

5º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

MANUTENÇÃO BASEADA EM CONDIÇÃO: IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE  
MONITORAMENTO DOS FUSÍVEIS DE SAPATA COLETORA DE TERCEIRO  
TRILHO NOS TRENS DO METRÔ-SP

**INTRODUÇÃO**

Atualmente vários projetos de Manutenção Baseada em Condição estão em curso no Metrô de São Paulo, esta metodologia consiste em monitorar as condições da máquina e equipamento, existem manutenções que devem ocorrer de forma regular e programada, mas há outras que podem ser executadas com base na condição da máquina ou equipamento.

O monitoramento contínuo é uma ótima ferramenta para manter as condições dos equipamentos, auxiliando as empresas e funcionários no controle, manutenção mais assertiva e uma melhor relação de custo x benefício.

Este trabalho visa demonstrar o Sistema de Monitoramento dos Fusíveis de Sapatas dos trens do Metrô de São Paulo, o sistema foi desenvolvido com a finalidade de detectar

automaticamente falhas no sistema coletor de energia elétrica dos trens das Linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha, e atuar de forma preditiva através da análise dos dados coletados.

**Segundo R. C. M. Yam et al. (2001, p.384) a manutenção baseada em condições é:**

*[...] um método usado para reduzir a incerteza das atividades de manutenção e é executado em função da necessidade indicada pela condição do equipamento. A manutenção baseada na condição assume que parâmetros indicadores de prognósticos podem ser detectados e usados para quantificar possíveis falhas do equipamento antes que elas realmente ocorram. Parâmetros Prognósticos fornecem a indicação de possíveis problemas e falhas menores que levariam o equipamento ou componente a se desviar do nível de desempenho aceitável. Em manutenção, problemas comuns em equipamentos são envelhecimento e deterioração. A tendência da deterioração de componentes críticos também pode ser identificada através de uma análise de tendências dos dados de condição do equipamento.*

*[...] O monitoramento de condições é definido como a coleta e interpretação de parâmetros relevantes do equipamento com o objetivo de identificar a tendência de alterações no estado normal do equipamento. Parâmetros do equipamento são um grupo de características que indicam a sua condição operacional. Essas características, como vibrações e temperaturas, geralmente permanecem estáveis, desde que o equipamento esteja saudável. Entretanto, uma anormalidade nessas características pode indicar a ocorrência de uma falha funcional. A informação sobre o aparecimento de uma falha menor do equipamento pode ser obtida a partir do monitoramento destes parâmetros prognósticos.*

## **1 - SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA DOS METROCARROS**

O Metrô de São Paulo hoje transporta mais de 4 milhões\* de usuários de forma rápida e segura.

Para garantir o desempenho dos trens é necessário um sistema de alimentação confiável, nas linhas 1, 2 e 3 do Metrô-SP o sistema de alimentação dos trens consiste basicamente em retificadores instalados ao longo da via visando garantir a tensão de 750Vcc necessário para alimentar os sistemas de tração e conversores auxiliares que alimentam as cargas auxiliares como: carregares de baterias, iluminação, ar condicionado.

Nota\*: Fonte Metroweb

Na figura 1 a representação básica da distribuição da alimentação de 750Vcc em um metrocarro.

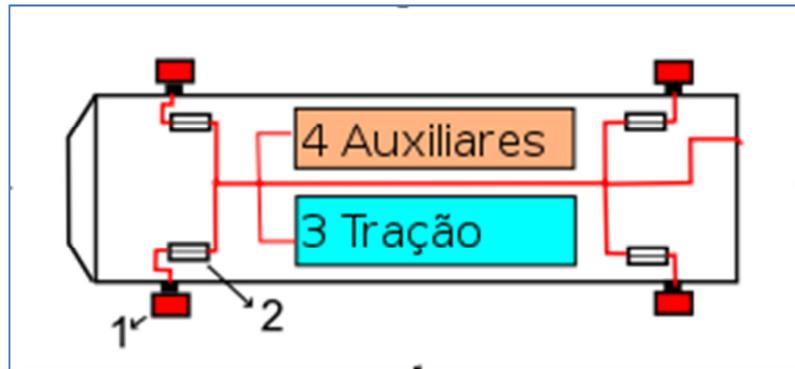


Figura 1 - Esquema básico do sistema de alimentação elétrica do metrocarro:

- 1 - Sapata coletora de terceiro trilho.
- 2 - Fusível de proteção.
- 3 - Propulsão, sistema responsável pela tração/ freio elétrico do trem.
- 4 - Conversor auxiliar, fornece 380Vac para os sistemas de ventilação/ar condicionado, carregador de baterias, iluminação etc...

O sistema coletor, figura 2, interliga o trem ao sistema de fornecimento de energia através do terceiro trilho que é instalado em toda a extensão das vias e pátios de manutenção, figura 3.

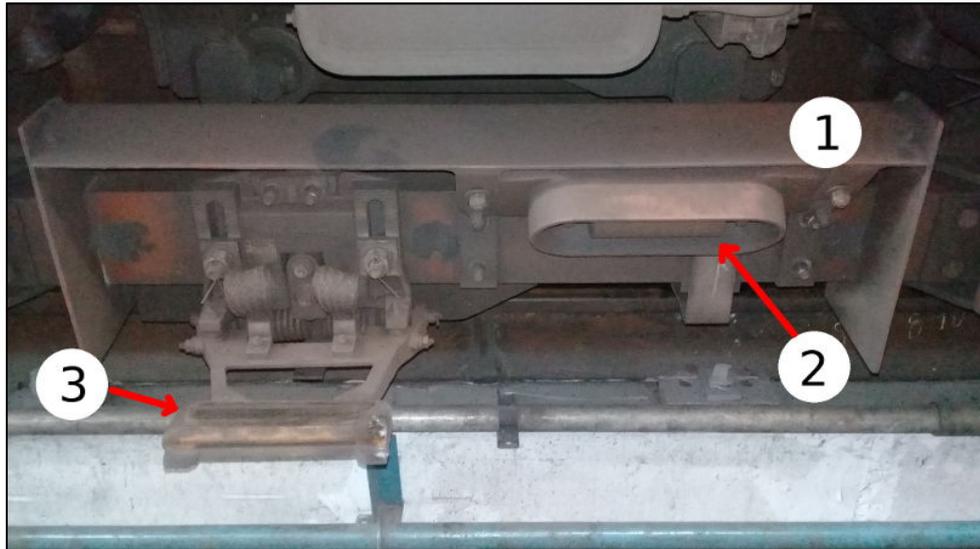


Figura 2 - Sistema Coletor completo(1), Fusível de sapata coletora(2), Sapata coletora de 3° trilho.



Figura 3 - Terceiro trilho (1) instalado ao longo das via.

Os trens das linhas 1, 2 e 3 são compostos por seis carros, totalizando 24 conjuntos de sapatas coletoras e seus respectivos fusíveis, são 12 sapatas para cada lado do trem,

sendo que cada carro possui 4 sapatas, 2 de cada lado, figura 4. Os 4 fusíveis do carro estão interligados e para aumento da confiabilidade do sistema existe um cabo conectado ao carro adjacente, figura 4, ligando os carros aos pares figura 5.

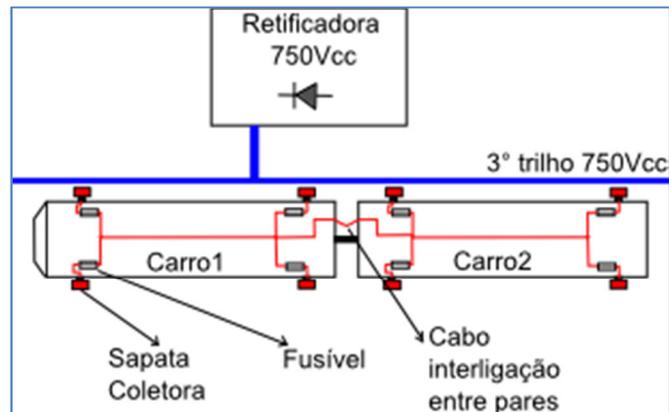


Figura 4 - Representação da alimentação elétrica de um par de carros.

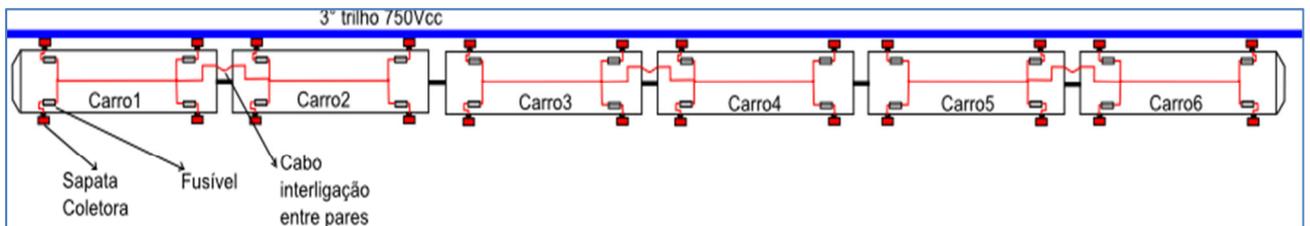


Figura 5 - Representação da interligação do 3º trilho, sapata coletora e fusível, carros conectados aos pares. O terceiro trilho poderá estar instalado em qualquer um dos lados do trem, conforme a necessidade do projeto da via.

Nota: O negativo da retificadora está conectado ao trilho de retorno.

A queima de um fusível ou a falha em uma sapata coletora pode afetar o desempenho do trem principalmente em regiões possuam "gaps", figura 6, que são seccionamentos dos terceiros trilhos em regiões de manobras de trens, os efeitos desta falha são desligamentos momentâneos nos sistemas de tração e alimentação dos sistemas auxiliares no par de carros, o desempenho do trem é afetado devido a perda de 1/3 da capacidade de tração e também devemos ressaltar no conforto do usuário em relação ao desligamento momentâneos da iluminação e ar condicionado. Outro efeito indesejado com a queima do fusível ou falha da sapata coletora é o aumento da demanda de corrente nos fusíveis e sapatas remanescentes, uma vez que a corrente que era fornecida pelo fusível/sapata com falha será suprida pelos demais, este aumento de demanda poderá gerar um efeito em cascata, por que com o aumento da corrente os fusíveis remanescentes trabalharão sobrecarregados gerando um aumento da sua temperatura por efeito Joule, acelerando a sua degradação e por consequência a queima. Casos extremos a temperatura no fusível pode se elevar a tal ponto que cause a combustão do sistema coletor, ocasionado um principio de incêndio, figura 7.

### Gap de Terceiro Trilho

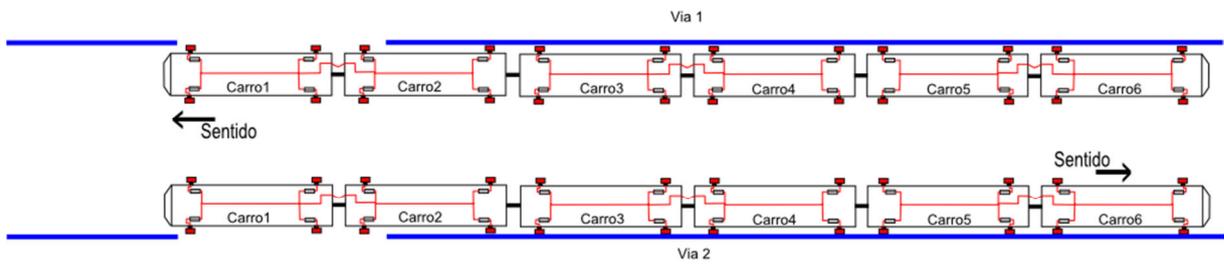


Figura 6 - Gap de terceiro trilho



Figura 7 - A esquerda fusível em condições normais, a direita fusível danificado por sobre aquecimento , principio de incêndio.

## **2 - SISTEMA DE MONITORAMENTO DOS FUSÍVEIS DE SAPATA COLETORA DE TERCEIRO TRILHO DOS METROCARROS.**

O Sistema de Monitoramento dos Fusíveis de Sapata Coletora é um dos itens do Projeto de Monitoramento de Ativos Embarcados (MAE) que está em estudo e implantação no Metrô de São Paulo.

O sistema foi concebido para detectar possíveis problemas no equipamento coletor da alimentação do metrocarro, descrito anteriormente, que basicamente é constituído das sapatas coletoras, fusíveis e cabos.

O Sistema de Monitoramento de Fusíveis de Sapata Coletora do Trem é um equipamento instalado na via comercial, que verifica a integridade do sistema coletor da alimentação elétrica durante a movimentação do trem, figura 8 temos a configuração do sistema:

- 1 - Terceiro trilho real responsável pelo fornecimento de 750Vcc para o trem.
- 2 - Segmento de terceiro instalado do lado oposto ao terceiro trilho real, ele está conectado a um detector de Alta Tensão.
- 3 - Sensor de posição/contagem de eixo, informa ao sistema o instante para a leitura do sensor de alta tensão.
- 4 - Interface para adequação dos sinais do sensores.
- 5 - Micro computador com sistema operacional Linux.
- 6 - Conexão de rede ethernet.

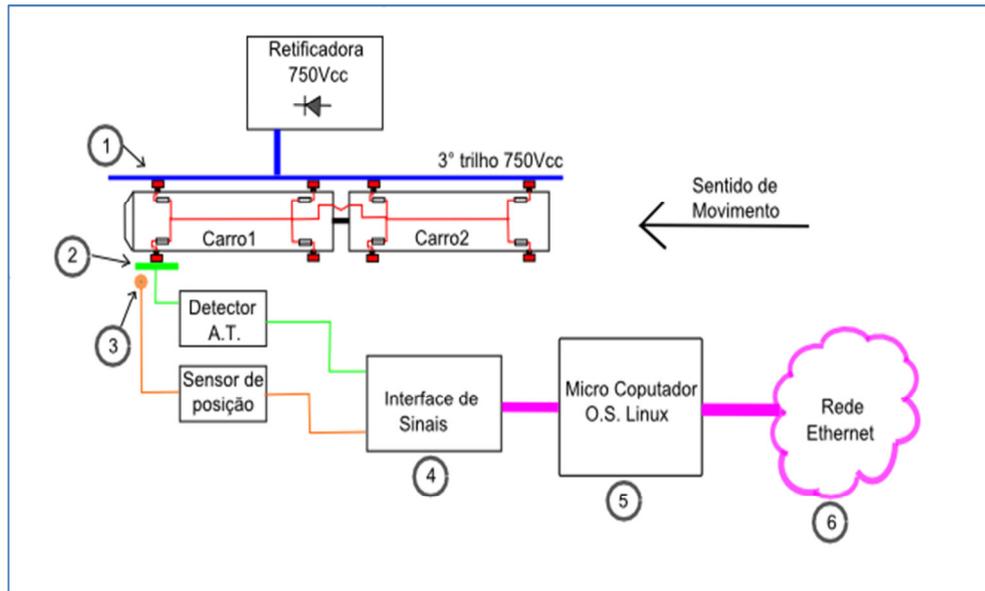


Figura 8 - Configuração básica do Sistema de Monitoramento dos Fusíveis de Sapata.

Na figura 9 temos a instalação na estação Pedro II do segmento de terceiro trilho, com a passagem do trem a sapata coletora em teste irá energizar o segmento com a tensão de 750Vcc para a detecção do sistema.

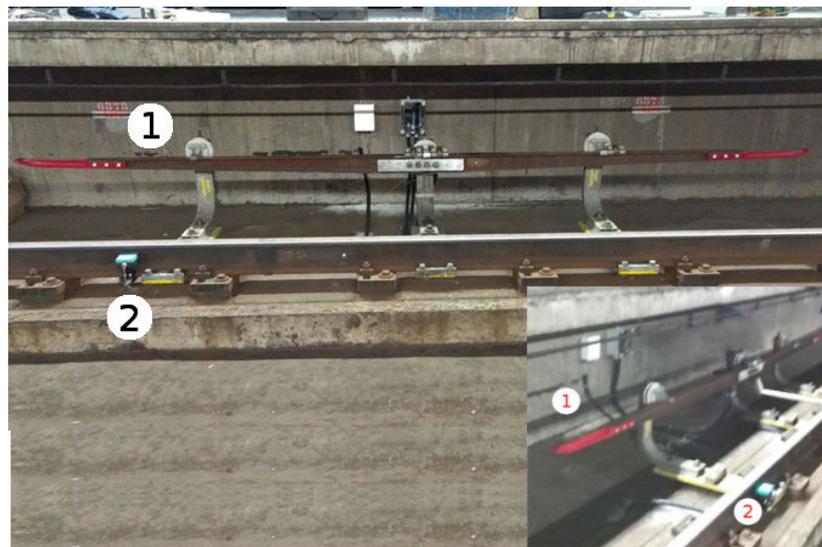


Figura 9 - Protótipo instalado na estação Pedro II, segmento de terceiro trilho(1), sensor do ponto de detecção/contagem de eixo(2).

Na figura 10, abaixo temos a montagem do rack com os equipamentos eletrônicos do Sistema de Monitoramento dos Fusíveis de Sapata Coletora, instalado na sala técnica da estação Pedro II da linha 3 - Vermelha.

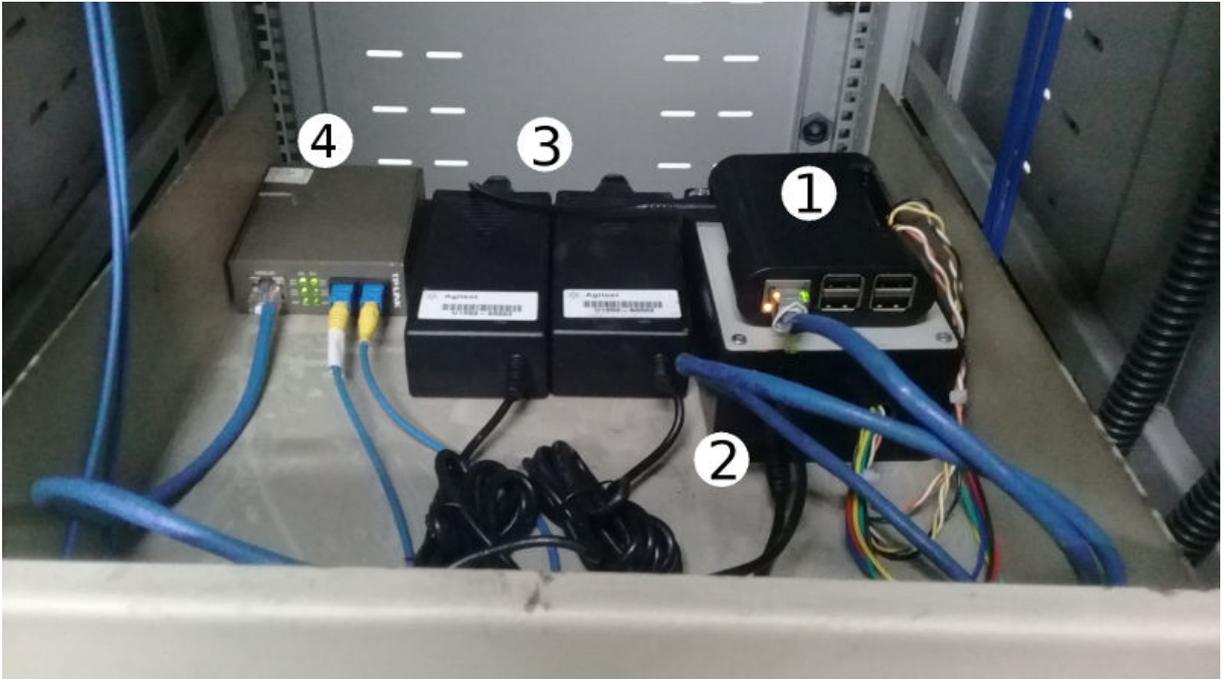


Figura 10 - Rack com os equipamentos eletrônicos do Sistema de Monitoramento dos Fusíveis de Sapata Coletora.

Descrição dos itens do rack eletrônico:

- 1 - Micro computador Raspberry PI-3 , sistema operacional Linux Raspbian,
- 2 - Interface de sinais dos sensores de A.T. e posição/contagem.
- 3 - Fonte de Alimentação.
- 4 - Conversor Ethernet de cabo UTP para fibra óptica.

O funcionamento do sistema consiste em checar a continuidade elétrica do fusível de sapata que está do lado oposto do terceiro trilho real, quando o sensor de posição/contagem contar um eixo ímpar do trem, a sapata coletora em teste estará em contato com o segmento de terceiro trilho e o sistema irá verificar a presença de 750Vcc através do sensor A.T., no caso de ausência dos 750Vcc o sistema sinalizará uma falha de fusível. Qualquer anormalidade que interrompa a continuidade elétrica, como por exemplo fusível aberto, ajuste da sapata abaixo do gabarito, placa de desgaste fora do gabarito, sapata quebrada, será indicado como uma falha.

No gráfico 1 temos o registro da passagem do trem pelos sensores de tensão(forma de onda inferior) e o sensor de posição/contagem(forma de onda superior) que indica o momento de detecção ao sistema.

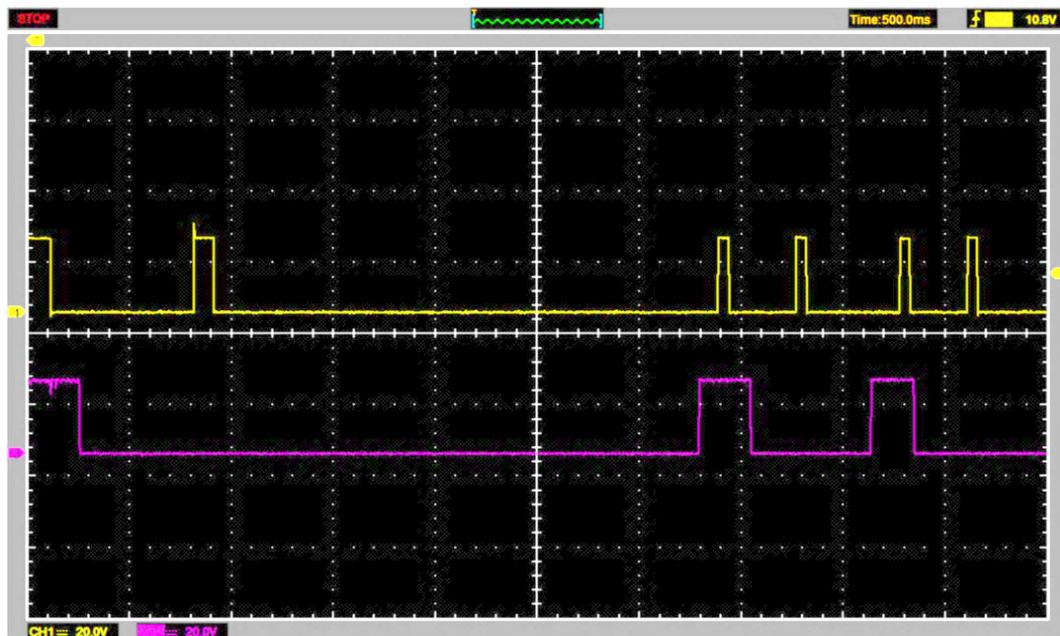


Gráfico 1- Registro dos sensores do Monitoramento dos Fusíveis, canal superior sensor de posição, canal inferior sensor de tensão.

O sistema testa o conjunto de sapatas de um lado do trem por via, então um conjunto de sapatas é testado na ida do trem na via-1 e outro conjunto é testado na volta do trem na via-2, imagem superior da figura 6.

Os sinais dos sensores de posição e alta tensão passam por uma interface para adequação dos sinais e são transferidos para um micro computador com sistema operacional Linux, um software desenvolvido em linguagem Python gerencia todo o processo detectando a posição do trem e verificação da presença de tensão no segmento de terceiro trilho, através de um monitor local ou computador remoto é possível visualizar o teste das sapatas em tempo real com a passagem do trem e ao final o software armazena o resultado do teste de todas as sapatas com os seguintes dados: Data, Hora, Local, Via, Trem e o estado das 12 sapatas/fusíveis de um lado do trem testado, o valor 1 indica OK e 0 indica falha.

Na figura 11 temos a IHM(Interface Homem Maquina) do aplicativo do Monitoramento dos Fusíveis de Sapata Coletora, no momento demonstrando a ausência do trem, os ícones que representam os fusíveis são apresentados com o símbolo "?", na tela também é possível visualizar o histórico dos 5 últimos trens que passaram pelo sistema.

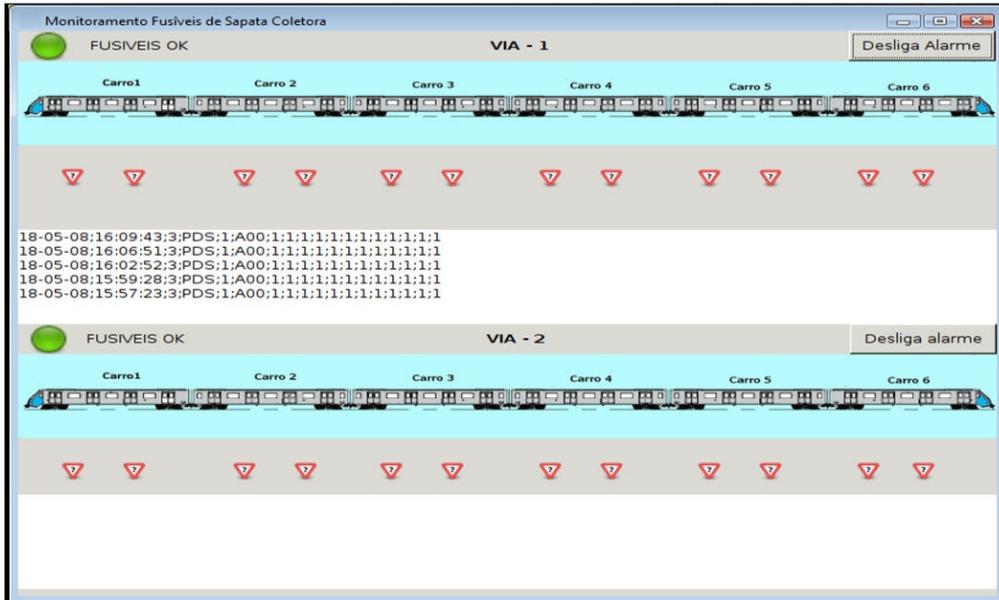


Figura 11 - Tela da IHM sem a presença do trem.

Na figura 12, a tela demonstra o momento em que o trem está sendo testado, conforme o trem se movimenta os fusíveis são testados, caso o resultado do teste seja OK o ícone " ? " será substituído pelo ícone verde de "visto".

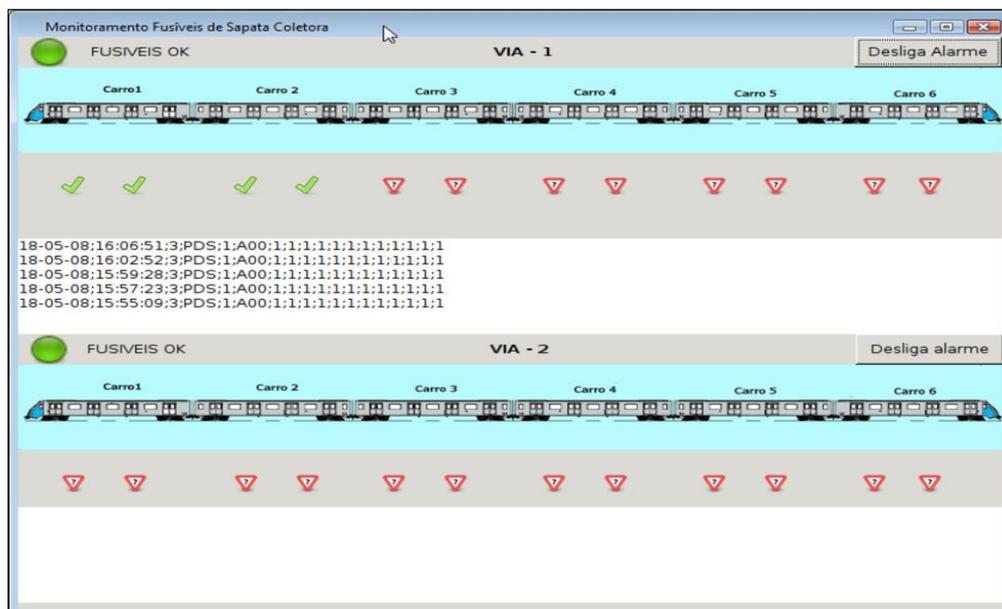


Figura 12 - Tela da IHM do monitoramento, trem em movimento, 4 fusíveis testados.

Nota: A via 2 está em processo de instalação e não está sendo monitorada.

Na figura 13 temos a tela após a passagem total do trem pelo sistema, como não houve falhas todos os ícones dos fusíveis foram indicados em verde "visto".

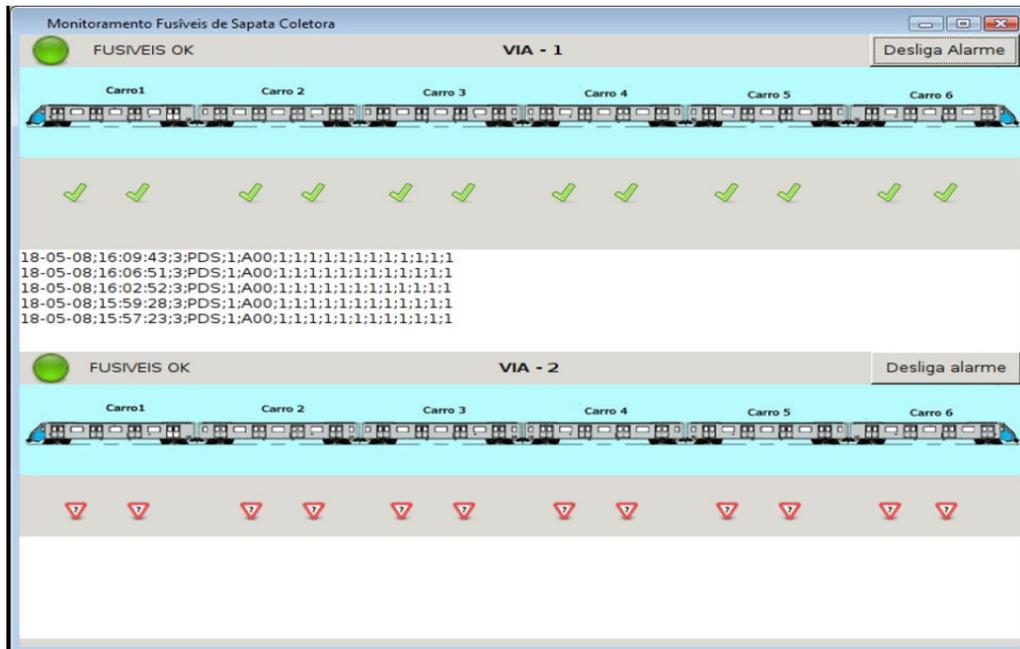


Figura 13- Tela após a passagem de todo o trem pelo sistema.

Na figura 14 temos a tela em que foi detectado a falha na leitura da tensão no fusível 2 do carro 5 na via-1, o ícone foi substituído pelo vermelho "Atenção" e na parte superior da tela temos a indicação de " FALHA FUSÍVEL " que permanecerá piscante até que o botão de "desligar alarme" seja pressionado, note que na primeira linha do campo do histórico pode-se visualizar um "zero" na posição 10 que correspondente ao fusível 2 do carro 5.



As informações estão compartilhadas pela rede Ethernet para o servidor "MAE" ( Monitoramento de Ativos Embarcados ) onde estes dados serão disponibilizados para as equipes de manutenção em tempo real e também gerando uma base de dados para análise estatísticas e detecção preditiva de falhas .

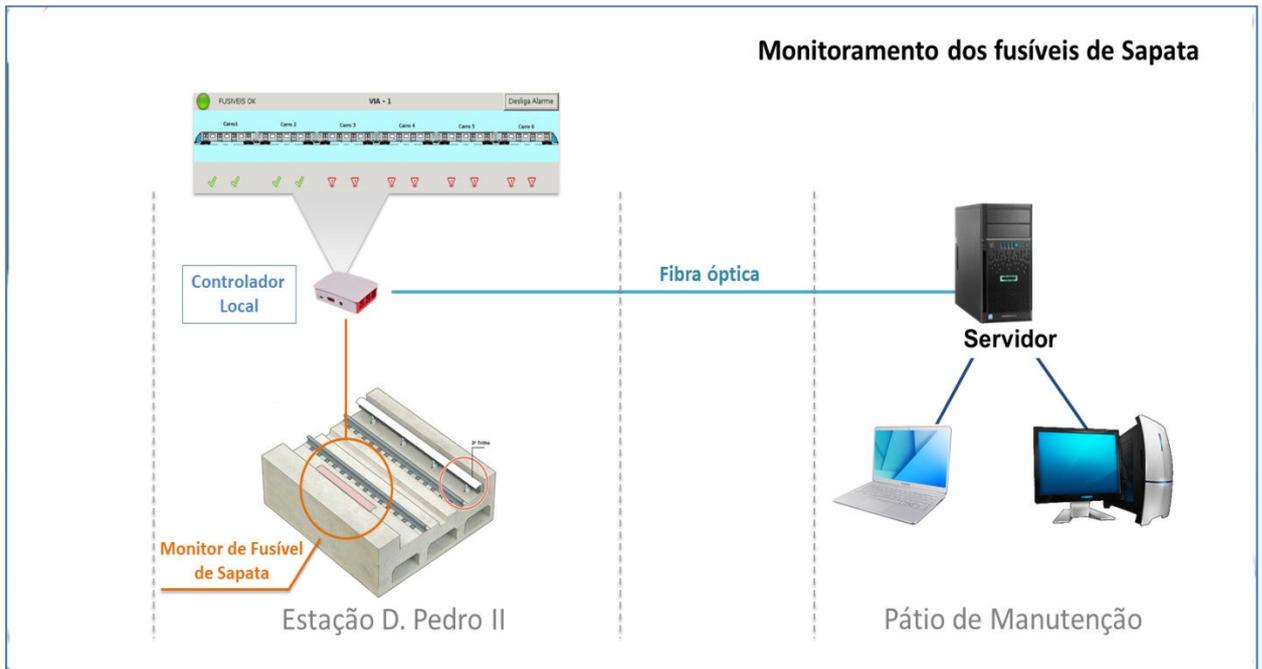


Figura 14 - Sistema de Monitoramento de Fusíveis de Sapata interligado a rede "MAE".

## DIAGNÓSTICO

1. No gráfico 3 , temos os resultados de um dia dos testes armazenado pelo sistema, as colunas indicam o percentual de detecção de tensão individualizado por fusível/sapata coletora.

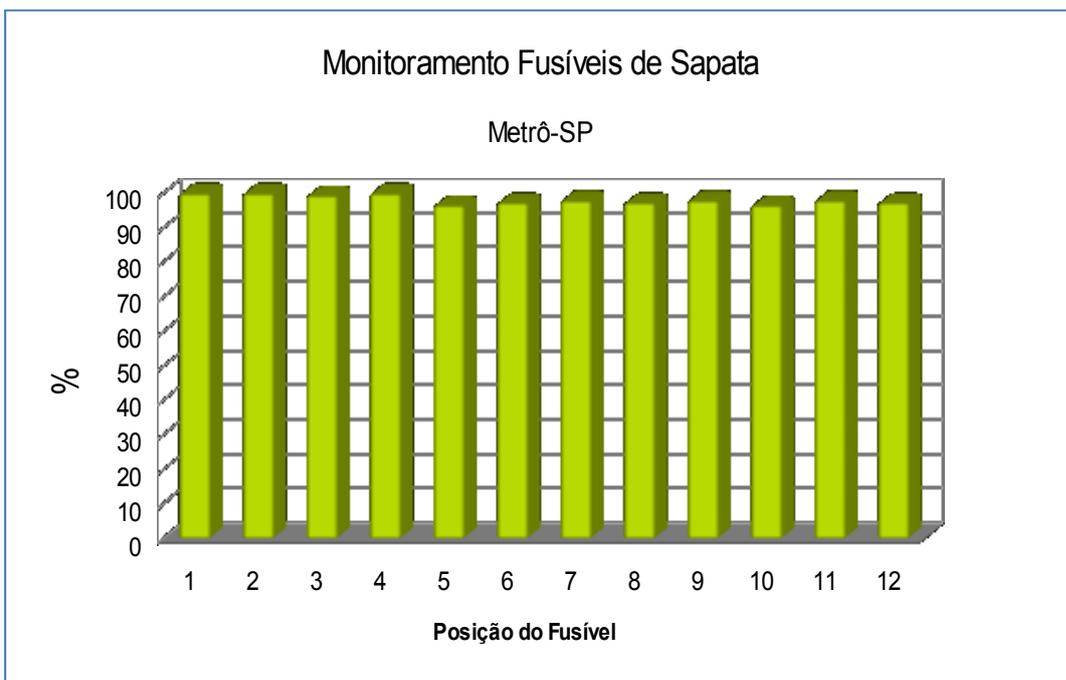


Gráfico 3 - Percentual de detecção positiva da integridade do fusível/coletor.

Como exemplo, a coluna 1 corresponde ao fusível/sapata 1 do carro 1, onde em todas as passagens dos trens pelo sistema o resultado do teste foi 100% positivo. A média de detecção positiva de todos os fusíveis/sapatas foi de 98,5%.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os testes do Sistema de Monitoramento de Fusíveis de Sapata Coletora iniciaram em 07/05/2018 e o comportamento do sistema ainda está sob análise, mas podemos apontar alguns pontos a serem melhorados:

1 - Está em desenvolvimento uma interface para os sensores, especificamente o sensor de A.T., pois notamos durante os testes que durante a passagem do trem em alta velocidade ocorre um quicar da sapata coletora testada, ocasionando uma falsa constatação de falha, gráfico 2.

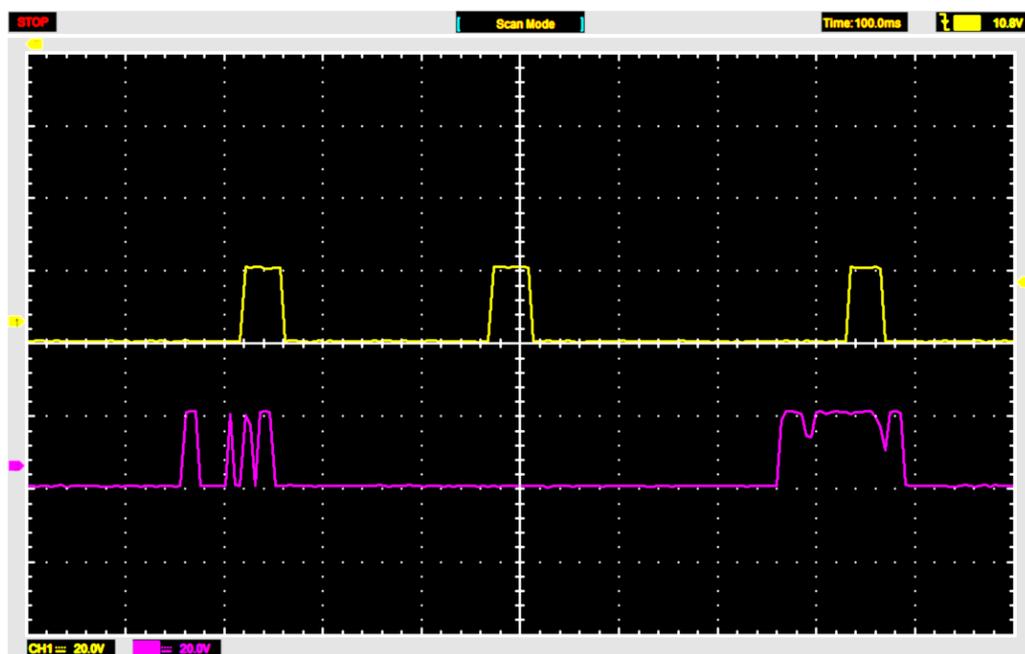


Gráfico 2 - Registro do quicar da sapata coletora(violeta) em relação ao segmento de terceiro trilho.

O efeito visto no gráfico 2 pode ser agravado pelo ajuste da altura da sapata, no caso abaixo do gabarito, o que ocasionaria uma baixa pressão de contato entre a sapata e o segmento de terceiro trilho.

No software foi desenvolvido um algoritmo para avaliação do efeito descrito e criado limites para determinação do modo de falha, este modelo está em análise, mas em trens que ocorreram resultados constantes dos testes, constatamos que o ajuste das sapatas coletoras em questão estavam abaixo do valor do gabarito.

## **CONCLUSÕES**

Os resultados nesta primeira etapa confirma a viabilidade do Sistema de Monitoramento de Fusíveis de Sapatas Coletoras dos Trens, isto baseado no índice de 98,5% na detecção da integridade do sistema coletor.

O Sistema de Monitoramento de Fusíveis de Sapata atualmente está em estudo e desenvolvimento, sendo necessário a implementação de melhorias tanto de hardware quanto de software, contudo o Sistema de Monitoramento de Fusíveis de Sapata Coletora se mostra como uma ferramenta promissora no controle dos ativos embarcados.

Os passos futuros são:

- 1 - Incorporar a identificação do trem no arquivo de resultado de testes.

- 2 - Instalação do monitoramento na via-2 da estação de Pedro II linha 3 - Vermelha
- 3 - Instalação do monitoramento nas linhas 1- Azul e 2-Verde.
- 4 - Envio de mensagens de alerta para as bases de manutenção.
- 5 - Integração ao sistema ao servidor de Monitoramento de Ativos Embarcados (MAE), para análise estatística e preditiva dos dados.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

GNU Linux Intermediário - Autor: Mauro Luiz Vivan Junior

Apostilas Treinamento Raspberry PI - Microgênios.

Linguagem Python - Python Brasil - <https://python.org.br/>

Projeto Interface Gráfica - Glade - Python Brasil - <https://python.org.br/>

Raspberry PI - <https://www.raspberrypi.org/>

YAM, R. C. M. et al. Intelligent predictive decision support system for condition-based maintenance. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 17, n. 5, p. 383-391, 2001.