

## MONOTRILHO: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E ESTUDO DOS BENEFÍCIOS E DIFICULDADES DA IMPLANTAÇÃO

Suzana Missaka Yoshida (IC) e Henrique Dinis (Orientador)

**Apoio: PIVIC Mackenzie**

### RESUMO

O objetivo deste artigo é discorrer sobre o sistema construtivo do monotrilho apresentando suas características técnicas, paralelamente à um estudo de seus benefícios sociais e eventuais complexidades de execução. Tal pesquisa se desenvolve através de consultas em revistas especializadas, artigos, normas técnicas e apresentações em eventos destinados aos temas de transporte e mobilidade urbana, além de reuniões com engenheiros do Metrô-SP. O escopo apresenta-se com um estudo comparativo entre as duas linhas em questão, a 15-Prata e a 17-Ouro quanto ao método construtivo baseado na implantação de uma modelagem elevada, fabricação, transporte, lançamento e fechamento dos elementos de vigas, dimensões, fornecimento do material rodante e a relação dos impactos ambientais do meio físico, biótico e socioeconômico. A relevância do tema possui caráter social e técnico pois é oriunda de um minucioso estudo da relação da população com o transporte coletivo, diante da alta demanda de uso e a ineficaz oferta de um meio de deslocamento compatível para tal, além de modificar a visão dos usuários perante uma possível melhoria na qualidade de vida. Diante deste cenário, o monotrilho apresenta-se como uma solução factível para atender a numerosa demanda de passageiros ao passo que possui um sistema construtivo eficiente, econômico e funcional.

**Palavras-chave:** Monotrilho; vigas guia; mobilidade urbana

### ABSTRACT

The objective of this article is to discuss about the monorail 's constructive system and its technical characteristics, parallel to a study of its social benefits and eventual complexity of execution. The research was developed through magazine consultations, articles, norms and presentations in aimed events for the transportation and urban mobility themes, in addition to some meetings with engineers from the Metrô-SP. The scope is presented with a comparative study between the two lines in question, the 15-Silver and the 17-Gold in terms of the constructive method based on the implantation of a high modeling, manufacturing, transport, installation and beams consolidation, dimensions, supply of the rolling stock and the relation of the environmental impacts of the physical, biotic and socioeconomic ones. The relevance of the theme has social and technical characteristics, because it is from a meticulous study of the relationship between population and the collective transportation, due to the high demand of use and the inefficient supply of a compatible displacement way, besides modifying the user's vision due to a possible improvement in the quality of life. Given this scenario, the monorail presents itself as a feasible solution to attend the numerous passengers' demands, whereas that is an efficient, economic and functional construction system.

**Keywords:** Monorail; concrete beams; urban mobility

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente os maiores transportes de massa da cidade são sobre trilhos, e São Paulo, considerada a maior metrópole do Brasil, é a cidade que mais possui linhas e estações nestes modais, citando como os mais conhecidos e utilizados, os trens da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), os da Companhia do Metropolitano de São Paulo (METRÔ) e recentemente o monotrilho, este que ainda conta com grande parte das estações em fase de construção e apenas seis em funcionamento comercial. Referindo-se aos trens e metrô, embora tais meios de deslocamento sejam os mais usufruídos pela população, ainda não foram suficientes para cobrir toda a demanda, principalmente aos habitantes que residem em zonas periféricas – estas, que nasceram em função do crescimento desordenado do espaço urbano e distantes da atuação do sistema integrado Ônibus-Metrô-Trem. A assiduidade da população paulistana em relação ao transporte coletivo é de extrema relevância, pois embora possua diversos problemas, ainda pode ser considerado a única alternativa para muitos, sejam desprovidos de possuir um veículo próprio ou simplesmente por desejarem evitar o transtorno do pior entrave da fluidez na cidade: o trânsito. Não sendo uma questão recente, a insatisfação popular perante a ineficiência do sistema público de transporte revela avaliações classificadas como ruins ou péssimas no âmbito da locomoção, constantemente alegando superlotação e longos períodos de espera para embarque; em suma, a baixa qualidade dos serviços prestados.

Diante do cenário apresentado, o Governo do Estado, através da Companhia do Metropolitano de São Paulo (METRÔ) constrói atual e simultaneamente, duas linhas de monotrilho de alta capacidade, a Linha 15-Prata e a 17-Ouro, cujo objetivo é implementar este modal como uma opção viável de modo a resultar na homogeneização de todos os outros meios de transporte. Quanto ao sistema, os trens circulam em uma via elevada e segregada, não interferindo no tráfego de veículos. Os trens são movidos por tração elétrica e utilizam pneus internos de borracha para sustentação, guia e estabilização; já o tráfego é feito sobre uma viga guia de concreto, o que torna a operação silenciosa e confortável. Quanto a tecnologia, permite-se um traçado mais arrojado, com raios menores, favorecendo a inserção na área urbana com menor área de desapropriação. Tal invenção remonta do ano de 1820 quando Ivan Elmanov construiu o primeiro exemplar na Rússia; no entanto, o engenheiro alemão Carl Eugen Langen foi o construtor do primeiro vagão motorizado suspenso do mundo. O protótipo pairou sobre um conglomerado de vilarejos alemães pela primeira vez em 1897 e notado o sucesso do trem suspenso, a construção de um modelo capaz de transportar pessoas foi finalmente iniciada: de 1898 a 1901, o mestre de obras Wilhem Feldmann conduziu as operações que deram forma ao monotrilho de nome “Wuppertaler Schwebebahn”. No Brasil, o primeiro sistema de monotrilho a operar foi o da cidade de Poços de Caldas. De

propriedade particular, a linha elevada interligava o terminal rodoviário da cidade até a área central, totalizando 6 quilômetros de extensão e 11 estações. Existiu também no Rio de Janeiro em 1996, no centro de compras Barra Shopping, a inauguração de um sistema de monotrilho com 3 estações, cujo objetivo era facilitar a circulação dos clientes.

Quanto às alternativas propostas em longo prazo para a melhoria do transporte de passageiros, o monotrilho apresenta-se como uma solução viável para atender a uma maior demanda de passageiros, em especial os da Linha 15-Prata, com maior parte das estações localizadas na zona leste de São Paulo. Já a Linha 17-Ouro, que ligará a estação Morumbi da Linha 9-Esmeralda à estação Congonhas, terá como principal parada esta última, e se inaugurada, será a segunda linha de metrô a possuir acesso a um aeroporto. Logo, os objetivos deste projeto consistem em apresentar as características técnicas da superestrutura da via permanente das Linhas 15-Prata e 17-Ouro do monotrilho, a produção, transporte e o fechamento das vigas guia, a tecnologia utilizada na fabricação dos trens, material rodante e sistema de sinalização, além de adicional e paralelamente, contextualizar as dificuldades enfrentadas durante a implantação, seja no meio técnico ou social e descrever os grandes benefícios também sociais, econômicos e ambientais que tal opção pode gerar se o modal for investido com mais rigor.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

Segundo Meca (2014), a superestrutura do monotrilho é constituída de vigas guia apoiadas em pilares e regiões de mudança de via; estas, construídas sobre lajes onde são apoiadas as vigas móveis. A via elevada possui altura entre 15 a 20 metros, com vão entre pilares de 30 metros de comprimento. Suas estações contam com plataformas de 60 ou até 90 metros de extensão, construídas no canteiro central das avenidas, cujo acesso se dá pelas laterais através de passarelas. Possui também salas técnicas e operacionais em edifício junto a um dos acessos.

Desenho esquemático 1 – Maquete eletrônica da Estação Oratório



Fonte: Metrô SP (2017)

## 2.1 Vigas guia

Segundo Curiati et al. (2013), a viga guia é o elemento de concreto protendido que conduz o trem metroviário, fazendo papel da via permanente do sistema. Por esse motivo, possui tolerâncias construtivas menores que as demais estruturas de concreto pois afetam diretamente a performance mecânica do trem, considerando a sinuosidade, elevações e superelevações do trajeto. Por projeto, a maior superelevação já instalada foi de 9 %, com raio mínimo de 50 metros (Linha 15-Prata) e de 6 % com raio mínimo de 70 metros (Linha 17-Ouro). As vigas são vazadas devido à instalação de blocos de Poliestireno Expandido (EPS) em seu interior e possuem, em média, 30 metros de comprimento, 75 centímetros de largura e peso de aproximadamente 70 toneladas. Tais elementos representam um desafio para a engenharia, diante do fato de que para uma única viga é necessário o ajuste de mais de 200 pontos de montagem e 60 de conferência pela equipe de topografia – pois desta forma, é garantida a correta geometria exigida no projeto.

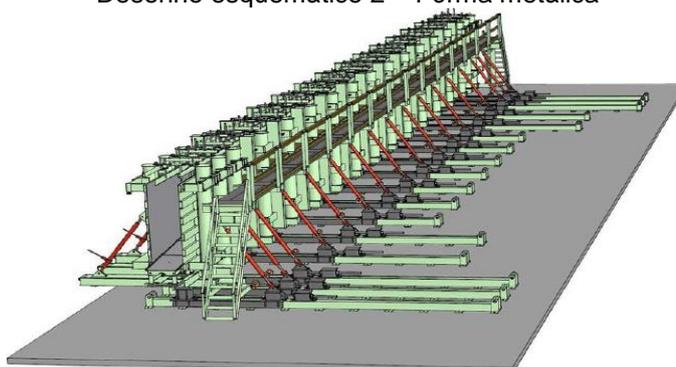
### 2.1.1 Pátio de fabricação

A modelagem das vigas é realizada de forma computadorizada, através de softwares de última geração que garantem a regulagem das fôrmas para atender as curvas verticais, horizontais e superelevação, de forma contínua.

Quanto a fabricação das vigas guia curvas da Linha 15-Prata, segue a sequência:

- **Armação:** Depois de instaladas as barras longitudinais superiores e inferiores nos gabaritos, montam-se as transversais, variando a altura conforme o desenvolvimento dimensional da peça, ao passo que as etapas de armação progridem;
- **Fôrmas:** são presas nas extremidades e em seguida, posicionadas as bainhas (dutos responsáveis por isolar os cabos de aço do concreto) e as barras chatas. São fixados então as almofadas nas extremidades da viga, que são peças de aço utilizadas com o objetivo de serem apoiadas no pilar;

Desenho esquemático 2 – Fôrma metálica



Fonte: Vigas guia (2011)

- **Concretagem e protensão:** As vigas retas podem ser pré ou pós-tracionadas, já as curvas são sempre pós-tracionadas. A diferença entre elas se deve ao fato de que na pré-tração, enquanto é inserida a armação, são previamente passadas duas camadas de cordoalhas, no fundo da fôrma, sem bainha; já na pós-tração, antes da concretagem das vigas, são passadas as cordoalhas pelas bainhas. O concreto é lançado através de bombeamento com o auxílio de vibradores para garantir a uniformidade do adensamento. O acabamento superficial na cota de projeto é dado pela regularização por sarrafeamento com régua metálica e desempenamento;

Fotografia 1 – Protensão da viga guia



Fonte: Vigas guia (2011)

- **Desforma e cura:** após o concreto ter atingido no mínimo 50 % da sua resistência, o que ocorre em média 36 horas depois, a viga é retirada da fôrma por meio dos pórticos sobre pneus, e acondicionada no setor de armazenamento, onde será efetuada a cura química. Perfis metálicos cravados verticalmente garantem que as vigas permaneçam no prumo, dando a segurança para que não tombem. Depois de retiradas as fôrmas de extremidades, as vigas são codificadas segundo o projeto, sempre para o lado leste de onde serão posicionadas sobre os pilares, facilitando a locação desde o transporte até sua instalação, discriminando o trecho, módulo, vão e linha A ou B – sentido Vila Prudente ou Hospital Cidade Tiradentes.

Fotografia 2 – Estocagem da viga guia na fábrica



Fonte: Vigas guia (2011)

Já com a linha 17-Ouro, o processo de fabricação é realizado em três linhas de montagem, dividido em 6 módulos, segundo Soares et al. (2013):

- **Módulo 1** - Preparação do fundo das fôrmas: o *trolley* de movimentação da viga é posicionado de modo a realizar a configuração do eixo e superelevação; em seguida é realizado o ajuste do comprimento, retirando ou acrescentando-se peças intermediárias; prossegue-se com a conferência do raio, onde a cada 1,25 metro é realizada o ajuste da distância de pontos de baliza ao eixo do fundo da fôrma utilizando trena eletrônica, para então configurar a superelevação nos mesmos pontos de medida de eixo. Após a conferência manual, a Topografia ainda realiza medições de checagem (cerca de 72 pontos) e confere o inserto da passarela de emergência;
- **Módulo 2** – Montagem da armação: há a preparação do fundo da viga com a realização de corte, dobra, solda das barras longitudinais, rosca cônica e identificação de todas as posições conforme projeto executivo. São realizadas em bloco anexo ao galpão de produção e a movimentação destas barras são realizadas por pórtico móvel. Posteriormente inicia-se a pré-montagem da armação, sendo realizada montagem do trecho de seção com altura da viga de 1,60 metro. Ajusta-se o gabarito de armação a cada 5 metros para ajuste da armação na superelevação e recobrimento da viga. A pré-armação é então içada e posicionada, com ajuda de dois pórticos móveis do galpão sobre espaçadores no fundo da fôrma para término de execução de montagem, instalação dos isopores, todos os insertos de protensão, posicionamento dos apoios da viga e fechamento das cabeças das fôrmas;

Fotografia 3 – Armação da viga guia



Fonte: Linha 17-Ouro - Eduardo Curiati (2013)

- **Módulo 3** - Fechamento de fôrmas e concretagem: faz-se um ajuste da superelevação e cota topo do concreto em ambos os lados da viga. O *trolley* então é posicionado e fixado por extensores laterais. Em seguida, a fôrma é fechada utilizando sistema hidráulico e então faz-se nova verificação pela topografia na verificação da

superelevação e do desenvolvimento do traçado pela cota de eixo da viga. Realizadas todas as verificações, a fôrma é travada para garantia da largura e o isopor é fixado para evitar deslocamento. A concretagem então é liberada, sendo realizada por caminhão com lança e vibração com vibradores de imersão e de parede nas regiões de armação mais densa. O acabamento da superfície de rolamento foi definido pelo atrito necessário do material rodante e sua precisão é conferida com régua de 3 metros e cunha milimetrada, cuja variação é de no máximo 3 milímetros de irregularidades da superfície. Após o atingimento de 8 MPa, normalmente em 12 horas após a concretagem, procede-se o destravamento da fôrma e abertura da mesma com auxílio do sistema hidráulico;

- **Módulo 4** - Cura: os serviços desta etapa se iniciam no módulo anterior após a abertura das fôrmas; tão logo são movimentadas e é aplicado o agente de cura nas laterais da viga com auxílio de rolo de pintura. A viga então é puxada por um sistema de cabo de aço tracionado para aguardar no módulo de cura até o atingimento de 25 MPa para liberação dos serviços de protensão;

Fotografia 4 – Cura da viga guia



Fonte: Vigas Guia Monotrilho Metrô SP Fabricação, Logística e Precisão (2015)

- **Módulo 5** - Protensão: inicia-se com a instalação de *frames* de reação para suporte da viga nas extremidades e para não transmissão destas cargas ao *trolley* de apoio. Em seguida monta-se os blocos de ancoragem em ambas as extremidades e realiza-se a protensão em ambos os lados simultaneamente, conferindo o alongamento dos cabos;
- **Módulo 6** - Limpeza de fundo: nesta etapa realiza-se a limpeza de todo o equipamento de transporte da viga e verificação do elemento de vedação. As vigas permanecem apoiadas em berços de concreto no pátio de estoque para receberem os chumbadores de fixação de 3º e 4º Trilhos e acabamento da viga com aplicação de verniz antipichação, até que as mesmas atinjam a resistência de projeto de 45 MPa e tenham os apoios nos capitéis preparados para realização do transporte e lançamento.

## 2.1.2 Transporte

Ainda no pátio de fabricação, depois das vigas serem protendidas, curadas e com o tempo necessário para atingir a resistência adequada, elas são “engravatadas”. Segundo Coelho et al. (2013), a gravata utilizada é uma peça de aço que abraça a viga, na qual vai presa sobre a linha de eixo; desta forma, são colocadas duas delas, próximas as extremidades da mesma. São por essas peças que as vigas são içadas pelos guindastes no momento de instalação entre pilares.

A viga então é colocada sobre o caminhão com auxílio de dois pórticos sobre pneus; logo são instalados os braços estabilizadores nas extremidades do elemento, que são peças metálicas ajustáveis que as suportarão depois de instaladas até a execução da monolitização, permitindo que atinja a inclinação e superelevação previstas em projeto.

Fotografia 5 – Gravatas da viga guia



Fonte: Vigas Guia Monotrilho Metrô SP Fabricação, Logística e Precisão (2015)

Com essas etapas concluídas inicia-se o transporte da viga guia, no qual pode ser considerado outro grande desafio pois as rotas devem ser minuciosamente estudadas – estudo este que perdura desde a etapa anterior, onde o pátio de fabricação se instalara em local minimamente estratégico. Como cada uma das vigas possui grandes dimensões e elevado peso, são consideradas transportes de carga especial, onde todo o processo é feito em conjunto e com todo apoio prestado pelos órgãos competentes: Departamento de Estradas de Rodagem (DER), a concessionária CCR Autoban, Polícia Militar Rodoviária Estadual (PMRE) e Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET).

Desde a saída da fábrica até o ponto de instalação entre pilares, o caminhão que transporta a viga guia tem duas viaturas frontais e duas posteriores como batedores. São estas viaturas que impedem a passagem de veículos ao lado da viga, permitindo que as linhas de eixo, sobre as quais as vigas estão apoiadas, façam manobras e curvas sem colocar em risco a integridade da viga e dos veículos; além disso, os transportes estão autorizados a ocorrer apenas no período noturno, de forma a minimizar os impactos no trânsito da cidade.

### 2.1.3 Lançamento e consolidação/monolitização

Ainda segundo Coelho et. al (2013), com a chegada do comboio de transporte no local determinado entre pilares, dá-se início o posicionamento e instalação dos guindastes que farão o içamento das vigas guia. Nesta etapa são retirados os cabos e correntes de fixação, permanecendo apoiadas apenas as gravatas nas linhas de eixo. Dois guindastes içam a viga, através de cabos de aço presos às gravatas. Com o perfeito encaixe do *hanger* no suporte, é observada a simetria nos dois pilares dos espaçamentos da face do concreto da viga guia com a do pilar. São encaixados os suportes de apoio e faz-se o ajuste da inclinação que dará a viga a superelevação prevista em projeto, com a participação da topografia, utilizando um inclinômetro digital. Aos poucos os guindastes soltam a carga das vigas e, com o auxílio de outro guindaste e plataforma elevatória, as gravatas são retiradas.

Fotografia 6 – Içamento da viga guia



Fonte: Vigas Guia (2011)

Após o lançamento das vigas sobre os capitéis dos pilares são realizadas as consolidações ou monolitizações, ou seja, a união entre vigas, pilares e fechamento de módulo com a protensão longitudinal do conjunto. Com estas consolidações as vigas se tornam um conjunto unificado, monolítico e hiperestático permitindo a circulação segura dos trens, a cada quatro vãos formada por quatro vigas contínuas. Na monolitização simples, na parte superior das vigas são instalados os terminais de ancoragem (*terminators*). Com rosca cônica fêmea central, são encaixados nas extremidades das barras; é feita então a complementação das 4 ou 6 bainhas transversais para vencer a largura da viga e instalados seus respectivos respiros de injeção. Já na monolitização com junta de dilatação a sequência executiva se diferencia em alguns aspectos da simples por conter insertos como o *pintel* e *finger plate* e a protensão longitudinal, encerrando o módulo. *Pintel* é uma peça de aço galvanizado formada por duas partes fixas e uma de interligação; sua principal função é evitar o deslocamento transversal das vigas guia, nas juntas de dilatação, durante a passagem do trem. Já o *finger plate* é uma placa de aço galvanizado que ficará instalada nas juntas de

dilatação, cuja função é evitar o solavanco nos pneus do monotrilho no momento da sua passagem. Nas vigas de extremidade do módulo, são instalados quatro macacos de protensão, os *pintels* no capitel e as luvas de emenda. A armação do tipo da viga onde elas são colocadas é ligada a uma barra vertical, já previamente posicionada. Em seguida são instalados os terminais de ancoragem (*terminators*). Assim como na monolitização simples, é feita a complementação, mas desta vez, das oito bainhas transversais para vencer a largura da viga guia, e instalados seus respectivos respiros de injeção. São passadas as barras *Dywidags* e instalados os gabaritos metálicos do *finger plate*, no caso da monolitização com junta de dilatação. Cada extremidade possui um gabarito em que será parafusada a placa lateral, e outro na parte superior, contemplando as placas da superfície e outra lateral.

Fotografia 7 – *Finger plate*



Fonte: Fechamento entre Vigas-Guia na Linha 15 - Prata Desafios em sua Execução (2016)

Fotografia 8 - *Pintel*



Fonte: Fechamento entre Vigas-Guia na Linha 15 - Prata Desafios em sua Execução (2016)

A sequência de execução de ambas as monolitizações é a mesma a partir dos pontos acima descritos, a seguir complementadas: executada a montagem da armação, prossegue-se com o fechamento das fôrmas e preenchimento com concreto de 50 MPa. As duas barras chatas de aterramento que correm longitudinalmente em cada viga são unidas por uma transversal. Os parafusos da luva de emenda são apertados até o rompimento das cabeças,

ficando a luva sem saliências. São colocados os dutos de sinalização, conforme solicitação de projeto. Enfim é executado o fechamento das fôrmas, prevendo um nicho no local onde passa a barra chata para posterior ligação desta com a de espera, presente no tipo do capitel. São fixados nas formas, em cada extremidade, os insertos dos trilhos de energia. As fôrmas têm possibilidade de ajuste de inclinação para a concordância da superelevação das duas extremidades de módulo. É utilizado concreto de 50 MPa, até atingir a altura das vigas guia subsequentes. Na superfície é aplicado um aditivo para retardar a pega do concreto, para a posterior execução das ranhuras. Depois de atingida a resistência de 50 % do concreto utilizado, é executada a protensão transversal das barras *Dywidags*. Também é executada a armação, fechamento das formas e concretada a terceira etapa nas extremidades dos capitéis, onde ficarão embutidas as pontas das barras *Dywidags* de protensão transversal. Neste momento é feita a injeção da cala de cimento nas bainhas transversais. É feita a solda da barra eletrolítica em “L” nas barras chatas deixadas a vista depois da concretagem da segunda etapa. Esta barra eletrolítica é unida através de cordoalha de cobre com as barras chatas de aterramento nos capitéis. Encerrando as monolitizações, as placas de *finger plate* são instaladas, prevendo um distanciamento conforme tabela, levando em consideração a temperatura ambiente no momento da instalação. São feitos o arremate e o acabamento nas cabeças dos *pintels* que ficarão à vista.

Fotografia 9 – Monolitização



Fonte: Revista Engenharia (2013)

## 2.2 Pátio de manobras e manutenção

A linha 15-Prata contará com dois pátios de manobras, estacionamento e manutenção - o Oratório, com 96.000 m<sup>2</sup>, capacidade para 27 trens e 30 edificações de apoio incluindo o Centro de Controle Operacional (CCO); e o Ragueb Chohfi, com 55.000 m<sup>2</sup> e igual capacidade de trens, porém atuando como pátio auxiliar.

Fotografia 10 - Pátio Oratório



Fonte: Tecnologias Metroferroviárias – Monotrilho (2014)

Já a linha 17-Ouro, segundo Curiati et al. (2013), irá operar com o auxílio de um pátio localizado na área onde hoje opera o Reservatório Jabaquara. A implantação da estrutura desse pátio é mais um revés da engenharia, uma vez que as obras estão sendo construídas dentro de um equipamento feito para reservar grandes quantidades de água, em funcionamento: o Piscinão Água Espreada. O consórcio construtor contratou monitoramento meteorológico permanente junto com a Fundação Centro de Tecnologia Hidráulica da Universidade de São Paulo (FCTH), que através de radares, monitora 24 horas por dia, sete dias por semana a bacia hidráulica do Piscinão, emitindo alertas para a ocorrência de chuvas com tempo de previsão de até duas horas. Com base nesse tempo exíguo foi elaborado o Plano de Atendimento às Emergências (PAE), que contempla todo o plano de contingenciamento para abandono da área e desmobilização dos equipamentos. O consórcio construtor conta ainda com a consultoria de profissionais na área de micro e macrodrenagem pluvial, que provém estudos de janelas hidráulicas e definem quais atividades podem ser executadas nos meses de estiagem e de chuvas, possibilitando um planejamento minucioso de todas as atividades.

Fotografia 11 – Obras no Piscinão Pátio Água Espreada



Fonte: Linha 17-Ouro - Eduardo Curiati (2013)

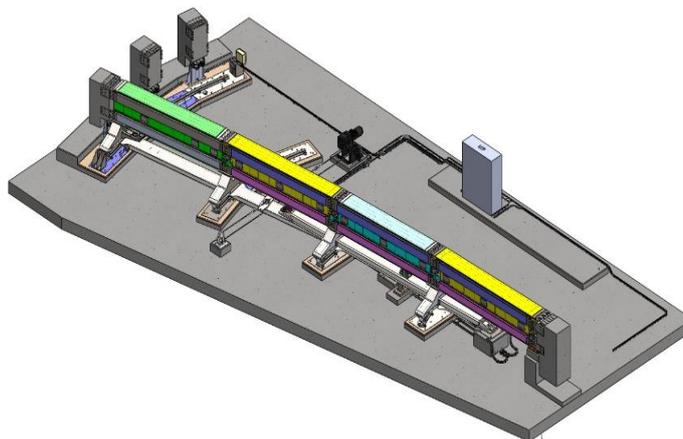
O pátio de manobras, estacionamento e manutenção Água Espreada está sendo construído acima do nível alagável do reservatório, que não será desativado, e contará com dois níveis para manutenção e estacionamento de trens, 65.000 m<sup>2</sup> de área edificada com 22 blocos e capacidade para 26 trens.

### 2.3 Track Switch

O *Track Switch* é responsável pela mudança de percurso do trem para as vias correspondentes aos trajetos necessários para operação, quais sejam, troca de via em estações terminais, desvios da via principal para acesso aos pátios, desvios entre vias em emergências ou outras manobras operacionais. Segundo Curiati et al (2013), este aparelho é composto por um conjunto de componentes elétricos, eletrônicos e mecânicos, em que trechos curtos de vigas metálicas formam poligonais que assumem os raios de curvatura necessários às mudanças de via do trem. Toda a operação é automática e controlada pelo sistema de sinalização da via, ocorrendo em aproximadamente 8 segundos.

Por se tratar de um sistema com pneus de borracha, na operação de mudança de via do monotrilho não há contato metal/metal, como corre nos Aparelho de Mudança de Via (AMV) do sistema metro ferroviário; logo o acionamento elétrico desses aparelhos e a inexistência de descontinuidade na superfície de rolamento faz com que o nível de ruído e vibração nessas regiões seja o mesmo dos trechos de via corrida.

Desenho esquemático 3: Track Switch



Fonte: Linha 17-Ouro - Eduardo Curiati (2013)

### 2.4 Material rodante e sistema de sinalização

Material rodante é o conjunto de todos os equipamentos que se locomovem sobre a via permanente. Para o sistema em questão, as caixas dos carros dos trens são de alumínio e as máscaras frontais e painéis laterais, de fibra de vidro reforçada. Os vagões possuem ar-refrigerado, câmeras de vigilância com gravação de imagens e possibilidade de comunicação

de voz entre usuários e CCO. Os trens possuem motores de tração AC (*Alternate Current*), com controle VVVF (*Variable Voltage Variable Frequency*) e operação *Unattended Train Operation* (UTO), ou seja, sem operador, sendo realizada a distância através de sistemas de controle.

Segundo Filho et al. (2013), o sistema de sinalização *Communications-Based Train Control* (CBTC) de bloco móvel com comunicação contínua e bidirecional entre trem e via, possibilita a redução do *headway* ao permitir que os trens se movimentem mais próximos aos limites de velocidade da via, de forma segura. A comunicação é baseada em *loop cable* (loop indutivo).

Para que fosse possível evoluir nos conceitos e requisitos necessários para o sistema de sinalização e controle, avaliaram-se diversos cenários, nos quais o monotrilho estaria exposto durante a sua operação levando em consideração as particularidades deste modal de transporte, tais como: altura, operação sem operador no interior do monotrilho, processo de evacuação e resgate, níveis de degradação operacional, erros operacionais numa condição de degradação do sistema, ausência de uma detecção secundária (sistema auxiliar de ocupação do monotrilho nos casos de falha do sistema principal), utilização dos pneus de carga e estabilizadores de borracha, recursos de emergência no interior dos carros, intercomunicadores, manípulo de emergência em cada porta do carro e um sistema de informação áudio visual no interior de cada carro. Diante desses fatores pode-se reunir os resultados na seguinte tabela:

Tabela 1 – Características técnicas dos trens das Linhas 15-Prata e 17-Ouro.

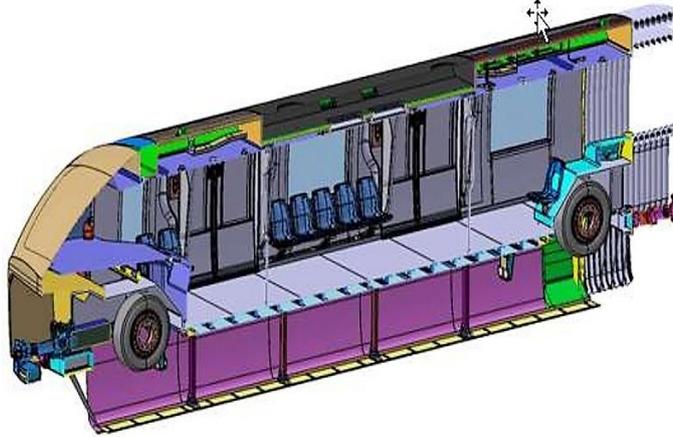
CARACTERÍSTICAS	LINHA 15 - PRATA	LINHA 17 - OURO
Fabricante dos trens	Bombardier	Scomi e MPE
Frota de trens	54	24
Quantidade de carros por trem	7	5
Largura do trem	3,15 m	3,09 m
Comprimento máx. do trem	85,29 m	54,10 m
Capacidade por trem	1.002 pass. (6 pass/m <sup>2</sup> )	401 a 687 pass. (6 pass/m <sup>2</sup> )
Capacidade de transporte	48.000 pphpd	24.000 pphpd
Velocidade comercial mín.	35 km/h	35 km/h
Velocidade operacional máx.	80 km/h	90 km/h
Headway de projeto	75 s	75 s
Headway de operação	90 s	300 s

Fonte: Elaborado pela autora.

Destaca-se as principais inovações tecnológicas incorporadas tais como o sistema de sinalização composto pela tecnologia CBTC com característica *driverless* (sem operador), emissão de baixo nível de ruído, caixa do carro confeccionada em alumínio extrudado tornando-a 30 % mais leve, motores de tração compactos e refrigerados à água, iluminação

utilizando sistema *Light Emissor Diode* (LED) de alta luminosidade e baixo consumo de energia, baterias com células de sódio-níquel, sistema de detecção e extinção de incêndio por nebulização de água, ar condicionado, câmeras internas e externas e passagem entre carros.

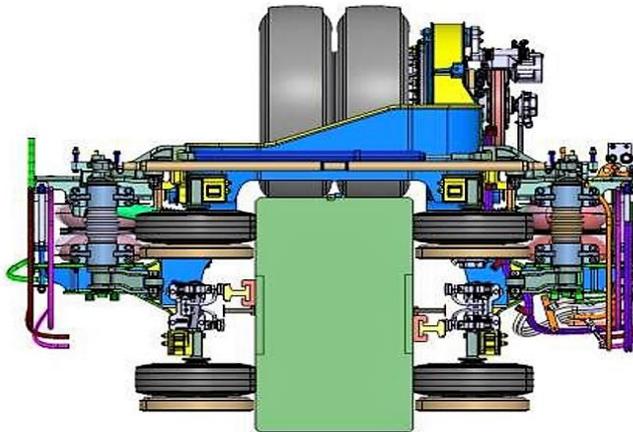
Desenho esquemático 4: Vista em corte de um carro do trem



Fonte: Tecnologias Metroferroviárias – Monotrilho (2014)

Semelhante aos trens e metrô, o monotrilho possui o truque, um conjunto rodante que possui três peças básicas: uma travessa central onde a caixa se apoia e duas laterais que têm como objetivo transmitir os esforços até os trilhos passando pelas suspensões e rodas.

Desenho esquemático 5: Truque + Viga guia



Fonte: Tecnologias Metroferroviárias – Monotrilho (2014)

## 2.5 Diagnóstico ambiental do meio físico, biótico e socioeconômico

A partir dos estudos e análises realizados ao longo da elaboração do EIA (Estudo do Impacto Ambiental) e mediante a elaboração do diagnóstico ambiental dos meios físico, biótico e socioeconômico nas áreas de influência definidas para o projeto das linhas 15-Prata e 17-Ouro, foram identificados 26 impactos ambientais, positivos e negativos incidentes nas fases de planejamento, implantação e operação do empreendimento, sendo 7 (27%) relacionados ao meio físico, 2 (8%) ao meio biótico e 17 (65%) ao meio socioeconômico, a seguir citados com suas respectivas classificações (negativo ou positivo):

- a) Potencial alteração da qualidade das águas superficiais (negativo);
- b) Potencial alteração da qualidade do solo e das águas subterrâneas (negativo);
- c) Risco de alteração pontual na qualidade do ar, decorrente do aumento das concentrações de material particulado em suspensão, de poeiras e emissão de gases veiculares (negativo);
- d) Alteração pontual dos níveis de ruídos, decorrentes das obras de implantação e da operação das linhas 15-Prata e 17-Ouro (negativo);
- e) Redução das emissões de poluentes atmosféricos e de ruídos, decorrentes da diminuição da frota de veículos coletivos e de particulares em circulação (positivo);
- f) Riscos de ocorrências de vibrações induzidas no solo, de recalques e/ou abalos estruturais nas construções/edificações situadas em áreas vizinhas à faixa lindeira das linhas 15-Prata e 17-Ouro (negativo);
- g) Riscos de interferências das obras das linhas 15-Prata e 17-Ouro em áreas potenciais ou comprovadamente contaminadas (negativo);
- h) Supressão de indivíduos arbóreos/alteração da paisagem (negativo);
- i) Risco de ocorrência de afugentamento da avifauna (negativo);
- j) Geração de ansiedade e insegurança na população da ADA (Área Diretamente afetada) (negativo);
- k) Geração de expectativa da população da AID (Área de Influência Direta) e AII (Área de Influência Indireta) (positiva);
- l) Readequação do sistema de transporte público (positivo);
- m) Reestruturação do sistema viário nas proximidades do empreendimento (negativo - implantação/positivo - operação);
- n) Aumento da mobilidade da população residente nas áreas de influência (positivo);
- o) Risco de ocorrência de diminuição da fluidez e/ou mobilidade do trânsito nas proximidades da obra e de acidentes de trânsito e/ou congestionamentos, decorrentes da reestruturação do sistema viário (negativo);
- p) Aumento da arrecadação tributária (positivo);
- q) Aumento da renda da população (positivo);
- r) Geração de empregos (positivo);
- s) Riscos de impactos na saúde ocupacional dos trabalhadores ligados à implantação e operação das linhas 15-Prata e 17-Ouro (negativo);
- t) Indução à alteração do uso e ocupação do solo da ADA (negativo/positivo);
- u) Alteração da paisagem da ADA (negativo);
- v) Incremento da ação do mercado imobiliário e oscilação do valor dos imóveis (positivo/negativo);
- w) Perda de imóveis e impacto social pelo processo de desapropriação (negativo);

- x) Alteração da qualidade de vida da população lindeira devido ao impacto visual do monotrilho e aumento de circulação de pedestres (negativo);
- y) Remobilização, soterramento e destruição parcial ou total de sítios arqueológicos (negativo);
- z) Interferência e descaracterização do patrimônio histórico-cultural edificado (negativo).

Comentando-se sobre os aspectos positivos em geral, segundo estimativas de embarque e desembarque em cada estação, determina-se que haverá cerca de 8.000 passageiros (nos dois sentidos) em horário de pico. Considerando a extensão de 18 km (Linha 17-Ouro), chega-se a um total de 144.000 passageiros.km a serem transportados, no horário de pico da manhã. Mantendo-se como base que um ônibus convencional transporta 80 passageiros neste horário, conclui-se que serão “economizados”, em tese, cerca de 1.800 km percorridos por ônibus, somente neste horário. Com relação ao ruído de tráfego, o ganho ambiental será limitado às vias onde atualmente trafegam os ônibus cujas linhas serão desativadas ou reduzidas, além de reduzir o número de acidentes nas mesmas.

Quanto ao empreendimento em si, a divulgação de melhorias relacionadas ao transporte coletivo como no caso do monotrilho, fomenta o surgimento da expectativa positiva na população durante as fases de planejamento e implantação da obra, uma vez que sua função é aumentar a mobilidade da população, expandindo a oferta de transporte coletivo e diminuindo o tempo de traslado. Exemplificando, a implantação da linha 17-Ouro (São Paulo-Morumbi – Congonhas) viabilizará a integração do aeroporto de Congonhas com a rede de transporte público de massa sobre trilhos; considerando que se trata do aeroporto de maior movimento do país, possibilitará o acesso de um grande contingente de população. Já para a 15-Prata (Hospital Cidade Tiradentes - Vila Prudente), auxiliará a população do extremo leste do município a criar uma alternativa para acesso ao centro da cidade e conseqüentemente, irá gerar a homogeneização de outros meios de deslocamento.

A população que de imediato poderá ser beneficiada é composta pelos comerciantes e prestadores de serviço inseridos na área diretamente afetada. Uma das conseqüências prováveis dessa maior integração econômica está relacionada à maior atratividade de empresas e negócios para tal área. Neste caso pode ocorrer o aumento da renda da população da área, haja vista que deve ocorrer maior demanda por mão de obra de alta e baixa qualificação, que irão ocupar os postos de trabalho nos novos comércios e prestadores de serviço que serão instalados nesta região, sobretudo nos arredores das estações projetadas.

Já de acordo com o paisagismo, segundo Costa (2015), a presença de uma ciclovia sob a vida elevada do monotrilho representa a promoção e preservação do espaço urbano, e é um ponto importante dentre todos os benefícios que o mesmo pode trazer. A ciclovia tem

como principal diferencial seu projeto paisagístico. Ao longo do trajeto estão sendo plantadas espécies arbóreas de pequeno, médio e grande porte, criando um parque linear sob o monotrilho. Esse enriquecimento arbóreo faz parte do plantio compensatório exigido pela Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente para essa obra.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tratando-se do âmbito da mobilidade urbana, a cidade de São Paulo enfrenta, há tempos, o desafio de implementar soluções eficazes de modo que o espaço utilizado seja compatível com o crescimento populacional. Segundo dados do Censo de 2010 realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o município de São Paulo conta com mais de doze milhões de habitantes e segundo o Detran, uma frota de mais de oito milhões de veículos. Face à precária situação do transporte público, o que se pode notar nessa questão, é uma miscelânea de investimentos mal planejados oriundos de um tardio processo de urbanização.

A oportunidade de implantação de um transporte de massa em uma região com uma grande quantidade de setores de média e alta vulnerabilidade como se pôde verificar com o monotrilho, cumpre as condições necessárias com veemência. Seu método construtivo é considerado mais simples e incorre em menores custos, em virtude de a estrutura ser mais leve e as próprias vigas serem o rolamento do trem, dispensando outros elementos estruturais como lajes e infraestrutura ferroviária da via permanente. Além disso, carecem de menos espaço, tanto na horizontal quanto na vertical e a largura necessária para sua implantação é determinada pela dimensão do veículo e não o da linha. Outra vantagem do sistema, segundo o Metrô de São Paulo, é a redução no número de desapropriações por não haver interferência no trânsito - um terço do necessário para a construção de linhas enterradas. Todavia, o grande diferencial do ponto de vista da engenharia é a adaptabilidade ao viário, pois atende a parâmetros de projeto de traçado favoráveis e proporciona maior flexibilidade à concepção do projeto, visando melhorar a inserção geométrica da estrutura de suporte do sistema e a implantação de pátios mais compactos, o que seria impossível com trens convencionais.

Os fatores determinantes para a escolha do modal foram a possibilidade de implementá-lo nos canteiros das avenidas centrais, minimizando o impacto da ocupação do viário, apresentando menor impacto visual, ambiental e sonoro. Isso só foi possível em virtude das condições do traçado, que permitia a construção dos pilares e, conseqüentemente, sua modelagem suspensa. Em relação ao meio de transporte em si, após concluídas as duas linhas, constata-se a tendência em melhorar as opções de mobilidade entre a região central e o extremo leste do município, criando um vetor de ligação entre estes dois pontos, além de haver a valorização desta zona, com possibilidade de gerar maior empregabilidade.

Segundo Filho et al. (2013), no que diz respeito aos benefícios ambientais, em sua maioria, os monotrilhos implantados usam como recurso energético a energia elétrica evitando assim a queima de combustíveis fósseis, o que contribui para a redução da emissão de gás carbônico no meio ambiente. Outra característica fundamental é que os monotrilhos modernos fazem utilidade de pneus de borracha ao invés das usuais rodas de ferro. Tais pneus rolam por cima e pelas laterais da viga guia, de forma a fazer movimentar e estabilizar o trem, constituindo-se num sistema de propulsão silencioso, aumentando o atrito e concorrendo para a prevenção da poluição sonora.

Em suma, observa-se que os sistemas de monotrilho oferecem às comunidades a oportunidade de transformar sua cidade ou município e melhorar o meio ambiente. Eles desempenham um papel estrutural no desenvolvimento urbano, abrindo áreas da cidade, acrescentando verde com gramados e canteiros, substituindo equipamentos nas ruas e protegendo a arquitetura local. A qualidade do ambiente local e do sistema de transporte são fatores importantes na capacidade de as cidades competirem em âmbito nacional e internacional e ajudam a atrair novos negócios e trabalhadores, dando mobilidade à população e impulsionando a atividade social e econômica.

#### 4. REFERÊNCIAS

AEAMESP – Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Metrô de São Paulo website (2011). 17ª Semana de Tecnologia Metroferroviária. **Características construtivas da viga guia do sistema monotrilho para o prolongamento da Linha 2 – Verde do Metrô de São Paulo**. Autoria: PROCHNO, José Arapoty Frare Camargo; et al. Disponível em: <<http://www.aeamesp.org.br/biblioteca/stm/17smtf110916t3801.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017

AEAMESP – Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Metrô de São Paulo website (2013). 19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária. **Linha 17-Ouro: Jabaquara – Congonhas – São Paulo-Morumbi**. Autoria: CURIATI, Eduardo. Disponível em: <<http://www.aeamesp.org.br/biblioteca/stm/19smtf130912pl05t02.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

AEAMESP – Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Metrô de São Paulo website (2013). 19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária. **Vigas guia Monotrilho Metrô-SP: Fabricação, Logística e Precisão**. Autoria: SOARES, Fabio de Oliveira e; et al. Disponível em: <<http://www.aeamesp.org.br/biblioteca/stm/19smtf130913T39ap.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

COELHO, Alessandro Godoy; et al. **A implantação, logística e precisão da obra civil do Monotrilho da Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo**. Revista Engenharia. São Paulo, n. 617, p. 129-136, 2013.

COSTA, Eduardo Guilherme. **Estudo dos benefícios que serão trazidos para a população com a implantação da Linha 15-Prata no sistema monotrilho do Metrô-SP**. São Paulo: [s.n.], 2015. 33p.

CURIATI, Eduardo; et al. **Linha 17-Ouro: desafios e impactos**. Revista Engenharia. São Paulo, n. 617, p. 116-121, 2013.

MECA, Paulo Sérgio Amalfi. **Tecnologias metroferroviárias – Monotrilho**. Disponível em: <<http://arquivo.iengenharia.org.br/site/ieadm/arquivos/arqnot8538.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

SÃO PAULO, COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO – METRÔ.  
**Características**. Disponível em: <[www.metro.sp.gov.br/obras/Monotrilho-linha-15-prata/caracteristicas.aspx](http://www.metro.sp.gov.br/obras/Monotrilho-linha-15-prata/caracteristicas.aspx)>. Acesso em: 11 abr.2017.

SOUZA, Fabio de. **A tecnologia de monotrilho para o transporte de passageiros**. Disponível em: <<http://seer.pucgoias.edu.br/index.php/estudos/article/viewFile/3722/2159>>. Acesso em: 11 abr. 2017