda a vigência da concessão.

Embora a arrecadação tarifária do sistema de VLT esteja prevista para compor a conta do Bilhete Único municipal — garantindo a integração plena entre modos e operadores — a adoção do modelo de pagamento por disponibilidade justifica-se pela baixa capacidade de geração de receita própria do sistema, frente à sua função estrutural no território. O VLT no centro de São Paulo tem como principal papel redistribuir os fluxos de passageiros, promover a redução do número de automóveis no miolo central e assegurar conectividade entre os diversos modos e redes, sem necessariamente ser um vetor de captação de grandes volumes de passageiros pagantes. Dessa forma, sua viabilidade econômico-financeira, atrelada à performance técnica e à disponibilidade dos serviços, é mais bem garantida por meio de remuneração desvinculada da demanda, permitindo que o sistema atue com eficiência em seu papel de infraestrutura integradora e qualificada, mesmo em trechos ou períodos de menor densidade de embarques.

5.1. ESTRUTURA DOS CUSTOS DO PROJETO

A estrutura de custos do projeto do VLT do centro de São Paulo é composta por dois blocos que estão detalhados neste produto e no Produto 4.1.4 - Projeto Operacional e Comercial para exploração dos serviços do Sistema (*business plan*): os investimentos



necessários para implantação do sistema (CAPEX) e os custos operacionais e administrativos ao longo do período de concessão (OPEX).

O investimento total estimado para implantação do sistema é de **R\$ 4,20 bilhões**, abrangendo as duas linhas previstas (Azul e Vermelha). A Linha Azul representa 58% do total, com aproximadamente **R\$ 2,43 bilhões**, enquanto a Linha Vermelha representa os 42% restantes, com **R\$ 1,76 bilhão**. Os principais componentes incluem aquisição de material rodante, infraestrutura de via, obras civis, sistemas de energia e operação, requalificação urbana e projetos. A distribuição anual dos investimentos foi projetada ao longo dos primeiros cinco anos da concessão, com picos de desembolso nos anos 2 e 3, conforme cronograma físico-financeiro do projeto.

Estes valores são definidos a partir da delimitação do BDI – Benefícios e Despesas Indiretas em 32.7%, seguindo a metodologia nacional utilizada pelo DNIT e descrita no item 5.4 do Produto 4.1.6 – Relatório de Avaliação Econômico-Financeira.

Quadro 31 – Estrutura de Custo (BDI-DNIT)

DESCRIÇÃO	TOTAL (R\$)	ANO 01 (R\$)	ANO 02 (R\$)	ANO 03 (R\$)	ANO 04 (R\$)	ANO 05 (R\$)
Investimentos	4.238.494.399,38	325.553.276,83	1.149.167.974,89	1.284.138.709,10	622.870.905,61	134.970.734,21
Linha Azul	2.469.816.262,43	206.671.051,76	R\$ 595.728.534,39	R\$ 683.034.379,37	R\$ 415.881.252,78	87.305.844,98
Material Rodante	869.880.000,00	101.486.000,00	152.229.000,00	202.972.000,00	-	50.743.000,00
Infraestrutura de Via	347.871.681,20	-	115.957.227,07	115.957.227,07	115.957.227,07	-
Estação e Obra Civil	4.361.542,00	-	872.308,40	872.308,40	2.616.925,20	-
Centro de Controle e Manutenção	-	-	-	-	-	-
Energia e Sistemas de Operação	538.983.754,73	-	179.661.251,58	179.661.251,58	179.661.251,58	-
Projeto e Licenciamento	54.184.552,91	54.184.552,91	-	-	-	-
Obras de Qualificação Urbana	45.054.785,68	-	-	15.018.261,89	15.018.261,89	15.018.261,89
BDI	609.479.945,92	51.000.498,85	147.008.747,35	168.553.330,44	102.627.587,04	21.544.583,09
Linha Vermelha	1.768.678.136,95	118.882.225,07	R\$ 553.439.440,50	R\$ 601.104.329,73	R\$ 206.989.652,84	47.664.889,23
Material Rodante	434.940.000,00	50.743.000,00	76.114.500,00	101.486.000,00	-	25.371.500,00
Infraestrutura de Via	145.472.216,40	-	48.490.738,80	48.490.738,80	48.490.738,80	-
Estação e Obra Civil	2.697.220,00	-	539.444,00	539.444,00	1.618.332,00	-
Centro de Controle e Manutenção	392.902.691,26	-	196.451.345,63	196.451.345,63	-	-
Energia e Sistemas de Operação	285.811.207,24	-	95.270.402,41	95.270.402,41	95.270.402,41	-
Projeto e Licenciamento	38.802.495,37	38.802.495,37	-	-	-	-



Obras de Qualificação Urbana	31.593.177,45	-	-	10.531.059,15	10.531.059,15	10.531.059,15
BDI	436.459.129,23	29.336.729,70	136.573.009,66	148.335.339,74	51.079.120,47	11.762.330,08

Em contrapartida, a prefeitura de São Paulo utiliza um BDI diferente para majoração de seus projetos e investimentos, definida em 20,15%. Novamente, a seção 5.4 do Produto 4.1.6 – Relatório de Avaliação Econômico-Financeira descreve a definição metodológica deste cálculo. De modo a avaliar a viabilidade deste caso, ambos os cenários serão modelados tanto para os custos com a inclusão do BDI definido pelo DNIT (Cenários 1 e 2), quanto para o BDI definido pela PMSP (Cenários 3 e 4). Abaixo, inclui-se a estrutura de custo atualizado com a incidência do BDI-PMSP.

Quadro 32 – Estrutura de Custo (BDI-PMSP)

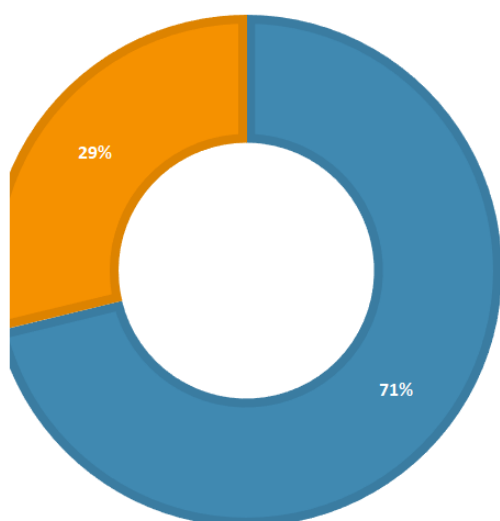
DESCRIÇÃO	TOTAL (R\$)	ANO 01 (R\$)	ANO 02 (R\$)	ANO 03 (R\$)	ANO 04 (R\$)	ANO 05 (R\$)
Investimentos	3.818.536.805,61	294.627.082,01	1.040.001.840,79	1.162.150.921,77	563.700.784,02	122.149.080,98
Linha Azul	2.225.179.035,33	187.038.169,32	539.136.824,13	618.148.980,30	376.374.279,38	79.012.156,16
Material Rodante	869.880.000,00	101.486.000,00	152.229.000,00	202.972.000,00	-	50.743.000,00
Infraestrutura de Via	347.871.681,20	-	115.957.227,07	115.957.227,07	115.957.227,07	-
Estação e Obra Civil	4.361.542,00	-	872.308,40	872.308,40	2.616.925,20	-
Centro de Controle e Manutenção	-	-	-	-	-	-
Energia e Sistemas de Operação	538.983.754,73	-	179.661.251,58	179.661.251,58	179.661.251,58	-
Projeto e Licenciamento	54.184.552,91	54.184.552,91	-	-	-	-
Obras de Qualificação Urbana	45.054.785,68	-	-	15.018.261,89	15.018.261,89	15.018.261,89
BDI	364.842.718,82	31.367.616,41	90.417.037,09	103.667.931,36	63.120.613,65	13.250.894,27
Linha Vermelha	1.593.357.770,28	107.588.912,69	500.865.016,66	544.001.941,48	187.326.504,64	43.136.924,82
Material Rodante	434.940.000,00	50.743.000,00	76.114.500,00	101.486.000,00	-	25.371.500,00
Infraestrutura de Via	145.472.216,40	-	48.490.738,80	48.490.738,80	48.490.738,80	-
Estação e Obra Civil	2.697.220,00	-	539.444,00	539.444,00	1.618.332,00	-
Centro de Controle e Manutenção	392.902.691,26	-	196.451.345,63	196.451.345,63	-	-
Energia e Sistemas de Operação	285.811.207,24	-	95.270.402,41	95.270.402,41	95.270.402,41	-
Projeto e Licenciamento	38.802.495,37	38.802.495,37	-	-	-	-
Obras de Qualificação Urbana	31.593.177,45	-	-	10.531.059,15	10.531.059,15	10.531.059,15
BDI	261.138.762,56	18.043.417,32	83.998.585,82	91.232.951,48	31.415.972,27	7.234.365,67



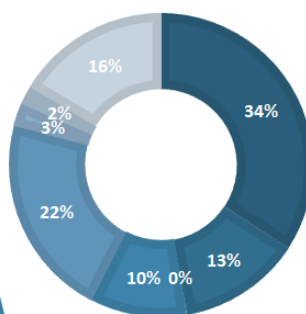
O investimento total estimado para implantação do sistema considerando este cenário é de **R\$ 3,80 bilhões**, abrangendo as duas linhas previstas (Azul e Vermelha). A Linha Azul representa 58% do total, com aproximadamente **R\$ 2,22 bilhões**, enquanto a Linha Vermelha representa os 42% restantes, com **R\$ 1,59 bilhão**. Os principais componentes incluem aquisição de material rodante, infraestrutura de via, obras civis, sistemas de energia e operação, requalificação urbana e projetos. A distribuição anual dos investimentos foi projetada utilizando o mesmo modelo, ao longo dos primeiros cinco anos da concessão, com picos de desembolso nos anos 2 e 3.

Em relação ao OPEX, as despesas operacionais e administrativas foram estimadas para três períodos da concessão: fase de implantação (anos 1 a 5) com valor de **R\$ 26.929.314,25** por ano, os primeiros 5 anos da fase de operação plena (anos 6 a 10) com valor de **R\$ 58.070.629,33** por ano e a fase de operação plena (anos 11 a 30) com valor de **R\$ 72.532.711,14**. As estimativas incluem custos de manutenção, despesas administrativas, encargos sociais e outros custos operacionais.

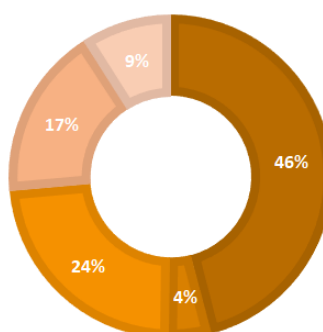
ESTRUTURA DA CONCESSÃO



CAPEX



OPEX



- Material Rodante
- Infraestrutura de Via
- Estação e Obra Civil
- Centro de Controle e Manutenção
- Energia e Sistemas de Operação
- Projeto e Licenciamento
- Obras de Qualificação Urbana
- BDI

- Custos Operacionais
- Custos de Manutenção
- Despesas Administrativas
- Encargos Sociais
- Outros Custos Operacionais



5.2. PARÂMETROS ECONÔMICOS E TRIBUTÁRIOS DA MODELAGEM

A estrutura econômico-financeira do projeto do VLT do centro de São Paulo adota um conjunto de premissas de mercado e parâmetros fiscais compatíveis com a realidade institucional brasileira e com a prática em concessões urbanas de infraestrutura. A definição destes parâmetros serve como base de consistência para as estimativas de custo (CAPEX e OPEX), bem como para o dimensionamento da futura remuneração da concessionária, a ser detalhada no Produto 4.1.6 - Relatório de Avaliação Econômico-Financeira.

Data-base dos estudos: Todos os valores de investimento e operação foram atualizados para **janeiro de 2025**, utilizando os seguintes índices:

- **INCC (FGV)** para obras e componentes civis;
- **IPCA (IBGE)** para serviços, manutenção e insumos operacionais.

Horizonte de concessão: A modelagem considera um contrato com vigência de **30 anos**, dos quais **5 anos correspondem à implantação e comissionamento** do sistema, seguidos de **25 anos de operação plena**.

157


Para fins de avaliação da atratividade do projeto do ponto de vista do parceiro privado, foi adotada uma **Taxa Interna de Retorno de 12% ao ano**, compatível com o perfil de risco de projetos de infraestrutura urbana no Brasil e com as práticas utilizadas em concessões ferroviárias recentes.

Tributação indireta:

- **PIS:** 0,65% sobre a receita bruta (Lei nº 10.637/2002)
- **COFINS:** 3,00% sobre a receita bruta (Lei nº 10.833/2003)
- **ISS:** Considerada **isenção total**, em conformidade com a prática adotada em projetos de transporte público de interesse municipal.

Tributação direta:

- **IRPJ (Imposto de Renda Pessoa Jurídica):** 15% sobre o lucro real, com adicional de 10% sobre o excedente anual de R\$ 240.000,00;
- **CSLL (Contribuição Social sobre o Lucro Líquido):** 9% sobre o lucro real;

- 
- A base de cálculo dos tributos diretos será composta conforme o regime do **Lucro Real**, com deduções permitidas por lei, incluindo depreciação de ativos conforme normas contábeis e regulatórias (IFRIC-12).

Depreciação contábil: Os ativos operacionais e sistemas embarcados serão depreciados ao longo da vigência da concessão, conforme normas da contabilidade pública e princípios da IFRIC-12, vinculando a depreciação ao uso e à entrega do serviço.

5.3. CENÁRIO 1: CONCESSÃO COMUM

Neste cenário, considera-se um modelo de concessão comum, em que a concessionária seria remunerada exclusivamente por meio da tarifa paga diretamente pelos usuários, sem aportes ou contraprestações públicas. A análise parte da premissa de que o sistema operaria com 80% de sua capacidade plena durante todo o dia, com uma taxa de renovação muito alta, resultando em uma média diária de 130 mil passageiros ao longo dos 25 anos de operação. Essa estimativa representa um volume conservadoramente alto, que dificilmente será alcançado devido à sazonalidade de uso e à variação horária natural dos sistemas de transporte, marcados por picos e vales de demanda.

Ainda assim, com base nos custos totais estimados do projeto — incluindo um CAPEX de R\$ 4,23 bilhões e um OPEX acumulado de R\$ 1.54 bilhões — foi calculada a tarifa técnica necessária para viabilizar financeiramente o contrato ao longo da concessão. O resultado indica que seria necessário cobrar um valor de aproximadamente R\$ 34,28 por passageiro para que a receita tarifária fosse suficiente para remunerar os investimentos, cobrir os custos operacionais e garantir a atratividade do projeto ao parceiro privado.

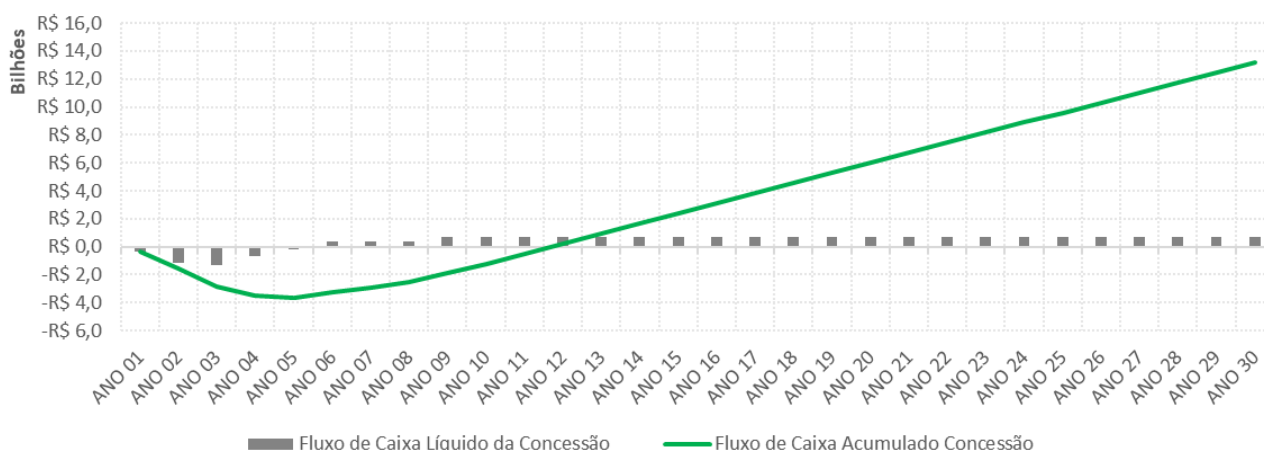
Esse valor representa sete vezes a tarifa pública atualmente praticada na cidade de São Paulo (R\$ 5,00), evidenciando a inviabilidade social e política da adoção de um modelo de concessão tarifária para este projeto. Nota-se que, mesmo neste cenário simplificado, não se considera a complexidade do sistema do Bilhete Único, nem a partilha da tarifa com outros operadores, o que agravaria ainda mais a equação financeira da concessão. Além disso, a dependência do volume de passageiros como base de receita introduz um



elevado grau de risco de demanda, incompatível com o perfil do VLT como infraestrutura de requalificação urbana e de integração sistêmica.

A simulação reforça, portanto, a inadequação do modelo de concessão comum para o VLT do centro de São Paulo, e sustenta tecnicamente a necessidade de adoção de um modelo alternativo, com participação pública e remuneração por disponibilidade, como será analisado no cenário seguinte.

Gráfico 1 - Fluxo de Caixa do projeto – cenário 1



5.4. CENÁRIO 2: CONCESSÃO PATROCINADA

Neste cenário, a estrutura proposta para a implantação, operação e manutenção do sistema de Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) do centro de São Paulo baseia-se em uma Concessão Patrocinada, conforme disposto na Lei Federal nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004, que institui normas gerais para licitação e contratação de parcerias público-privadas no âmbito da administração pública. Esse modelo permite a combinação de receitas provenientes da exploração do serviço com contraprestações públicas realizadas pelo poder concedente, garantindo viabilidade para empreendimentos de alta complexidade técnica e relevância urbana, mesmo quando a arrecadação direta junto aos usuários for insuficiente para sustentar financeiramente a operação.

A adoção da Concessão Patrocinada é justificada, neste caso, pelo papel estratégico do VLT como infraestrutura pública de reorganização dos fluxos urbanos, redução do uso do




transporte individual motorizado na área central e integração entre os diversos modos e sistemas de transporte coletivo. Ao contrário de outras linhas de metrô ou corredores de ônibus com elevado potencial de arrecadação, o VLT desempenhará uma função distributiva e integradora, reorganizando os deslocamentos intra-centro e facilitando conexões com as linhas metroferroviárias, terminais de ônibus e modos ativos, com menor densidade tarifária por embarque.

Ainda que a tarifa pública cobrada dos usuários seja mantida dentro da lógica do Bilhete Único Municipal, e que a arrecadação continue sendo centralizada pelo poder público por meio do sistema de bilhetagem gerenciado pela SPTrans, não haverá repasse dessa arrecadação à futura concessionária do VLT. Toda a remuneração contratual será estruturada sob a forma de pagamentos por disponibilidade do sistema, conforme autorizado pelos artigos 6º e 7º da Lei nº 11.079/2004, e regulado nos contratos administrativos mediante cláusulas que definem metas e indicadores de desempenho.

Esse modelo segue o padrão adotado pelo Governo do Estado de São Paulo em concessões ferroviárias recentes, como nas linhas da CPTM e, mais especificamente, na concessão do VLT da Linha 14 – Ônix, que também adota a lógica de remuneração por disponibilidade, integração tarifária via sistema público e forte articulação com objetivos de requalificação urbana. A similaridade institucional e técnica entre os modelos reforça a robustez da estrutura aqui proposta, e contribui para a replicabilidade e aceitação por operadores e financiadores já atuantes no setor de transporte sob trilhos. Este modelo será mais bem detalhado no Produto 4.1.4 - Projeto Operacional e Comercial para exploração dos serviços do Sistema (*business plan*), inclusive apresentando as componentes para essa remuneração.

Essa forma de remuneração busca garantir previsibilidade orçamentária, alinhamento de incentivos e foco na qualidade da operação. Os pagamentos periódicos à concessionária estarão atrelados à verificação de metas previamente estabelecidas em contrato, tais como:

- Disponibilidade técnica do material rodante (índice mínimo de veículos operacionais por dia),
- Regularidade e pontualidade do serviço prestado,

- 
- Manutenção adequada da infraestrutura física, sistemas e estações,
 - Cumprimento de protocolos de segurança e atendimento ao público.

O aporte público considerado equivale a **70% do investimento total elegível**, resultando em um desembolso de **R\$ 2.966.946.079**, distribuído ao longo dos cinco primeiros anos da concessão. A lógica de distribuição acompanha o cronograma físico-financeiro da implantação, com maior concentração nos anos 2 e 3, que somam juntos mais de 69% do total. Os 30% restantes seriam de responsabilidade da concessionária, financiados com capital próprio ou de terceiros.

A partir do início da operação plena, no ano 6, a concessionária passaria a receber uma **contraprestação mensal de R\$ R\$ 26.996.145,20**, correspondente à cobertura dos custos operacionais, amortização dos investimentos privados e margem de remuneração. Esse valor será corrigido anualmente por IPCA e estará condicionado à verificação de indicadores de desempenho vinculados à disponibilidade técnica do material rodante, à regularidade do serviço e à qualidade das instalações.

Para sustentar financeiramente o modelo proposto e garantir sua atratividade ao setor privado, propõe-se a criação de um Fundo Vinculado à Operação do Sistema, integrado à contabilidade pública municipal ou estadual. Esse fundo poderá ser abastecido com recursos provenientes de:

- Aportes diretos do Poder Público local,
- Transferências federais oriundas de programas como o Novo PAC,
- Financiamentos de bancos multilaterais de desenvolvimento (ex.: BID, CAF, BNDES),
- E eventualmente complementado por receitas acessórias do sistema (como concessões comerciais ou exploração de ativos não tarifários).

Este arranjo poderá incluir ainda uma Conta Garantia para assegurar a regularidade dos pagamentos mensais à concessionária, reduzindo o risco de inadimplemento e aumentando a bancabilidade do projeto. O uso de estruturas de garantias é prática comum em projetos com alta complexidade técnica e relevância urbana, e contribui para atrair



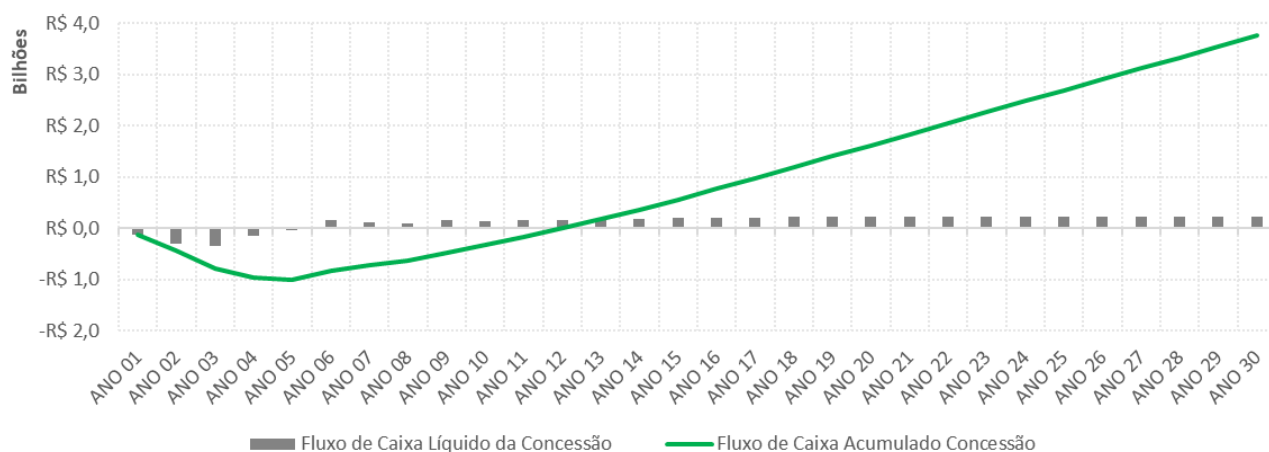
operadores qualificados e condições mais favoráveis de financiamento junto ao setor privado.

Conforme previsto na Lei nº 11.079/2004, artigo 9º, §1º, será exigida a constituição de uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) pela futura concessionária vencedora do certame. Esta SPE será responsável exclusiva pela execução do contrato, incluindo a implantação da infraestrutura, a aquisição dos sistemas, a operação do serviço e a manutenção dos ativos durante toda a vigência da concessão. A obrigatoriedade da SPE visa garantir maior controle institucional, contábil e fiscal sobre a concessão, assegurando a segregação patrimonial, a alocação precisa dos riscos e a governança contratual adequada.

Este modelo garante previsibilidade contratual e reduz significativamente o risco de demanda, transferindo à administração pública a responsabilidade sobre a arrecadação tarifária e permitindo que o VLT cumpra plenamente sua função redistributiva e integradora na rede de transporte. A análise completa do fluxo de caixa e dos indicadores será aprofundada no Produto 4.1.6 - Relatório de Avaliação Econômico-Financeira, mas os resultados preliminares já indicam a vantagem institucional e financeira do modelo de PPP frente à alternativa de concessão comum.

162

Gráfico 2 - Fluxo de Caixa do projeto – cenário 2





A modelagem jurídico-institucional detalhada será objeto de estudo específico nas próximas etapas de desenvolvimento do projeto. No entanto, do ponto de vista da estruturação financeira, a proposta apresentada para o VLT do centro de São Paulo está plenamente alinhada às exigências legais e normativas vigentes, em especial à Lei Federal nº 11.079/2004, e segue práticas consolidadas em concessões ferroviárias de média e alta capacidade no país. Simultaneamente, a estrutura proposta contribui para viabilizar os objetivos estratégicos do projeto, promovendo a requalificação urbana da região central, a integração entre os diversos modos de transporte e a oferta de um serviço de alta qualidade, operado com previsibilidade contratual e responsabilidade fiscal.

5.5. COMPARATIVO ENTRE CENÁRIOS

A análise comparativa entre os dois cenários de modelagem financeira evidência com clareza a inviabilidade econômica, social e institucional do modelo de concessão tarifária (cenário 1) e reforça a robustez e a viabilidade do modelo de Parceria Público-Privada patrocinada (cenário 2). Ainda que o cenário 1 tenha considerado uma ocupação média diária de 130 mil passageiros — um patamar elevado, difícil de sustentar continuamente ao longo da concessão — a tarifa técnica necessária para equilíbrio financeiro seria de R\$ 32, sete vezes maior que a tarifa pública vigente. Além disso, o risco de demanda, a complexidade do Bilhete Único e o volume de exposição fiscal tornam esse arranjo insustentável.

Já o cenário 2 permite a estruturação de um contrato estável, com aporte público escalonado durante a implantação (R\$ 2,96 bilhões, equivalente a 70% do CAPEX) e remuneração da concessionária por disponibilidade. O valor mensal projetado de R\$ 26 milhões garante a cobertura de custos, remuneração privada e previsibilidade orçamentária. A exposição máxima do poder público é reduzida para R\$ 999 milhõese o retorno ocorre no mesmo 13º ano da concessão, como no cenário 1, porém com menor risco e maior controle institucional. Essa comparação consolida tecnicamente a recomendação de adoção do modelo de PPP patrocinada como a alternativa mais adequada ao VLT do centro de São Paulo.

Tabela 1 - Comparativa de Cenários

Indicador	Cenário 1 Concessão Tarifária	Cenário 2 PPP
Modelo de remuneração	100% receita tarifária	Aporte + contraprestação mensal
Passageiros/dia (estimado)	130.000	130.000
Tarifa técnica necessária	R\$ 32,20	Não aplicável
Aporte público	R\$ 0,00	R\$ 2.966.946.079,60
Contraprestação mensal	Não aplicável	R\$ 26.996.145,20
Exposição máxima do poder público	R\$ 3.682.489.487	R\$ 999.335.410
Payback (retorno do investimento)	Ano 12	Ano 13
Risco de demanda	Totalmente alocado à concessionária	Totalmente alocado ao poder público
Atratividade institucional	Baixa	Alta

Os modelos de cálculo utilizados para a simulação dos dois cenários — incluindo projeções de fluxo de caixa, cronograma de aportes, estimativas de OPEX e estrutura de remuneração — estão disponibilizados em anexo a este relatório, de forma a garantir **transparência metodológica e rastreabilidade das premissas** adotadas. Esses modelos poderão ser refinados e aprofundados na fase de elaboração do Produto 4.1.6 - Relatório de Avaliação Econômico-Financeira.

164

5.6. CENÁRIO 3: CONCESSÃO COMUM

Este cenário retoma o modelo de concessão comum, já analisado anteriormente no cenário 1, mantendo as mesmas premissas contratuais e operacionais — ou seja, uma estrutura em que a concessionária é remunerada exclusivamente por meio da tarifa paga diretamente pelos usuários, sem aportes diretos ou contraprestações públicas. A diferença, neste caso, está na atualização dos custos com base no BDI municipal, que resultam em um CAPEX de **R\$ 3,81 bilhões** e um OPEX acumulado de **R\$ 1,54 bilhões** ao longo do período da concessão.

A partir desses parâmetros, foi recalculada a tarifa técnica necessária para viabilizar o equilíbrio econômico-financeiro do contrato. O resultado aponta para um valor de aproximadamente **R\$ 29,43** por passageiro — montante que representa mais de sete vezes a tarifa pública atualmente vigente em São Paulo (R\$ 5,00). Esse valor reforça a



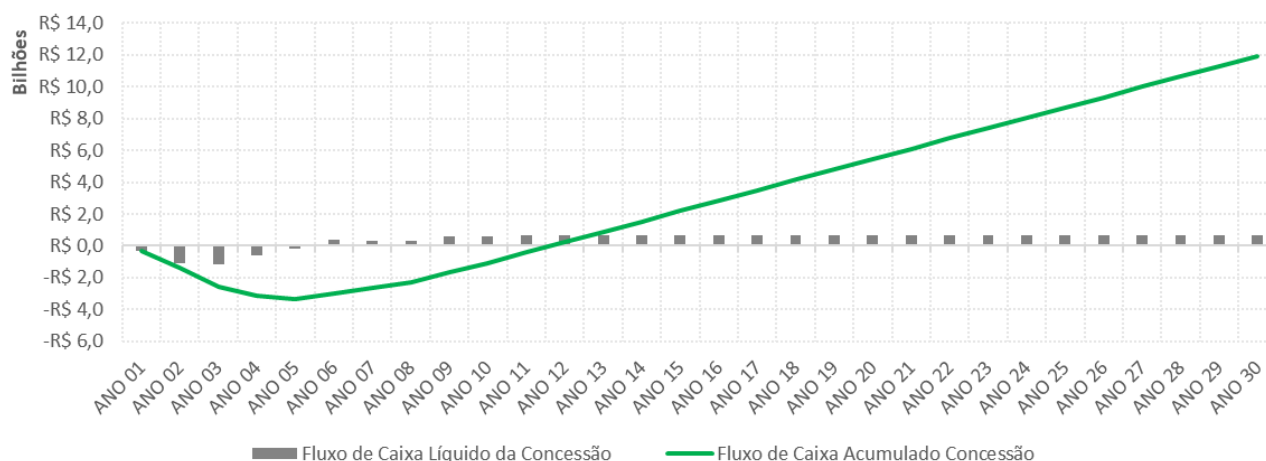
inviabilidade econômica, social e política de implementação de um modelo puramente tarifário para o VLT do centro da cidade.

Além disso, vale destacar que a simulação não contempla variáveis adicionais que agravariam ainda mais o cenário, como a complexidade do sistema do Bilhete Único e a necessidade de partilha da tarifa com outros operadores da rede de transporte. A dependência integral da demanda como fonte de receita impõe um risco elevado, incompatível com o perfil do VLT como infraestrutura de integração sistêmica e requalificação urbana.

Dessa forma, os resultados reafirmam o mesmo padrão observado no cenário 1: a inadequação do modelo de concessão tradicional para o projeto em questão. A simulação reforça, portanto, a recomendação técnica pela adoção de um modelo com participação pública e remuneração por disponibilidade, cujos benefícios serão retomados na análise do cenário 4.

Gráfico 3 - Fluxo de Caixa do projeto – cenário 3

165



5.7. CENÁRIO 4: CONCESSÃO PATROCINADA

O cenário 4, assim como sua versão anterior já analisada, adota o modelo de Parceria Público-Privada (PPP) patrocinada e mantém as mesmas premissas operacionais e



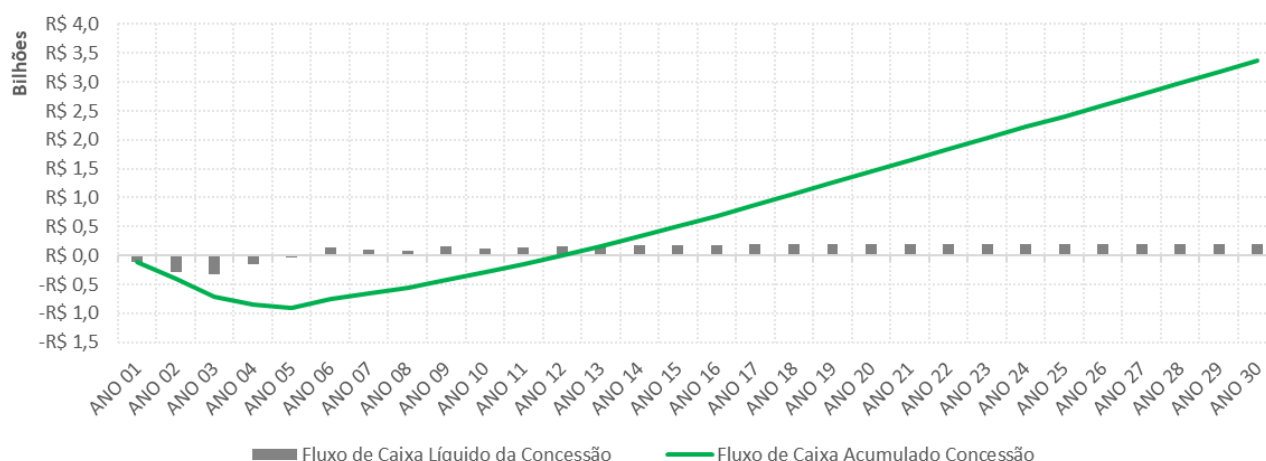
contratuais previamente estabelecidas, agora aplicadas a um novo patamar de custos de investimento. Neste caso, a modelagem é baseada nos valores obtidos a partir da aplicação do BDI-PMSP, resultando em um CAPEX de **R\$ 3,81 bilhões** e um OPEX acumulado de **R\$ 1,544 bilhões** ao longo do contrato.

Mantendo a lógica anterior, foi considerado um aporte público correspondente a 70% do investimento total elegível, o que representa um desembolso de **R\$ 2.672.975.763** por parte do poder público, distribuído ao longo dos cinco primeiros anos da concessão. Essa distribuição segue o cronograma físico-financeiro da implantação, com maior concentração nos anos 2 e 3, que juntos somam mais de 69% do total. Os 30% restantes do investimento seriam responsabilidade da concessionária, financiados com capital próprio ou recursos de terceiros.

A partir do início da operação plena, no ano 6, a concessionária passaria a receber uma contraprestação mensal de **R\$ 24.836.833,72**, destinada à cobertura dos custos operacionais, amortização dos investimentos privados e remuneração do parceiro privado. Esse valor será corrigido anualmente pelo IPCA e estará condicionado ao cumprimento de indicadores de desempenho relacionados à disponibilidade técnica do material rodante, à regularidade do serviço e à qualidade das instalações.

Tal como no cenário anterior, este modelo proporciona elevada previsibilidade contratual, reduz significativamente o risco de demanda — já que a arrecadação tarifária permanece sob responsabilidade do poder público — e fortalece o papel do VLT como instrumento redistributivo e integrador da rede de transporte. A análise completa do fluxo de caixa e dos indicadores será detalhada no Produto 4.1.6 - Relatório de Avaliação Econômico-Financeira, mas os resultados preliminares reiteram a superioridade institucional e financeira do modelo de PPP em relação à concessão tradicional.

Gráfico 4 - Fluxo de Caixa do projeto – cenário 4



5.8.COMPARATIVO ENTRE CENÁRIOS 3 e 4

A análise comparativa entre os cenários 3 e 4 — que correspondem, respectivamente, aos modelos de concessão tarifária e de Parceria Público-Privada (PPP) patrocinada já explorados nos cenários 1 e 2, mas com premissas atualizadas de CAPEX para incluir o BDI utilizado pela PMSP — reafirma o mesmo padrão observado anteriormente.

No cenário 3, mesmo considerando uma ocupação média diária elevada, de 130 mil passageiros — difícil de ser sustentada de forma contínua ao longo da concessão — a tarifa técnica necessária para garantir o equilíbrio financeiro se manteria alta em 31.50 reais, valor muito superior à tarifa pública vigente. Além da inadequação tarifária, o modelo apresenta elevada exposição fiscal, riscos de demanda acentuados e complexidade operacional relacionada à integração com o Bilhete Único, fatores que tornam esse arranjo insustentável.

Por outro lado, o cenário 4 confirma a viabilidade da estrutura de PPP patrocinada, com aporte público escalonado durante a implantação (R\$ 2,67bilhões, equivalentes a 70% do CAPEX) e remuneração da concessionária com base na disponibilidade do serviço. O valor mensal projetado de R\$ 24 milhões assegura a cobertura de custos, a remuneração do parceiro privado e a previsibilidade orçamentária para o setor público. A exposição máxima do poder público é limitada a R\$ 898 milhões, e o retorno ocorre no mesmo 12º



ano da concessão, como no cenário anterior, mas com menor risco e maior controle institucional.

Assim, os resultados dos cenários 3 e 4 reafirmam tecnicamente a recomendação da adoção do modelo de PPP patrocinada como a alternativa mais adequada para viabilizar o VLT no centro de São Paulo.

Tabela 2 - Comparativa de Cenários 3 e 4

Indicador	Cenário 3 Concessão Tarifária	Cenário 4 PPP
Modelo de remuneração	100% receita tarifária	Aporte + contraprestação mensal
Passageiros/dia (estimado)	130.000	130.000
Tarifa técnica necessária	R\$ 29,43	Não aplicável
Aporte público	R\$ 0,00	R\$ 2.672.975.763,9
Contraprestação mensal	Não aplicável	R\$ 24.836.833,7
Exposição máxima do poder público	-3.348.417.596	-898.593.330
Payback (retorno do investimento)	Ano 12	Ano 12
Risco de demanda	Totalmente alocado à concessionária	Totalmente alocado ao poder público
Atratividade institucional	Baixa	Alta

168

Assim como nos modelos anteriores, as planilhas de cálculo utilizados para a simulação dos dois cenários — incluindo projeções de fluxo de caixa, cronograma de aportes, estimativas de OPEX e estrutura de remuneração — estão disponibilizados em anexo a este relatório, de forma a garantir **transparência metodológica e rastreabilidade das premissas** adotadas.



ANEXO A – INTERVENÇÕES POR CIRCUITO

De acordo com as alternativas de circuito discriminadas na Etapa 3 – Desenvolvimento de Pesquisas de Campo da elaboração de Estudos Técnicos Urbanísticos elaborados como subsídio à implantação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), foi apresentada neste relatório uma consolidação permite uma visão comparativa facilitando a análise técnica e a tomada de decisão quanto à viabilidade e aos impactos de cada opção (Quadros 1 e 2). Este anexo apresenta de modo detalhado onde se localizam os trechos correspondentes a cada uma das intervenções listadas nestes quadros.

Opção 0 do Circuito Azul – Original

Com relação às intervenções de obras civis, o Quadro a seguir detalha as vias que compõem o circuito e a posição da locação do VLT no sentido horário da Opção 0 do Circuito Azul – Original.

Quadro 32 - Vias do VLT no sentido horário da Opção 0 do Circuito Azul – Original

Opção 0 do Circuito Azul – Original - SENTIDO HORÁRIO	Locação na pista (m)				Locação em área de pedestres e ciclistas (m)		Extensão total no trecho (m)
	Nome da via	Faixa de rolamento veicular	Estacionam. veicular	Faixa de ônibus preferencial	Via nova	Sobre calçada ou calçadão	
Praça da República (Av. Ipiranga)	220		90				310
Av. Ipiranga			110				110
Av. São João	150	45			15	60	270
Av. São João (calçadão)					170		170
Vale do Anhangabaú					200		200
Av. Prestes Maia	300						300
R. Carlos de Souza Nazaré	250	200					450
Av. Mercúrio	650						650
Rua da Figueira	200				100		300
Viaduto Novo (sobre rio)				500			500
Av. Rangel Pestana			250				250
Praça da Sé	100				350		450
Praça Dr. João Mendes			50				50



Opção 0 do Circuito Azul – Original - SENTIDO HORÁRIO	Locação na pista (m)				Locação em área de pedestres e ciclistas (m)		Extensão total no trecho (m)
Nome da via	Faixa de rolamento veicular	Estacionam. veicular	Faixa de ônibus preferencial	Via nova	Sobre calçada ou calçadão	Sobre ciclo faixa	
Viaduto Dona Paulina			250				250
Viaduto Jacareí			500				500
Viaduto Nove de Julho			300				300
Rua da Consolação			350				350
Av. Ipiranga (Rua Araújo - Consolação)			100				100
Av. Ipiranga (Rua Araújo - São Luís)	100	100					200
Total	1970	345	2000	500	835	60	5710

Fonte: Geométrica, 2024

Em seguida, o Quadro 33 detalha as vias que compõem o circuito e as intervenções de obra civil referentes a implantação do VLT no sentido anti-horário da Opção 0 do Circuito Azul – Original.

170

Quadro 33 - Vias do VLT no sentido anti-horário da Opção 0 do Circuito Azul – Original

Opção 0 do Circuito Azul – Original - SENTIDO ANTI-HORÁRIO	Locação na pista (m)				Locação em área de pedestres e ciclistas (m)		Extensão total no trecho (m)
Nome da via	Faixa de rolamento veicular	Estacion. veicular	Faixa de ônibus preferencial / exclusiva	Via nova	Sobre calçada ou calçadão	Sobre ciclo faixa	
Av. Ipiranga (Consolação - São Luís)			350				350
Rua da Consolação			350				350
Viaduto Nove de Julho			300				300
Viaduto Jacareí			500				500
Viaduto Dona Paulina			250				250
Praça Dr. João Mendes	100				150		250
Rua Anita Garibaldi			150				150
Av. Rangel Pestana			250				250
Viaduto Novo (sobre rio)				500			500
Rua da Figueira						300	300



Opção 0 do Circuito Azul – Original - SENTIDO ANTI-HORÁRIO	Locação na pista (m)				Locação em área de pedestres e ciclistas (m)		Extensão total no trecho (m)
Nome da via	Faixa de rolamento veicular	Estacion. veicular	Faixa de ônibus preferencial / exclusiva	Via nova	Sobre calçada ou calçadão	Sobre ciclo faixa	
Av. Mercúrio	350		300				650
Av. Senador Queiroz			450				450
Av. Prestes Maia	500						500
Vale do Anhangabaú					150		150
Av. São João (calçadão)					170		170
Largo do Paissandu					100		100
Av. São João						150	150
Av. Ipiranga			110				110
Praça da República	350	200					550
Total	1300	200	3010	500	570	450	6030

Fonte: Geométrica, 2024

Quanto aos aspectos relacionados às condições de circulação e segurança viária que estão propostas no projeto, como a previsão de mudança de mão de direção e a proposta a circulação do VLT no contrafluxo do sentido veicular, é indicado no Quadro 34 os trechos de intervenção no sentido horário no projeto da Opção 0 do Circuito Azul – Original. No sentido anti-horário não está prevista a circulação do VLT no contrafluxo e, também não está prevista mudança de direção do tráfego veicular.

Quadro 34 – Trechos indicados no sentido horário no projeto da Opção 0 do Circuito Azul – Original

Opção 0 do Circuito Azul – Original - SENTIDO HORÁRIO	Condições operacionais no trecho (m)		Extensão total no trecho (m)
Nome da via	Pista: contra fluxo	Propõe mudança na mão de direção da via	
Praça da República (Av. Ipiranga)	310		310
Av. Ipiranga	110		110
Av. São João	270		270
Av. São João (calçadão)			170
Vale do Anhangabaú			200
Av. Prestes Maia			300
R. Carlos de Souza Nazaré			450
Av. Mercúrio		650	650



Rua da Figueira		300	300
Viaduto Novo (sobre rio)			500
Av. Rangel Pestana			250
Praça da Sé			450
Praça Dr. João Mendes	50		50
Viaduto Dona Paulina	250		250
Viaduto Jacareí	500		500
Viaduto Nove de Julho	300		300
Rua da Consolação		350	350
Av. Ipiranga (Rua Araújo - Consolação)		100	100
Av. Ipiranga (Rua Araújo - São Luís)			200
Total	1790	1400	5710

Fonte: Geométrica, 2024

Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul

Quanto a Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul, são detalhadas as localizações das intervenções de obras civis do sentido horário no Quadro a seguir.

Quadro 35 – Vias do VLT no sentido horário da Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul

Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul - SENTIDO HORÁRIO	Locação na pista (m)				Locação em área de pedestres e ciclistas (m)		Extensão total no trecho (m)
	Faixa de rolamento veicular	Estacion. veicular	Faixa de ônibus preferenc./ exclusiva	Via nova	Sobre calçada ou calçadão	Sobre ciclofaixa	
Praça da República (Av. Ipiranga)	220		90				310
Av. Ipiranga			110				110
Av. São João	150	45			15	60	270
Av. São João (calçadão)					170		170
Vale do Anhangabaú					200		200
Av. Prestes Maia	300						300
R. Carlos de Souza Nazaré	250	200					450
Av. Mercúrio		50					50
Rua da Cantareira	100	400					500
Parque D. Pedro II	550						550
Av. Rangel Pestana			250				250
Praça da Sé					250		250

172

Rua Direita					300		300
Praça do Patriarca					100		100
Viaduto do Chá					250		250
Rua Cel. Xavier de Toledo					450		450
Av. São Luís			350				350
Total	1570	695	800		1735	60	4860

Fonte: Geométrica, 2024

O quadro a seguir detalha as vias que compõem o sentido anti-horário da Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul.

Quadro 36 – Vias do VLT no sentido anti-horário da Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul

Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul - SENTIDO ANTI-HORÁRIO	Locação na pista (m)				Locação em área de pedestres e ciclistas (m)		Extensão total no trecho (m)
	Faixa de rolamento veicular	Estacion. veicular	Faixa de ônibus preferenc. / exclusiva	Via nova	Sobre calçada ou calçamento	Sobre ciclofaixa	
Av. Ipiranga (Consolação - São Luís)			350				350
Rua da Consolação			350				350
Viaduto Nove de Julho			300				300
Viaduto Jacareí			500				500
Viaduto Dona Paulina			250				250
Praça Dr. João Mendes	100				150		250
Rua Anita Garibaldi			150				150
Av. Rangel Pestana			250				250
Viaduto Vinte e Cinco de Março	500						500
Rua da Figueira	150						150
Av. Mercúrio	600	50					650
Av. Senador Queiroz	450						450
Av. Prestes Maia	500						500
Vale do Anhangabaú					150		150
Av. São João (calçamento)					170		170
Largo do Paissandu					100		100
Av. São João						350	350
R. Pedro Américo	100		110				210
Praça da República	250	150					400
Total	2650	200	2260		570	350	6030

Fonte: Geométrica, 2024



Quanto aos aspectos relacionados às condições de circulação e segurança viária que estão propostas no projeto, a Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul propõe a circulação do VLT no contrafluxo do sentido veicular, nos trechos indicados no Quadro 37. No sentido anti-horário não está prevista a circulação do VLT no contrafluxo e, também não está prevista mudança de direção do tráfego veicular.

Quadro 37 - Trechos indicados no sentido horário no projeto da Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul

Opção 1 - Alternativa do Circuito Azul - SENTIDO HORÁRIO	Condições operacionais no trecho (m)		Extensão total no trecho (m)
	Nome da via	Pista: contrafluxo Propõe mudança na mão de direção da via	
	Praça da República (Av. Ipiranga)	310	310
	Av. Ipiranga	110	110
	Av. São João	270	270
	Av. São João (calçadão)		170
	Vale do Anhangabaú		200
	Av. Prestes Maia		300
	R. Carlos de Souza Nazaré		450
	Av. Mercúrio		50
	Rua da Cantareira		500
	Parque D. Pedro II		550
	Av. Rangel Pestana		250
	Praça da Sé		250
	Rua Direita		300
	Praça do Patriarca		100
	Viaduto do Chá		250
	Rua Cel. Xavier de Toledo	450	450
	Av. São Luís	350	350
	Total	1.490	0
			4860


Fonte: Geométrica, 2024

Circuito Vermelho

O Quadro a seguir detalha as vias que compõem o Circuito Vermelho e as intervenções que devem ser feitas com a implantação do VLT.

Quadro 38 - Vias que compõem o Circuito Vermelho

Circuito Vermelho	Locação na pista (m)	Locação em área de pedestres e ciclistas (m)	Extensão total no trecho (m)
-------------------	----------------------	--	------------------------------



Nome da via	Faixa de rolamento veicular	Estaciona-mento veicular	Faixa de ônibus preferencial / exclusiva	Sobre calçada ou calçadão	Sobre ciclo faixa	
Rua Mamoré		400				400
Rua Matarazzo					200	200
Rua Sólón		200				200
Rua do Areal		250				250
Rua José Paulino	100	900				1000
Viaduto General Couto de Magalhães				50		50
Rua Mauá		150				150
Av. Cásper Líbero	100	250		100		450
R. Antonio de Godoi	200					200
Av. São João	700				150	850
Av. Duque de Caxias	750					750
Rua Mauá	300					300
Viaduto General Couto de Magalhães				50		50
Rua José Paulino	80					80
Rua Prates	250	700				950
Total	2480	2850	0	200	350	5880

Fonte: Geométrica, 2024