



## 19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária

Tema: Processo de Validação do Material Rodante – Monotrilho

Título: Validação do Monotrilho Até a Sua Entrada em Operação

## 1. OBJETIVO

Apresentar os principais tipos de testes a serem realizados no material rodante, seus equipamentos e subsistemas, com o objetivo de verificar os requisitos de projeto, bem como assegurar uma condição segura para a entrada do monotrilho em operação comercial.

## 2. RELEVÂNCIA

A introdução do novo modal Monotrilho será um marco para a cidade de São Paulo. Neste contexto, os testes de engenharia, realizados seguindo as diversas normas internacionais e do Metrô, são uma etapa fundamental na implantação do projeto.

Os testes permitem verificar não só o atendimento aos requisitos do projeto, como também funcionamento seguro de todo o sistema. Contribuem também na capacitação dos funcionários do Metrô.

## 3. DESCRIÇÃO

### 3.1. DADOS DE DESEMPENHO DAS FROTAS DE MONOTRILHOS

- Velocidade comercial mínima de 35 (trinta e cinco) km/h;
- Limite de velocidade operacional mínima de 80 (oitenta) km/h;
- Limite de velocidade mínimo de projeto de 90 (noventa) km/h;
- O comprimento da plataforma das estações será de 60 (sessenta) metros para Linha 17 - Ouro e 90 (noventa) para Linha 15 – Prata;
- A operação será do tipo UTO – UNATTENDED TRAIN OPERATION, com recursos para condução por operador nos carros das extremidades, se necessário;
- O trem deve ter capacidade mínima de transporte de 400 (quatrocentos) passageiros, expansível até 600 (seiscentos) passageiros na Linha 17 - Ouro e 1000 (mil) passageiros na Linha 15 – Prata;

- Para essa capacidade deve ser considerado um Nível de Conforto de 6 (seis) passageiros em pé por metro quadrado, levando-se em conta que, pelo menos, 12% (doze por cento) dos passageiros serão transportados sentados;
- Taxa de aceleração de 1,3 m/s<sup>2</sup>, de frenagem 1,2 m/s<sup>2</sup>, de emergência de 1,5 m/s<sup>2</sup> e Jerk de 1,5 m/s<sup>3</sup>.

### **3.2. CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS 15 e 17**

O monotrilho é composto de 07 carros para Linha 15 e 03 carros expansíveis para 05 carros na Linha 17 - Ouro, com a estrutura da caixa em alumínio e estrado em aço para a Linha 15 - Prata, e toda de alumínio na Linha 17 - Ouro, dimensionadas para 10 passageiros em pé por m<sup>2</sup>, mais a condição dinâmica de 30%.

Cada carro tem 04 portas elétricas, com passagem entre carros (gangway), contendo, por carro, duas unidades de ar condicionado e dois truques motorizados.

O Sistema de Iluminação Interna é composto de LED. Possui também sistema detecção de combate a incêndio, sistema completo de comunicações com intercomunicadores, mapa de linha dinâmico, sonorização dividida por carro, painéis informativos de LED, câmeras de vigilância (sistema de CFTV), registrador de eventos e caixa preta de imagens e comunicação com os sistemas à margem da via.

Nos truques estão instalados 02 pneus de carga e 06 pneus guias/estabilizadores. O sistema de freio é pneumático com duas bolsas de ar por truque na Linha 17 - Ouro. Já na Linha 15 – Prata, o sistema é hidráulico e no lugar das bolsas de ar são utilizados elastômeros.

### **3.3. TESTES A SEREM REALIZADOS**

#### **3.3.1. TESTES DE TIPO ESTÁTICOS**

Os testes de tipo verificam detalhadamente se o projeto do sistema está em conformidade com os requisitos do sistema, incluindo as exigências do Metrô. Estes testes serão realizados em apenas um conjunto de equipamentos / carros / monotrilhos.

Abaixo estão relacionados os principais testes de tipo a serem realizados:

- a) **Teste de tipo do truque:** consistirá de testes de carga estática e dinâmica e de fadiga. Estes testes deverão verificar a conformidade com a análise de elementos finitos do Truque.
  - **Teste tipo da caixa:** Consistem em testes de carga estática: (i) Carregamento vertical ( $1,3 \times 10$  pass./m<sup>2</sup>); (ii) Compressão no engate e (iii) Torção. Estes testes deverão verificar a conformidade com a análise de elementos finitos da caixa.
- b) **Teste de tipo de tração:** comprovar requisitos de aceleração e frenagem, velocidade máxima operacional e de projeto, desempenho, corrida no perfil na via e análise térmica.
- c) **Teste de tipo do freio de atrito:** comprovar requisitos como de taxa de frenagem, freio de emergência, freio de estacionamento e desempenho térmico.
- d) **Teste de tipo de outros sistemas:** Outros sistemas tais como sistema de gerenciamento do veículo, sistema de comunicação a bordo, sistema de alimentação auxiliar, portas, ar condicionado, sistema de detecção de incêndio, etc, também passam por testes de tipo, que vão desde funcionais, desempenho, ruído, vibração e choque, térmico, proteções, dimensional, EMC/EMI, fadiga, corrosão, compressão, estanqueidade (grau IP), isolamento. Vale ressaltar que os sistemas relacionados anteriormente também passam por esses testes.

### 3.3.2. TESTES DE ROTINA ESTÁTICOS

Os testes de rotina devem demonstrar que cada equipamento / carro / monotrilho fabricado em série está em conformidade com os requisitos do projeto. Nesta etapa os sistemas já estão montados nos carros.

- a) Teste de estanqueidade à água: o teste de estanqueidade deverá verificar a correta vedação à água da unidade de teto do ar condicionado, do teto e dos painéis laterais, da cabine do motorista, bem como as janelas laterais, portas e para-brisas.
- b) Teste da integridade da fiação: testes de continuidade, teste de integridade de isolamento e teste de ligação à terra.
- c) Teste de Rotina do Sistema de Energia Primária (750VDC):
- d) Teste de Rotina do Sistema de Baixa Tensão (Corrente DC)
- e) Testes de Rotina de Sistema de Gerenciamento de Veículos
- f) Teste de Rotina do Sistema de Alimentação Auxiliar (Corrente AC)
- g) Teste de Rotina do Sistema de Ar Condicionado
- h) Teste de Rotina do Sistema de Tração de Refrigeração
- i) Teste de Rotina do Sistema de Comunicação a Bordo
- j) Teste de Rotina da Interface do Sistema a Bordo de ATP/UTO
- k) Teste de Rotina e Verificação da Console do Operador de Trem (IHM)
- l) Teste de Rotina do Sistema Pneumático (L17) / Hidráulico (L15)
- m) Teste de Rotina do Sistema de Freio Estático
- n) Teste de Rotina da Sapata de Aterramento
- o) Teste de Rotina do Sistema de Detecção de Incêndio

### **3.3.3. TESTE E COMISSIONAMENTO ESTÁTICO**

O teste estático do monotrilho (07 ou 05 carros) consiste em testes de rotina e de tipo. O objetivo é garantir a funcionalidade de cada conjunto como uma unidade integral, de tal modo que o Material Rodante esteja em condições para entrar na fase de teste dinâmico. Serão verificados nestes testes:

- a) A instalação correta das conexões entre os carros.

- b) Verificação da integridade e funcionalidade de todos os sistemas elétricos das linhas de trem que devem ser conectados através do trem de 3 (5) carros.
- c) Energização do trem em 750 VDC
- d) Configurar o sistema de gerenciamento do veículo e assegurar que todos os componentes controlados do software no Material Rodante estejam corretamente configurados de acordo com o Plano de Controle de Software.
- e) Registrar a configuração do software para cada subsistema, incluindo números de revisão, com os registros adicionados aos livros do histórico do carro.
- f) Realizar testes funcionais em todos os sistemas vitais como o controle de tração/ sistema de freio / fontes de alimentação/ sistema pneumático.
- g) Realizar testes de funcionalidade nas conexões de rede e componentes de interface entre as redes.
- h) Registrar todos os resultados dos testes e adicionar aos livros de histórico do carro.

#### **3.3.4. TESTE DE ROTINA DINÂMICO**

Esta começa com o procedimento de Teste de Rotina dos Subsistemas do Material Rodante, que cobre a circulação do primeiro trem na oficina e área do Pátio em baixa velocidade e verifica se todos os sistemas críticos de segurança e vitais estão funcionando corretamente. Quando este teste for concluído com êxito, um trem estará pronto para seguir para o teste na Via Principal com velocidades mais altas.

- a) Teste de Rotina do Sistema de Freios
- b) Teste de Rotina do Sistema de Monitoramento da Pressão do Pneu
- c) Teste de Rotina do Sistema de Propulsão
- d) Teste de Rotina do Acoplador
- e) Teste de Rotina do Sistema de Sinalização
- f) Teste de Rotina do Sistema Comunicação

### **3.3.5. TESTE DE TIPO DINÂMICO**

Esse teste inicia-se com movimentos de baixa velocidade do trem dentro da oficina/estação, com um cuidado extra dado à segurança. Verificação das funções em conformidade com o contrato, incluindo os sistemas de segurança, automáticos e modos de condução degradados, acoplamento, etc. Deve ser realizada antes de um trem ter permissão para operar a linha principal para os testes dinâmicos de alta velocidade.

- a) Teste de Tipo do Sistema de Gerenciamento de Veículos
- b) Teste de Tipo do Sistema de Tração
- c) Teste de Tipo do Sistema de Freios
- d) Teste de Tipo do Sistema Coletor de Corrente
- e) Teste de Tipo de Acoplador com outro Trem
- f) Teste de Tipo Sistema de Gerenciamento da Pressão dos Pneus
- g) Teste de Tipo Envelope Dinâmico
- h) Teste de Tipo de Ruído
- i) Teste de Tipo do Sistema de Sinalização
- j) Teste de Tipo do Sistema Comunicação
- k) Teste de Tipo da Porta da Saia Lateral
- l) Teste de Tipo de EMC do Material Rodante
- m) Teste de Tipo de Pneu Furado
- n) Teste de Tipo de Detecção de Incêndio

### **3.3.6. TESTE E COMISSONAMENTO DINÂMICO**

O Teste Dinâmico do monotrilho (07 ou 05 carros) consiste do Teste de Rotina e Teste de Tipo. O objetivo destes testes é garantir a funcionalidade de cada conjunto de 7

ou 5 carros como uma unidade íntegra, de forma a assegurar que o Material Rodante está pronto para rodar. As funções destes testes incluem:

- a) Executar o teste de Restabelecimento do trem após acoplamento.
- b) Verificar e testar as funções dos sistemas críticos de segurança.
- c) Executar a circulação do primeiro trem à baixa velocidade.
- d) Testes funcionais de engates nas duas extremidades dos carros, incluindo acoplamento e desacoplamento de outro trem.
- e) Executar teste da Via Principal até a velocidade máxima do projeto.
- f) Registrar os resultados dos testes dinâmicos.
- g) Supervisionar a operação experimental dos trens em teste.
- h) Entregar os trens para o Cliente após a conclusão bem sucedida de todos os testes dinâmicos e execução experimental.

#### **Autores:**

- **Adalberto de Paula Ramos** - Eng.<sup>o</sup> Eletricista da Gerência de Concepção de Sistema. Trabalha no metrô a mais de 25 anos – Coordenador.
- **Ivan Maestrelli** - Eng.<sup>o</sup> Eletrônico da Gerência de Concepção de Sistema. Trabalhou na Alstom por 15 anos.
- **Felipe Zugaibe** - Eng.<sup>o</sup> Eletricista da Gerência de Concepção de Sistema.
- **Filipe Canassa Venâncio** - Eng.<sup>o</sup> Mecânico da Gerência de Concepção de Sistema. Trabalha no metrô a mais de três anos.
- **Antonio Dias Filho** - Eng.<sup>o</sup> Eletricista da Gerência de Concepção de Sistema. Trabalha no Metrô a mais de 20 anos.
- **Gustavo Ribeiro Testa** - Eng.<sup>o</sup> Mecânico da Gerência de Concepção de Sistema.