

## 19ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA DA AEAMESP.

### **TEMA:**

A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DO TREM NO MONOTRILHO DA LINHA 15 – PRATA

### **TÍTULO:**

“DESEMPENHO & QUALIDADE ASSEGURADAS COM A IMPLANTAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS”

### **OBJETIVO:**

Apresentar as principais inovações tecnológicas que desembarcaram junto à concepção deste novo modal de transporte, bem como, demonstrar a estágio atual do processo da fabricação dos Trens do Sistema Monotrilho da Linha 15 – Prata.

### **RELEVÂNCIA:**

O tema apresentado vem demonstrar as principais inovações tecnológicas implantadas nos trens do Monotrilho da Linha 15 – Prata, fabricado pela Bombardier, com o objetivo de implantar um modal de média capacidade com um dos maiores carregamentos de passageiros do mundo.

### **INTRODUÇÃO**

O trabalho inicia-se com a apresentação de alguns sistemas onde podemos verificar as tecnologias que foram aplicadas demonstrando a evolução dos equipamentos o que é possível para implantar um novo modal de alta capacidade de transporte de massa, bem como, demonstrar o estágio atual da fabricação dos trens de fornecimento da Bombardier Transportation na planta de Hortolândia de Monotrilho do Empreendimento Linha 15 – Prata.

## 1. SINALIZAÇÃO E CONTROLE – CBTC/UTO

O Sistema proposto para a sinalização do Monotrilho da Linha 15 – Prata será o CITYFLO 650, sistema de alta confiabilidade, sendo o primeiro a ser implantado na América Latina através da aplicação de uma estrutura distribuída ao longo da via, tendo por base a utilização total dos princípios de redundância em equipamentos a bordo dos trens e ao longo da via.

O sistema CITYFLO 650 é uma solução em que se baseia na comprovada tecnologia de segurança de trens em blocos moveis CBTC – Communications Based Train Control (Controle de Trem Baseado em Comunicação) de ultima geração, desenvolvida pela Bombardier Transportation, que atualmente opera em diversos modais existentes (Trem de longa distância, aeroportos, monorail, etc...) e que os princípios de funcionamento permanecem os mesmos, independentemente do tipo de veículo, superfície de operação, estrutura específica da linha ou dimensão do sistema.

O CITYFLO 650 consiste em um sistema de blocos moveis CBTC, capaz de operar um sistema de transportes em massa através de sua linha e pátios, bem como, a realização de serviços gerais de manutenção de trens. O sistema pode ser configurado para ser usado em diferentes modos de operação, ou seja, desde a operação totalmente não assistida (UTO – Unattended Train Operation) até a operação degradada em manual com proteção ATP – Automatic Train Protection (proteção Automática do Trem) automática para o modo "fall-back", que oferece os seguintes recursos para o projeto ATP/ATO:

- Menor intervalo de tempos entre as composições, pelo fato dos trens estarem separados com base em sua posição real, quer onde o trem esteja, sua velocidade e condições da via. Isso se tornou possível através de um sistema de radio para comunicações bidirecionais contínuas e redundantes entre os trens e equipamentos na lateral da via através da TWC – Train to Wayside Communications (Comunicação Trem Via));
- A alta disponibilidade do sistema é obtida através do uso de configuração redundante para o equipamento, a bordo dos trens e nas laterais da via;

- A operação não assistida dos trens (UTO) para o modo de direção totalmente automática garante o conforto dos passageiros, ordens de alteração de regulagens, controle de portas totalmente automático e precisão de parada nas estações;
- O acompanhamento do trem é contínuo e confiável, incluindo a exibição de alarmes, registro de eventos e rastreamento dos parâmetros operacionais do sistema por um subsistema ATS- Automatic Train Supervision (Supervisão Automática dos Trem).
- Operação Automática ou não Assistida dos Trens UTO é um modo de operação normal para um sistema CITYFLO 650. O sistema ATC – Automatic Train Control (Controle Automático do Trem) conduz o trem automaticamente sem necessidade de um condutor ou um atendente a bordo. Este modo garante uma viagem suave com limitação e controle de “jerk”, respeita todos os comandos de programação de velocidade ATS, realiza automaticamente paradas precisas nas plataformas de estação, e proporciona o gerenciamento de paradas nas estações, incluindo travamento / destravamento de portas, abertura / fechamento de portas automáticas; e inicia um comando de partida após um determinado tempo de parada na estação.

Todas as funções VATO – Vehicle ATO (não vitais) ficam permanentemente sob total supervisão do sistema VATP – Vehicle ATP (vital), que é responsável pela segurança do trem. O VATO conduz o trem no modo totalmente automático enquanto as solicitações de regulação feitas pelo ATS são diretamente levadas em conta pelo VATO.

Atualmente o headway definido para a Linha 15 – Prata é para um intervalo de 90 segundos, podendo chegar a 75 segundos conforme especificado pelas diretrizes técnicas de projeto, logicamente, com a necessidade de aquisição de mais trens.

Com a adoção dessa tecnologia podemos verificar algumas melhorias para todo sistema onde podemos destacar o aumento da confiabilidade, capacidade de transporte, redução de tempo de espera por parte dos usuários.

Item	Linha 1 Azul	Linha 2 Verde	Linha 3 Vermelha	Linha 5 Lilás	Linha 15 Prata
Extensão (km)	20,2	14,7	22	8,4	26,2
Estações	23	14	18	6	18
Número de trens (pico)	41	22	40	7	45
Intervalo entre trens (pico)	113	132	104	222	90

## 2. NÍVEL DE RUÍDO

Outra característica apresentada por esse modal é referente ao baixo nível de ruído que deverá ser implantado assegurando que o veículo do Sistema Monotrilho atenda aos requisitos da Norma Brasileira - NBR 13068 referentes aos níveis de ruído interior e exterior.

Ele abrange somente o ruído conduzido pelo ar gerado pelo veículo, da seguinte maneira:

- Identificando todas as fontes potenciais de ruído e vibração no veículo.
- Criando projeções para ruídos de subsistemas individuais.
- Estabelecendo aos fornecedores limites para ruídos de subsistemas.
- Empregando todas as medidas necessárias de controle de ruído e vibração durante o projeto,
- Realizando testes de qualificação para assegurar que todos os subsistemas e o veículo atendam aos requisitos definidos

O Plano de controle de ruído do veículo incorpora os seguintes elementos:

- Previsão do Nível de Ruído do Veículo e Projeção de Ruído de Subsistemas
- Especificações de Subsistemas
- Previsão do Nível de Ruído de Subsistemas
- Testes de Componentes
- Medidas de Controle do Ruído
- Testes de Qualificação de Ruído de Subsistemas
- Testes de Qualificação de Ruído do Veículo

### 3. CONSTRUÇÃO / PESO

A fim de garantir um excelente desempenho com utilização racional dos recursos a relação construção/peso é considerada um dos alicerces dos trens do Sistema Monotrilho da Linha 15 – Prata do Metrô de São Paulo.

Como exemplo, podem-se analisar as características construtivas, principalmente relacionadas ao peso. A estrutura dos carros pode ser dividida em três módulos: teto, laterais e estrado. Os dois primeiros são fabricados em Alumínio Extrudado e o último em Aço (Carbono e Inox).

O que podemos considerar de inovação neste tópico, é que a utilização de Aço Carbono ou Aço Inox é comum na construção das “caixas” dos trens, porém, para a Linha 15 o Alumínio foi escolhido. E temos como principal característica a redução do peso total da estrutura.

Para uma análise rápida, temos nas laterais e teto uma massa total de aproximadamente 1.500kg. Considerando a relação de densidade entre os materiais:

Aço Inox: 7,9g/cm<sup>3</sup>

Alumínio: 2,7g/cm<sup>3</sup>

Assumindo um mesmo volume de material, se as laterais e o teto fossem de aço inox teríamos um conjunto três vezes mais pesado. Uma estrutura mais leve permite menor consumo de energia, facilidade no processo produtivo, economia de material, etc.

### 4. BATERIA

O sistema de bateria tem a função de fornecer energia de emergência para as cargas essenciais (ventilação do VAC, iluminação de emergência, funções de proteção do ATC, alarmes, etc).

Comumente são utilizadas baterias Níquel-Cadmio, porém para os trens da Linha 15 – Prata optou-se por sistemas de Sódio-Níquel. Com isso se ganha em redução de dimensões e peso.

ESPECIFICAÇÃO	VALORES
Capacidade Nominal	80Ah
Dimensões	526 x 615 x 378 (c x l x a)
Peso	104kg
Tensão de Saída	113V

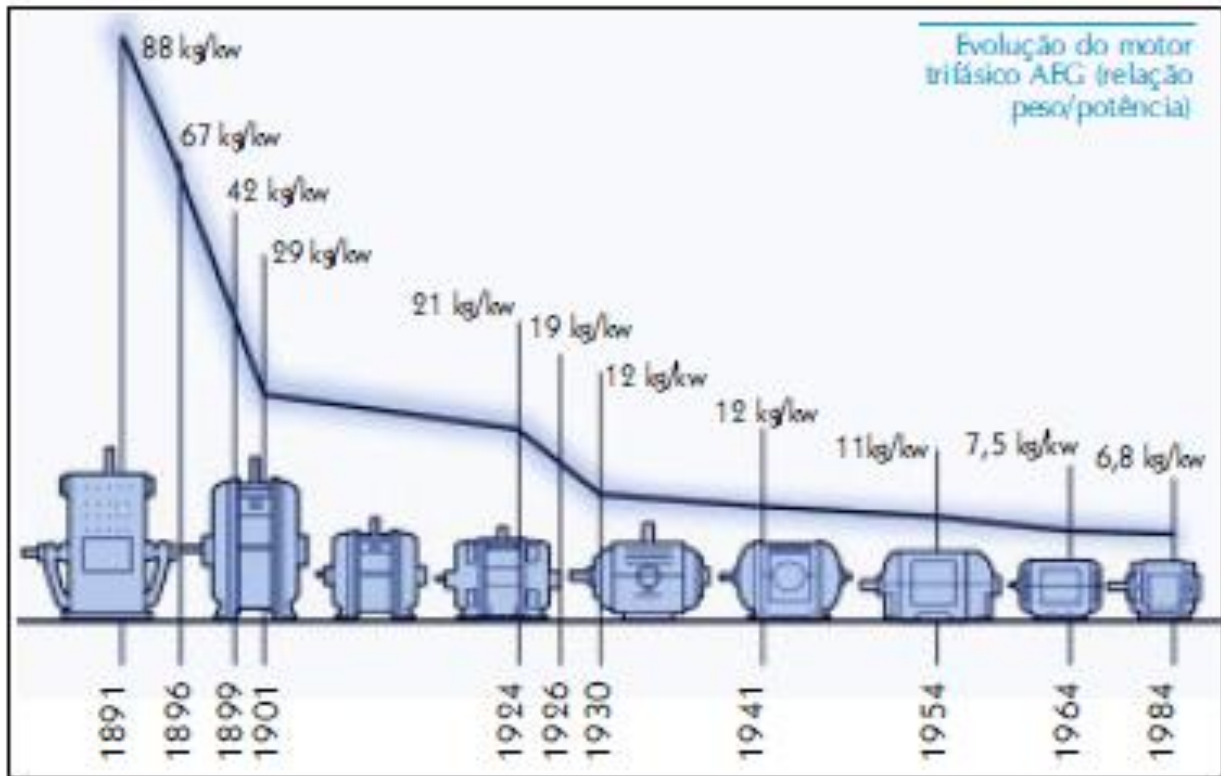
Cada carro tem uma bateria e a recarga dela é feita através da APU (Unidade de Alimentação Auxiliar). Existe um sistema de redundância, pois a cada dois ou três carros as baterias estão em paralelo.

As baterias são compostas de células individuais (2 blocos em paralelo com 44 células em série), todas contidas numa estrutura metálica isolada termicamente e com sistema de gerenciamento integrado (BMS). O sistema para carga e funcionamento deve estar com temperatura interna de 265°C, alcançada através de resistores internos. Mesmo com uma temperatura interna alta, externamente a bateria sempre apresenta uma temperatura, no máximo, 15°C maior que o ambiente.

Não existem ventiladores ou qualquer outra peça móvel e a vida útil do conjunto é superior a 20 anos, observando que do ponto de vista do meio ambiente **xxxxxxxxxxxx**.

## 5. SISTEMA DE PROPULSÃO – MOTOR

O quadro abaixo demonstra a evolução dos motores de indução trifásicos, 1cv (numa relação de peso/potência) ao longo da história. Atualmente, os fabricantes de material rodante têm adotado a solução de motor de indução trifásico AC com o uso do conversor de frequência. Isso já é um avanço em relação aos “famosos” motores DC!



Fonte: WEG em revista - Janeiro/2001

Para a Linha 15 – Prata, todavia, o motor de tração é resultado de um sistema compacto onde a engenharia se destaca e traz o que há de mais moderno no mundo.

Trata-se de um conjunto único, totalmente integrado: motor de ímãs permanentes e redutor sistema planetário. O cubo da roda está no mesmo eixo de saída do redutor e o disco de freio no lado de alta rotação do sistema de propulsão.

O sistema é bidirecional e equipado com diversos sensores para constante verificação de temperatura, nível de óleo, velocidade em tempo real, etc

Para cada carro serão duas unidades ligadas em série, com aproximadamente 488kg cada uma. Seguem dados nominais de cada motor:

Tensão	365V
Corrente	163A rms
Potência útil	96kW
Torque	560Nm
Velocidade	1638rpm
Frequência	109,2Hz
Pólos	8

Os motores de ímãs permanentes são controlados por uma PCU (Unidade de conversão de energia) e são refrigerados à água o que garante baixas temperaturas, alta eficiência, dimensões compactas e baixo nível de ruído (não há ventilador externo).

Para motores AC, indução, trifásico, 60Hz, com potências similares, auto-refrigerados a partir de ventilação externa, temos os seguintes dados para comparar.

	4 pólos	6 pólos	8 pólos	Motor Linha 15 - Prata	Motor Imã Permanente, comercial (2)
Corrente [Arms] (365V)	177	181	193	163	158
Potência útil [kW]	90	90	90	96	90
Peso [kg]	658	686	875	488	562
Peso/potência	7,3	7,6	9,7	5,08 (1)	6,24

Fonte: catálogo WEG

(1) É importante ressaltar que para o motor de tração da Linha 15 - Prata, no peso declarado já está incluso o conjunto redutor planetário e cubo da roda.

(2) Linha WMagnett (Weg Motores)

Seguem algumas informações adicionais dos motores da Linha 15 - Prata:

- operam entre 600V e 900Vcc com potência nominal
- entre 525V e 600Vcc há redução de potência para preservar a subestação de energia.





## PALESTRANTES:

Engº Murilo Mascarenhas

GEM/EMS/CQI

Engº Flavio Infanti

GEM/EMS/CQI