

CATEGORIA 3

SISTEMA DE DISSIPACÃO DE ENERGIA DA FRENAGEM ELÉTRICA DOS TRENS DO MONOTRILHO DA LINHA 15-PRATA

INTRODUÇÃO

A Linha 15 -Prata iniciou sua operação em Agosto/2014, no trecho composto por duas estações (Vila Prudente e Oratório) e o Pátio de Manutenção Oratório, perfazendo um total de aproximadamente 2,7 km, enquanto eram construídas as demais estações e vias.

A partir de Abril/2018, com a inauguração das estações São Lucas, Camilo Haddad, Vila Tolstoi e Vila União, a Linha 15-Prata passou a operar com cerca de 8,8 km de extensão.

Atualmente (2020), a Linha 15 – Prata, está composta por 10 estações (Vila Prudente a São Mateus), operando em um trecho de quase 13 Km de extensão de vias além de um pátio de estacionamento e manutenção (Pátio Oratório) e de 27 trens compostos de 7 carros cada.

Está prevista ainda a extensão de mais 1,7 Km de via com a inauguração da Estação Jardim Colonial prevista no 1º. Semestre de 2021 e em etapa futura, a linha será estendida com a implantação de 6 novas estações e mais um novo pátio de estacionamento, perfazendo um total de 17 estações, 24 km de extensão e 54 trens.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

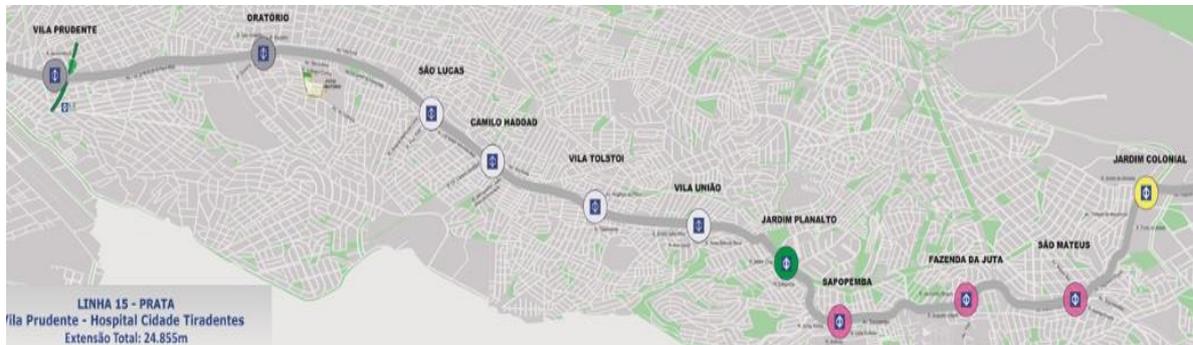


Figura 1 – Trecho implantado da Linha 15-Prata do Metrô-SP

Em função das características especiais do modal, apresentaremos, neste trabalho, os princípios básicos de funcionamento do Sistema de Dissipação de Energia da Frenagem Elétrica dos Trens do Monotrilho da Linha 15-Prata, que foram projetados e posicionados em algumas das Subestações Retificadoras, bem como compartilhar algumas experiências vividas durante o desenvolvimento do projeto executivo e da implantação destes equipamentos.

DIAGNÓSTICO

A concepção dos trens para sistema monotrilho da Linha 15

Os veículos do Monotrilho da Linha 15-Prata do Metrô-SP, foram concebidos para operar com um alto nível de automatismo da categoria UTO (Unattended Train Operations).

Estes são do modelo Innovia 300, fabricados pela Bombardier, e foram equipados com um sistema de frenagem regenerativa, onde a energia gerada a partir da frenagem dos veículos é enviada para rede de distribuição de energia 750Vcc para um possível uso em outros veículos.

Entretanto, se outros veículos não estiverem receptivos para uso dessa energia regenerada, a tensão na rede de distribuição aumenta, até o ponto no qual os veículos em processo de frenagem elétrica regenerativa passam a atuar de forma exclusivamente mecânica (frenagem de atrito). Essa é uma condição a ser evitada.

Usualmente, os bancos de resistores de frenagem dinâmica dos trens são embarcados, porém, devido às características construtivas dos Veículos do Monotrilho, com suas restrições de peso e espaço, os resistores foram instalados em algumas subestações de energia distribuídas estrategicamente ao longo da linha, proporcionando uma nova abordagem da operação do sistema.

Esta foi a primeira instalação deste tipo de equipamento/sistema nas linhas operadas pelo Metrô-SP, proporcionando uma ótima oportunidade para debater as suas

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



particularidades, implicações durante a fase de implantação e aspectos operacionais relevantes, que o tornam um elemento importante no conjunto de equipamentos do sistema elétrico desta Linha.

Na linha 15-Prata, foram instaladas Unidades Automáticas de Receptividade Assegurada (AARU), de tecnologia e fabricação da ABB, cuja função é monitorar o nível de tensão na linha, “ligar” e “desligar” um conjunto de acionamentos eletrônicos de potência e resistores, capazes de dissipar o “excesso de energia regenerativa” dos veículos em frenagem, indicado sempre pelo aumento da tensão, acima de um ponto de ajuste. A Unidade tentará manter o sistema estável e, ao mesmo tempo, minimizar o desperdício desta energia dissipada.

Outros sistemas similares de acionamento de resistores de dissipação de energia regenerada, recebem outros nomes, de acordo com os seus fabricantes.

Na apresentação, serão descritas as dinâmicas e condições de operação do AARU, suas limitações e implicações operacionais em caso de falhas ou indisponibilidade, bem como as etapas de operação pela qual a Linha 15-Prata foi sendo implantada, e sua interdependência com o AARU.

Serão abordadas as experiências das implantações de estações em etapas, os resultados verificados, e um breve histórico do desempenho operacional atualmente.

Apresentaremos alguns tópicos que ainda podem fomentar estudos e alternativas para futuros projetos, onde eventuais limitações do Material Rodante não possibilitem que os sistemas de dissipação de energia de frenagem regenerativa sejam embarcados e necessitem ser instalados nas estações ou junto às vias.

ANÁLISE

Fases de implantação dos AARU na Linha 15

Os equipamentos AARU foram projetados, construídos e implementados pelo Consórcio responsável pelo fornecimento do conjunto Trem/Via/Sinalização da Linha 15-Prata, nas seguintes localidades:

Localização	Designação TPS	Nome da Estação
1	E01T	Vila Prudente
2	E04T	Camilo Haddad
3	E07T	Jardim Planalto
4	E09T	Fazenda da Juta
5	E11T	Iguatemi
6	E13T	Jacu Pêssego
7	E14T	Erico Semer
8	E16T	Cidade Tiradentes

Tabela 1 – Localização dos AARUs

Em função da implantação em etapas, podemos observar que na etapa 1A, o trecho operou com apenas 1 AARU, localizado na Estação Vila Prudente.

Na etapa 1B, passou-se a operar com 4 AARUs, ou seja, os equipamentos instalados em Vila Prudente, Camilo Haddad, Jardim Planalto e Fazenda da Juta.

Contexto

Nos novos projetos e implantações de sistemas metroferroviários há uma preocupação com a busca por práticas que propiciem uma boa eficiência energética, e possíveis economias na sua operação e manutenção.

O consumo de energia elétrica para a alimentação dos trens, representa de 70 a 80% do consumo total de uma linha de Metrô ou VLT. Os demais 20 a 30% normalmente são gastos para as alimentações das cargas auxiliares das estações e pátios: escadas rolantes, ventilação, iluminação, bombeamentos, etc.

Frenagem dos trens

Na “Frenagem elétrica regenerativa” em trens de sistemas metropolitanos, são adotadas, tradicionalmente, algumas formas possíveis:

1. **Frenagem de atrito** (discos e pastilhas nos rodeiros)

2. **Frenagem elétrica regenerativa**, quando o motor passa a operar como gerador, “devolvendo” a energia cinética em forma de energia elétrica. Esta energia pode ser consumida por outros trens que estejam em partida ou em aceleração. No caso de não existirem trens receptivos, a energia é dissipada em resistores ou acumuladores (super capacitores, baterias ou volantes de inércia).

2.1. Embarcados

Os resistores e inversores são posicionados embaixo ou acima das composições.

As desvantagens são o aumento do peso e volume ocupado nos trens (inversor, controle e resistores), em caso de necessidade de manutenção destes equipamentos retira um trem da frota.

As vantagens são: um melhor rendimento devido à menores perdas nas linhas de contato e de distribuição (barramentos condutores e cabos) e as interações, a comunicação entre os circuitos de controle (acionamento e recuperação) intrínsecos ao trem, resistores menores distribuídos em todas as composições de uma linha.

2.2. Na margem das vias (ou nas subestações)

Sistemas externos ao trem dissipam (resistores), armazenam (super-capacitores, baterias ou volantes de inércia) ou recuperam (inversores CC/CA) a energia da frenagem dos trens.

A corrente flui pelos barramentos condutores (trilho, terceiro trilho, quarto trilho ou catenária), cabos e equipamentos de manobra, até os dispositivos de potência citados acima.

Desvantagens: A única comunicação entre os trens e os dispositivos é a própria tensão do circuito de potência (750Vcc ou 1500Vcc). Os circuitos de controle são independentes, exigindo grande precisão e controle dos acionamentos externos.

A grande vantagem é a redução do “peso morto” nos trens, além de não imobilizar o trem em caso de manutenção destes equipamentos.

Descritivo do sistema AARU

Cada sistema AARU é formado por um painel de controle montado dentro da subestação de energia (TPS) e seis bancos de resistores individuais instalados na área externa da Subestação, em uma área segura, ventilada e cercada

1. Painel de Controle da AARU

O Painel de Controle da AARU consiste em 2 (dois) armários de metal internamente independentes, com um compartimento de energia e um compartimento de controle acessível por uma porta frontal.



Figura 3 – Painel de Controle do AARU

2. Banco de Resistores da AARU

A função da AARU é monitorar o nível de tensão no sistema e “ligar” um “Resistor” capaz de absorver o excesso de potência regenerativa dos veículos em frenagem todas as vezes nas quais a tensão aumentar acima do ponto de ajuste. A AARU tentará manter o sistema a 100% de receptividade para os veículos em frenagem e, ao mesmo tempo, dissipar a potência não utilizada na regeneração.

Cada “Resistor” da AARU consiste de seis bancos de resistores que podem ser conectados em paralelo ou em grupos de resistores para permitir a comutação em três etapas, cada etapa correspondendo a 1/3 da carga resistiva nominal total do banco de resistores.

Os resistores estão instalados dentro de compartimentos metálicos, que promovem a proteção contra contato acidental com componentes energizados ou termicamente quentes. Os resistores contam com isoladores de classe 2 kV para isolamento entre o elemento resistor e a estrutura. A temperatura dos elementos dos resistores atinge, aproximadamente, 350°C durante um ciclo normal de operação. O resfriamento dos elementos dos resistores é fornecido pelo fluxo natural de ar.

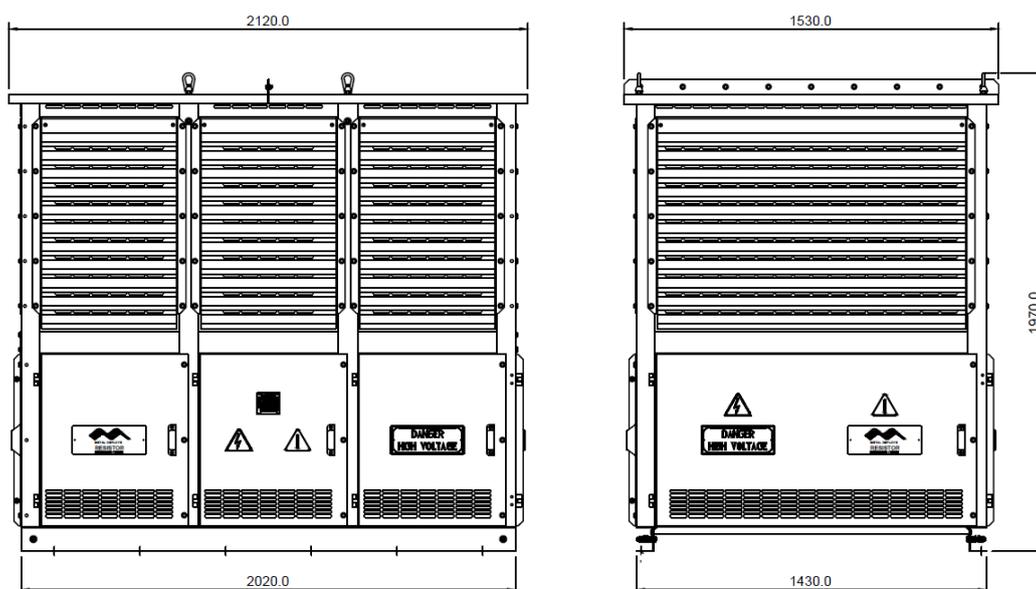




Figura 4 – Banco de Resistores do AARU

Início das implantações

Considerando que as simulações realizadas pelo Consórcio construtor consideravam a operação em carrocél de um determinado número de trens, com carregamentos e headway estimados, verifica-se um cenário de demanda de utilização dos AARUs que, quando da operação do trecho 1A com apenas 2 estações e 2 trens operando em Shuttle e baixa demanda, apresentou um comportamento diferente, com baixa receptividade elétrica e muitos acionamentos do AARU para equalizar as tensões da linha.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



O excesso de acionamento dos AARUs, causava a atuação de sua proteção térmica, dado que não havia tempo suficiente para seu pleno resfriamento. Com o desligamento do AARU, a tensão da linha subia a ponto de ultrapassar os valores de segurança dos sistemas do trem, causando a desativação da frenagem elétrica e a utilização da frenagem por atrito.

O uso do freio de atrito por períodos prolongados não é recomendável no caso dos monotrilhos da Linha 15, dado que eles não são dimensionados para uma operação prolongada. Neste caso, por segurança, o próprio trem impõe restrição de velocidade, impactando a oferta dos serviços.

Com a implantação da Fase 1B da Linha 15, onde as subestações retificadoras foram fornecidas e instaladas por um Consórcio diferente das do trecho 1A, implicando em projeto e fabricantes dos cubículos de tração diferentes, novas adequações foram necessárias para o funcionamento do mesmo AARU no sistema.

Com a implantação das novas subestações com AARU, também foram necessários os “refinamentos” nos parâmetros de funcionamento dos AARUs, para evitar acionamentos indevidos entre os AARUs de diferentes localidades e otimizar o consumo de energia.

Ocorreram também acionamentos indevidos dos AARUs, causados por incompatibilidades nas estratégias de testes de frenagens dos trens no momento da injeção de trens para as vias.

DOS RESULTADOS

Como a Linha 15- Prata, do Monotrilho do Metrô-SP, ainda não opera plenamente em capacidade, não temos valores precisos de proporção do consumo de energia no sistema de tração x sistemas auxiliares x energia dissipada nos resistores.

Esta eficiência energética é influenciada ainda por vários outros fatores, dentre eles a adequada manutenção, ajustes dos pontos de acionamento e desligamento dos AARUs, e principalmente quanto às estratégias de operação.

O período entre Jun/18 e Mar/19, foi marcado por intensos testes dos trens e do sistema de sinalização no trecho entre Vila Prudente e Jardim Planalto, e os gráficos abaixo retratam a quantidade de ocorrências com os 3 AARUs que já estavam em operação preliminar (VPM, CAD e JPL)

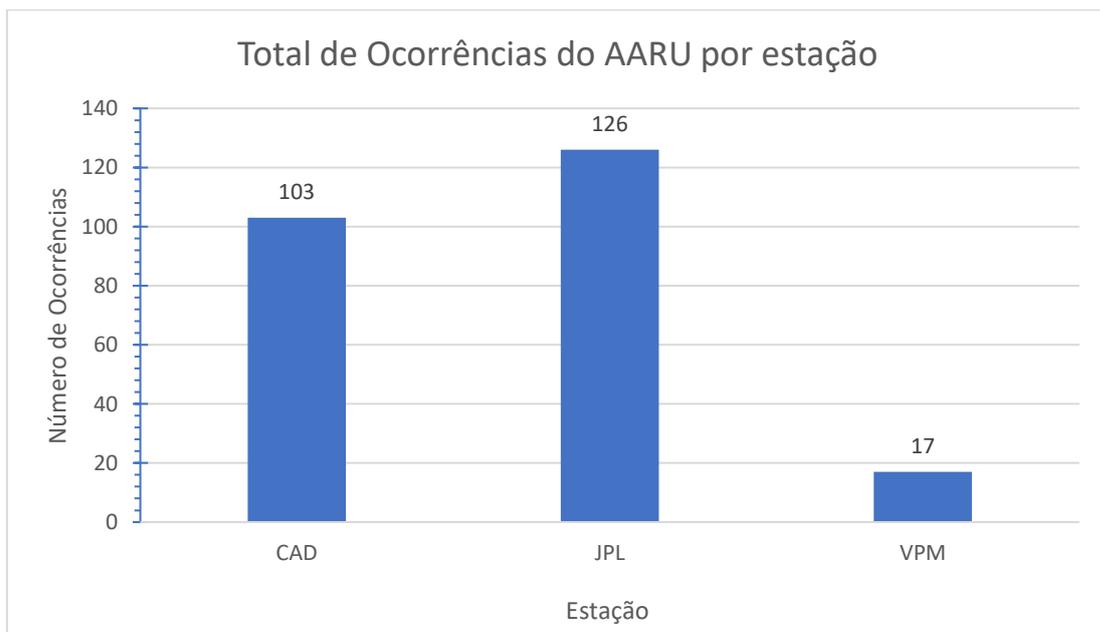


Gráfico 1 – Quantidade de Ocorrências dos AARUs

A grande maioria das ocorrências acima causavam o desligamento por proteção do AARU, causando impacto na operação da linha.

CONCLUSÕES

Dadas as características deste sistema, alguns aspectos importantes no funcionamento do AARU podem afetar diretamente a operação do sistema, especialmente em caso de falhas ou parâmetros inadequados, que possam causar o desligamento dos alimentadores das subestações ou as restrições de desempenho dos trens.

As avaliações de medições de dados e valores de energia dissipados nesta linha, podem propiciar melhores estudos comparativos futuros, que justifiquem a aplicação de outras tecnologias e equipamentos para substituir a dissipação, por alternativas de acúmulo da energia, com uso de super capacitores, baterias, volantes de inércia ou mesmo a aplicação de inversores CC/ CA em baixa tensão ou mesmo média tensão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Estudo Comparativo entre Armazenador Capacitivo, Volante de Inércia e Inversor – Morais/ Cruz/ Coura – AEAMESP – 13.STMF – 2007
- Kiessling, Puschmann, Schmieder, Schneider - Contact lines for electric railways: Planning, design, implementation, maintenance - Publicis Publishing - Erlangen, 2nd edition, 2009
- Pires, Cassiano Lobo - Engenharia Elétrica Ferroviária e Metroviária: do trólebus ao trem de alta velocidade - Ed. LTC-GEN - Rio de Janeiro - 2013
- Alouche, Peter – Análise geral e considerações sobre o sistema AARU – PA Transport - 2017
- ABB/ Envitech - AARU ASSEMBLY and OPERATING MANUAL, Agosto/2018
- Escolha da Tensão: Subestação Retificadora, Trens e Eficiência Energética – Haga/ Laudanna/ Saito – AEAMESP – 25.STMF – 2019