

3º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA (3)

TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO E REGISTRO DA ASSINATURA DE CORRENTE DE
PROPULSÃO, CÓDIGO DE VELOCIDADE E DETECÇÃO DE OCUPAÇÃO



INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta o estudo do Desenvolvimento da Tecnologia de Medição e Registro de Assinatura de Corrente de Propulsão, Código de Velocidade e Detecção de Ocupação, sem interromper a circulação normal dos trens. Utilizando os trilhos como Shunt e medindo a queda de tensão, obtendo a assinatura típica de corrente, correlacionada com os efeitos físicos dos sistemas da via e do trem.

DIAGNÓSTICO

Com os novos sistemas de sinalização e telecomunicações o Metrô de São Paulo espera-se intervalos entre trens cada vez menores, para a manutenção significa que é necessário extrair o máximo desempenho dos sistemas e equipamentos para acompanhar o forte compasso operacional. E qualquer perturbação do sistema, por menor que seja, gera grandes transtornos operacionais.

Assim diante de uma situação de perturbação do sistema a intervenção da manutenção torna-se muito crítica, exigindo cada vez mais ferramentas de diagnóstico otimizadas e domínio da tecnologia aplicada.

Ressaltando que a simples presença das equipes de manutenção em locais que há riscos, são impostas restrições de velocidades que também impacta neste compasso operacional.

Assim foi desenvolvida a tecnologia de medição e registro da assinatura de corrente de propulsão, código de velocidade e detecção de ocupação no domínio do tempo e frequência.

Esta tecnologia possibilita extrair a maioria dos parâmetros dos sistemas da via e do trem sem interromper a circulação normal dos trens na comercial. Como por exemplo:

PARÂMETROS DOS SISTEMAS DE SINALIZAÇÃO DA VIA:

- Resistências de contato das conexões;
- Desbalanceamento de correntes entre trilhos;
- Mau contato em conexões do Shunt de via;
- Mau contato em conexões do Impedance Bond;
- Fuga em Juntas Isolantes;
- Interferências nos sinais de código de velocidade;
- Interferências nos sinais de detecção de ocupação.

PARÂMETROS DOS SISTEMAS DO TREM:

- Assinatura de corrente do sistema de propulsão;
- Harmônicas dos inversores auxiliares.

Ressaltando também que estas medições podem ser gravadas e monitoradas remotamente (400 metros de distância) e no domínio do tempo e frequência.

Esta tecnologia foi concebida de forma que a sua implantação não tenha interferência na operação comercial, e para a manutenção seja de fácil instalação e as assinaturas de correntes possam ser gravadas e monitoradas remotamente, em locais seguros e com toda infraestrutura para uma melhor análise e tomadas de decisões.

Assim com o desenvolvimento da tecnologia de medição da assinatura de corrente de propulsão, código de velocidade e ocupação, permite o diagnóstico otimizado de falhas, monitoramento de desvios antecipando ações da manutenção, atendendo ao forte compromisso operacional exigido devido à demanda de passageiros cada vez mais crescente, e principalmente obter índices de confiabilidade e disponibilidade elevados.

DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO

A via é uma parte fundamental da infraestrutura Metro-ferroviária. Ela provê um sistema de guia e sustentação mecânica para o material rodante, Para isto, é constituída por um sistema de trilhos, que além das funções mecânicas, são elementos condutores de energia elétrica.

No Metrô de São Paulo os trilhos conduzem corrente elétrica para os sistemas de propulsão e auxiliares dos trens e também conduzem as correntes do sistema de sinalização.

Assim tanto as correntes do trem como também as correntes de sinalização podem ser monitoradas através dos trilhos.

O trilho possui uma resistência elétrica e uma indutância em série como mostra na figura abaixo:

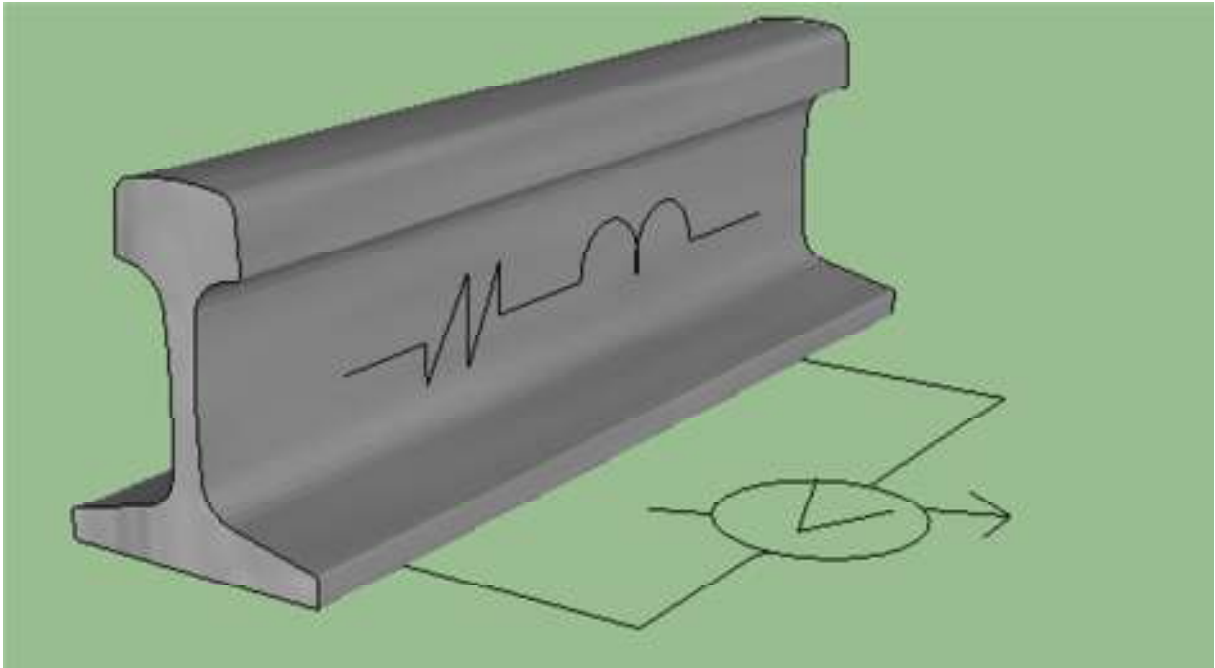


Figura 1 – Representação da resistência e indutância em série e a conexão dos cabos para a medição da queda de tensão produzida pelas correntes no trilho.

Assim conectamos dois cabos na região do “Patins” do trilho para medir a queda de tensão produzida pela passagem da corrente, como se fosse um Shunt de corrente.

Estudos teóricos da Resistencia ôhmica e da Indutância do trilho mostram que estes valores dependem da intensidade da corrente e frequência, como mostra na figura abaixo:

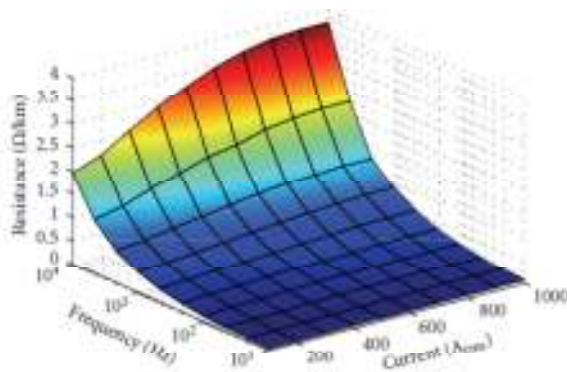


FIGURE 8: Rail resistance calculated by using FEM complex permeability.

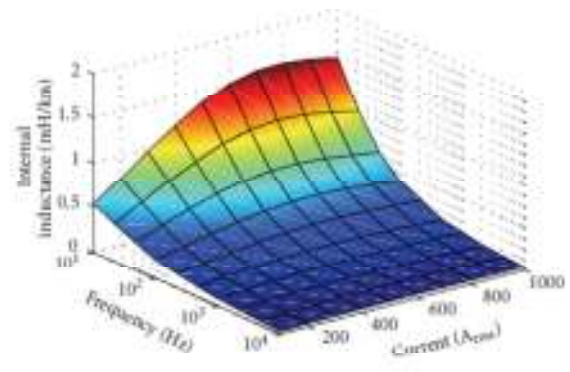


FIGURE 9: Rail internal inductance calculated by using FEM complex permeability.

Figura 2 – Estudos teóricos da resistência ôhmica e da indutância do trilho retirado do artigo do Hindawi Publishing Corporation.

Porém para a maioria das aplicações no Metrô determinamos experimentalmente os valores de resistência ôhmica e indutância para as frequências e níveis de corrente de nosso interesse, que são:

$R = 33$ micro ohms por metro e $L = <0,1$ micro Henry por metro

Ressaltando que na maioria das aplicações comparamos as assinaturas de corrente entre os trilhos como é exemplificado abaixo:

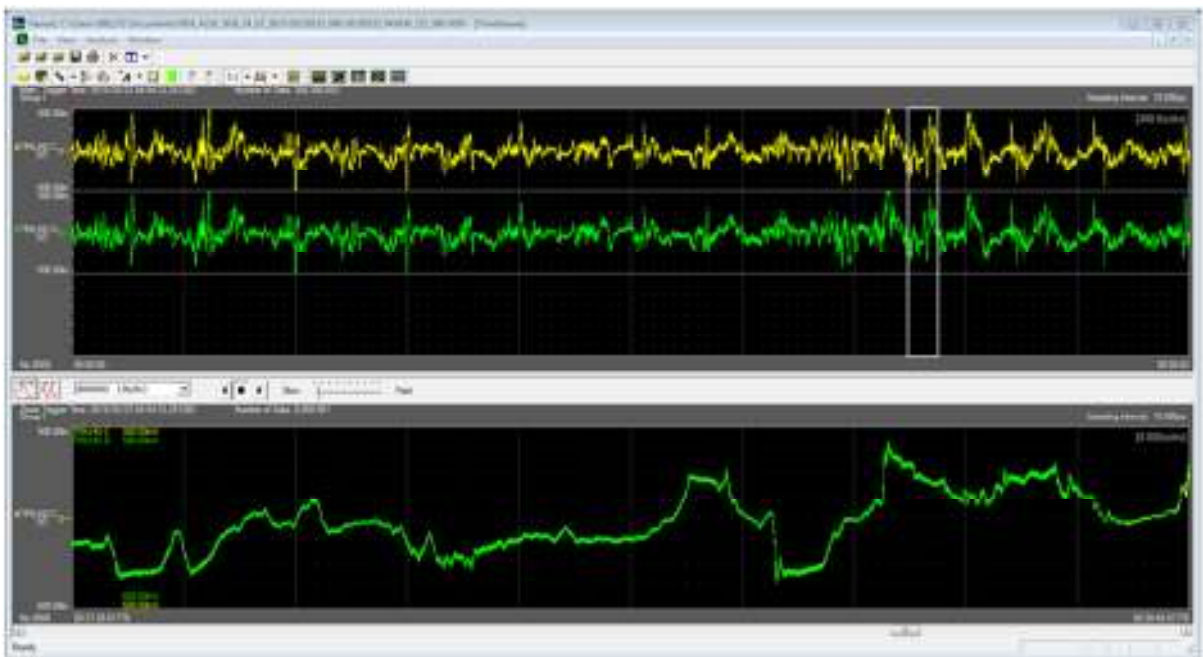


Figura 3 – Exemplo de telas de uma análise de assinatura de corrente de propulsão, onde temos ampliado e sobrepostos os sinais para avaliar o desbalanceamento de corrente entre trilhos.

A montagem física do sistema de medição é realizada conforme a ilustração abaixo:



Figura 4 – Ilustração das ligações para medição e Registro da Assinatura de Corrente que pode ser monitorada à uma distância de 400 metros.

Na figura 4 temos ilustrado o sistema completo da tecnologia de medição da assinatura de corrente nos trilhos, cabe destacar os seguintes detalhes:

- Os cabos são conectados ao Patins do trilho através de Clips;
- Estes cabos são sem blindagens;
- O espaçamento entre as conexões com clips são de 08 metros;
- A conexão entre estes cabos e o instrumento são realizados com um cabo de rede à uma distância de 400 metros.

Com esta geometria comprovou-se que não há degradação dos sinais medidos, e torna possível alocar a instrumentação em locais seguros, sem interferir com a operação

comercial, possibilitando análise dos sinais mais detalhados, possibilitando diagnósticos assertivos dos desvios dos sistemas da via e do trem.

Abaixo temos um quadro resumo onde ressaltamos a relevância da aplicação da tecnologia de assinatura de corrente, envolvendo todos os sistemas da via, análises no domínio da frequência e monitoramento remoto:



Figura 5 – Relevância das aplicações da assinatura de corrente nos sistemas da via, trens e análises no domínio da frequência e monitoramento remoto.

No estudo e desenvolvimento para validar e consolidar esta tecnologia foram avaliados diversos parâmetros como segue:

- CARACTERÍSTICAS DO INSTRUMENTO DE AQUISIÇÃO E GRAVAÇÃO DE DADOS;
- TESTES DE RESOLUÇÃO E INTERFERÊNCIAS PARA DETERMINAR O ESPAÇAMENTO ENTRE OS CABOS CONECTADOS AO TRILHO;
- TESTES À DISTÂNCIA DE 100 METROS DO PONTO DE MEDIÇÃO AO INSTRUMENTO;
- SISTEMA DE CONEXÃO DOS CABOS AO TRILHO;
- SISTEMA DE CONEXÃO RESISTENTE A IMPACTOS E VIBRAÇÃO CAUSADOS PELA PASSAGEM DOS RODEIROS DO TREM;
- TESTES À DISTÂNCIA DE 400 METROS DO PONTO DE MEDIÇÃO AO INSTRUMENTO E VÁRIOS PONTOS SIMULTANEAMENTE;
- EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO DA ASSINATURA DE CORRENTE DE PROPULSÃO, CÓDIGO DE VELOCIDADE E DETECÇÃO DE OCUPAÇÃO;
- MEDIÇÃO NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA.

CARACTERÍSTICAS DO INSTRUMENTO DE AQUISIÇÃO E GRAVAÇÃO DE DADOS

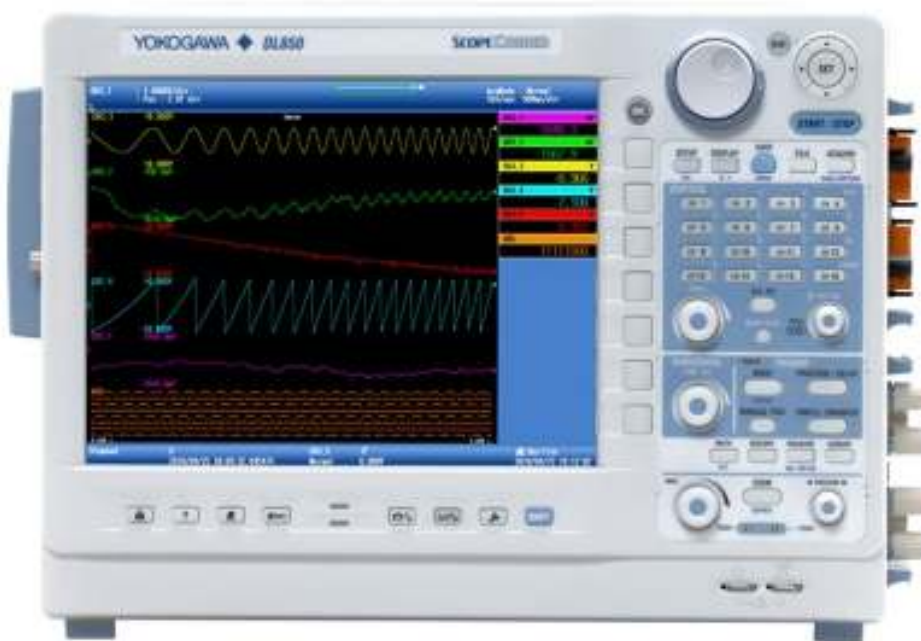


Figura 6 – Instrumento de aquisição e gravação de dados.

Possui 16 canais isolados galvanicamente com memória para gravar até dias com ótima resolução.

Sua finalidade é medir todas as métricas que permitam identificar a performance dos sistemas elétricos e eletrônicos instalados ao longo das vias, estações, subestações de alimentação elétrica e trens.

Possibilita a captura de vários sinais simultaneamente, transitórios e a sua gravação.

Tornando possível correlacionar os efeitos físicos e identificá-los após a ocorrência otimizando a análise de falhas intermitentes.

TESTES DE RESOLUÇÃO E INTERFERÊNCIAS PARA DETERMINAR O ESPAÇAMENTO ENTRE OS CABOS CONECTADOS AO TRILHO

Na região de BFU da Linha 3 – Vermelha se concentrou os testes para verificar qual a melhor medida de espaçamento entre os cabos conectados ao trilho, com foco na resolução dos sinais captados e níveis de interferências aceitáveis.

Após várias configurações, a medida de espaçamento que melhor atendeu aos níveis de resolução e interferência é de 08 metros.

Foi utilizado cabos sem blindagem, a uma distância de 50 metros do ponto de medição ao Instrumento.

Neste teste, foi obtido as primeiras aquisições de assinaturas de corrente de propulsão, com níveis adequados de sinal, imunidade à ruídos e sem interferências do trem.



Figura 7 – Primeiras aquisições de assinatura de corrente de propulsão.



Figura 8 – Avaliação dos níveis de sinal e ruído com 08 metros de espaçamento das conexões nos trilhos.



Figura 9 – Detalhe das telas das aquisições de assinatura de corrente de propulsão.



Figura 10 – Testes de imunidade à ruídos e interferências do trem.

TESTES À DISTÂNCIA DE 100 METROS DO PONTO DE MEDIÇÃO AO INSTRUMENTO;

Uma das premissas para o sucesso desta tecnologia de medição é a possibilidade de monitoramento remoto. Necessidade impar para não impactar no compasso operacional, e ao mesmo tempo proporcionar ferramentas de diagnósticos para a manutenção mais assertivas.

Assim é imperativo o aumento da distância entre o ponto de medição ao instrumento de análise.

No Pátio do Jabaquara possui uma linha para testes dinâmicos dos trens, denominada linha 1 de teste. Nesta linha foi montado o sistema de medição com a finalidade de avaliar a qualidade do sinal em relação a distância de monitoramento.

Após diversas avaliações do desempenho dos sinais de assinatura de corrente de propulsão, foi obtido com êxito uma distância de 100 metros do ponto de medição ao Instrumento, através de um cabo telefônico.

Como conclusão, os sinais não degradaram a esta distância de 100 metros.



Figura 11 – Linha 01 do Pátio Jabaquara onde foram realizadas diversas avaliações do desempenho dos sinais de assinatura de corrente de propulsão.

SISTEMA DE CONEXÃO DOS CABOS AO TRILHO

Inicialmente utilizamos alicates de pressão para realizar a conexão dos cabos ao trilho, pois são de fácil manuseio, sua montagem é rápida e a conexão é muito boa. Porém notamos que ao deixar por algum tempo na via comercial, com a vibração, ele se solta, pois sua massa é excessiva diante da vibração causada pelos rodéiros do trem.



Figura 12 – Detalhe da conexão com alicate de pressão.



Figura 13 – Utilização de alicates de pressão para conexão dos cabos aos trilhos.

SISTEMA DE CONEXÃO RESISTENTE A IMPACTOS E VIBRAÇÃO CAUSADOS PELA PASSAGEM DOS RODEIROS DO TREM

A utilização de Alicates de pressão para conexão dos cabos aos trilhos não resistem aos impactos e vibrações apresentado nos trilhos devido aos rodeiros do trem.

Assim diante deste problema, estudou-se um dispositivo com pouca massa e peso que apresenta um efeito mola que garante a conexão mesmo com os impactos e vibrações causadas pela passagem dos rodeiros do trem.

Optou-se por um simples Clips (tipo Grampomol), que atendeu a todas as exigências dos testes, conforme abaixo:



Figura 14 – Detalhe do estudo da conexão realizada com clips (tipo Grampomol).



Figura 15 – Detalhe do estudo da conexão realizada com clips.

O clips é utilizado apenas para pressionar o cabo ao trilho, mantendo esta pressão mecânica de forma a resistir os impactos e vibrações, produzidos pela passagem dos rodéiros do trem.

O contato elétrico é realizado pelo próprio cabo e como a o sistema de aquisição e gravação de dados apresenta uma alta impedância, a resistência de contato elétrico não é crítica, possibilitando uma estabilidade da ligação mesmo nos trilhos exposto a intempéries.

Assim obtemos uma fixação estável mecanicamente e eletricamente por diversos dias, em regiões onde os trilhos são assentados em viga suporte (regiões em túnel) e em regiões onde os trilhos são assentados com dormentes e em brita (regiões a céu aberto).

A seguir visualizamos alguns exemplos da aplicação do clips na via:



Figura 16 – Conexão utilizando Clips aplicado na via em regiões de brita.



Figura 17 – Detalhe da fixação do cabo de medição ao trilho utilizando o Clips.



Figura 18 – Aplicação das conexões com Clips na via para monitorar a operação comercial.

TESTES À DISTÂNCIA DE 400 METROS DO PONTO DE MEDIÇÃO AO INSTRUMENTO E VÁRIOS PONTOS SIMULTANEAMENTE;

Após o domínio da tecnologia de medição à 100 metros, 02 pontos de medição com cabo telefônico. Os testes e avaliações estenderam para 400 metros, 08 pontos de medição com cabos de rede de dados (UTP).

Esta configuração obteve resultados ótimos sendo exaustivamente testado em uma região de brita a céu aberto durante vários dias.

Um fato a destacar é que devido as características de baixa impedância do ponto de medição (aproximadamente 300 micro ohms), características do cabo de rede e a isolamento galvânica do instrumento de aquisição e gravação de dados, foi possível monitorar vários pontos ao mesmo tempo sem interferência no sistema de sinalização e os sinais não degradaram a esta distância de 400 metros.

A montagem onde temos vários pontos de medição monitorados simultaneamente é necessária para comparar os sinais dos trilhos de uma via com a outra.

No desenho mostrado abaixo temos representado as duas vias e a distribuição dos 08 pontos de medição, representados pelos pontos coloridos em cada trilho.

Cada ponto de medição é conectado ao instrumento de aquisição e gravação de dados, através de cabos de rede UTP com distância de 400 metros.

Na tela do instrumento de aquisição e gravação de dados temos os sinais de cada ponto de medição discriminados pela cor correspondente a conexão ao trilho.

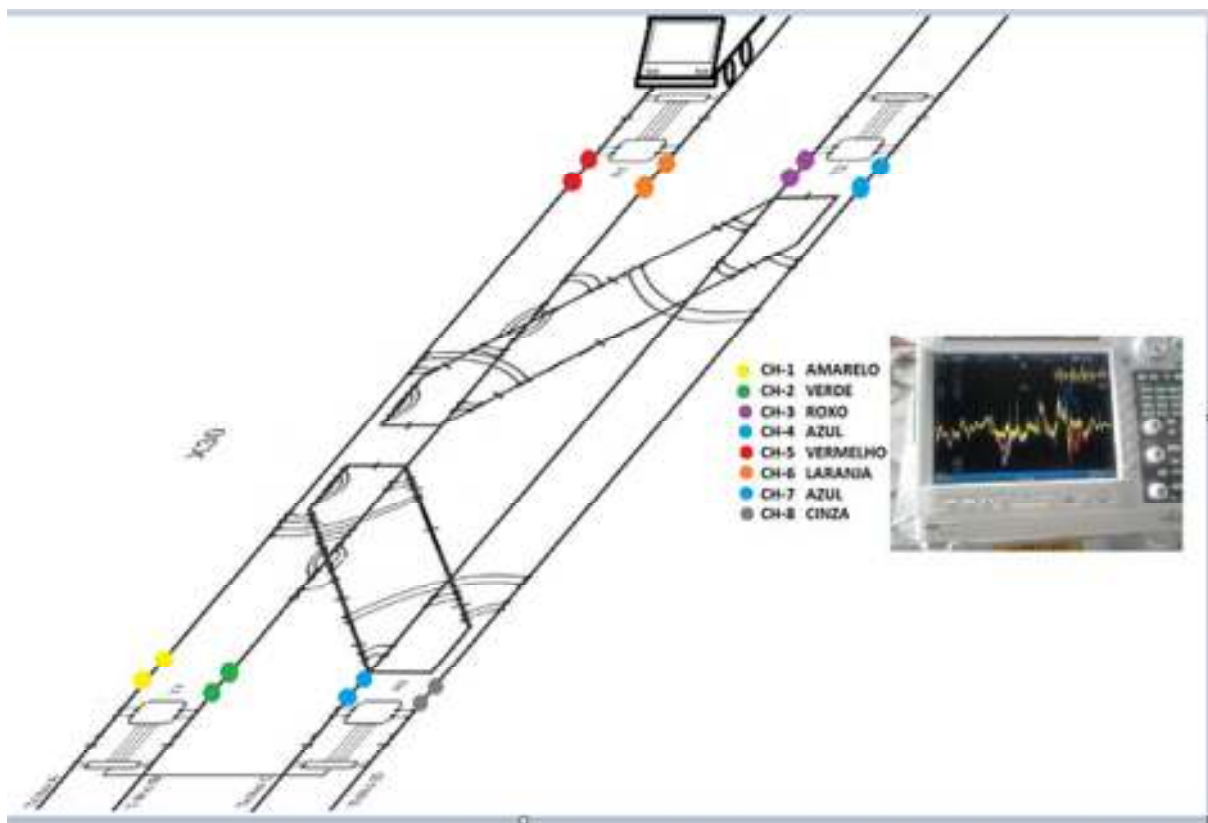


Figura 19 – Desenho esquemático da via e a distribuição das conexões de cada ponto de medição e as correspondetes cores de cada canal no instrumento de aquisição e gravação de dados.

Este setup de teste, devido o seu desempenho, tornou-se referência e vem sendo aplicada com sucesso em diversas análises de falhas, em todas as linhas do Metrô, como será descrito nos exemplos de aplicação.

A seguir temos as fotos desta geometria aplicada na região próximo à estação Patriarca da linha 3 - Vermelha.



Figura 20 – Foto ressaltando a distância (400 metros) do ponto de aquisição a do instrumento (o ponto de aquisição esta na regioo onde o trem começa a aparecer na imagem acima).



Figura 21 – Nesta imagem mostra a capacidade de monitorar 08 pontos ao mesmo tempo (cada cor representa a corrente em cada trilho monitorado).

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO DA ASSINATURA DE CORRENTE DE PROPULSÃO, CÓDIGO DE VELOCIDADE E DETECÇÃO DE OCUPAÇÃO

Estes exemplos de aplicação da tecnologia de medição são para ilustrar as potencialidades e como podem direcionar os diagnósticos de falhas mais assertivos, em sistemas compostos de diversas variáveis que podem influenciar na falha, como por exemplo:

- desbalanceamento de correntes entre os trilhos;
- Identificar uma fuga de corrente devido a falhas de isolamento na via;
- Identificar trinca nos trilhos ou mau contato em conexões dos elementos da via (Shunt, Impedance Bond, Junta isolante);
- Saturação do núcleo do Impedance Bond;
- Monitoração do código de velocidade e ocupação em tempo real;
- Monitoração das harmônicas produzidas pelos sistemas do trem em tempo real.

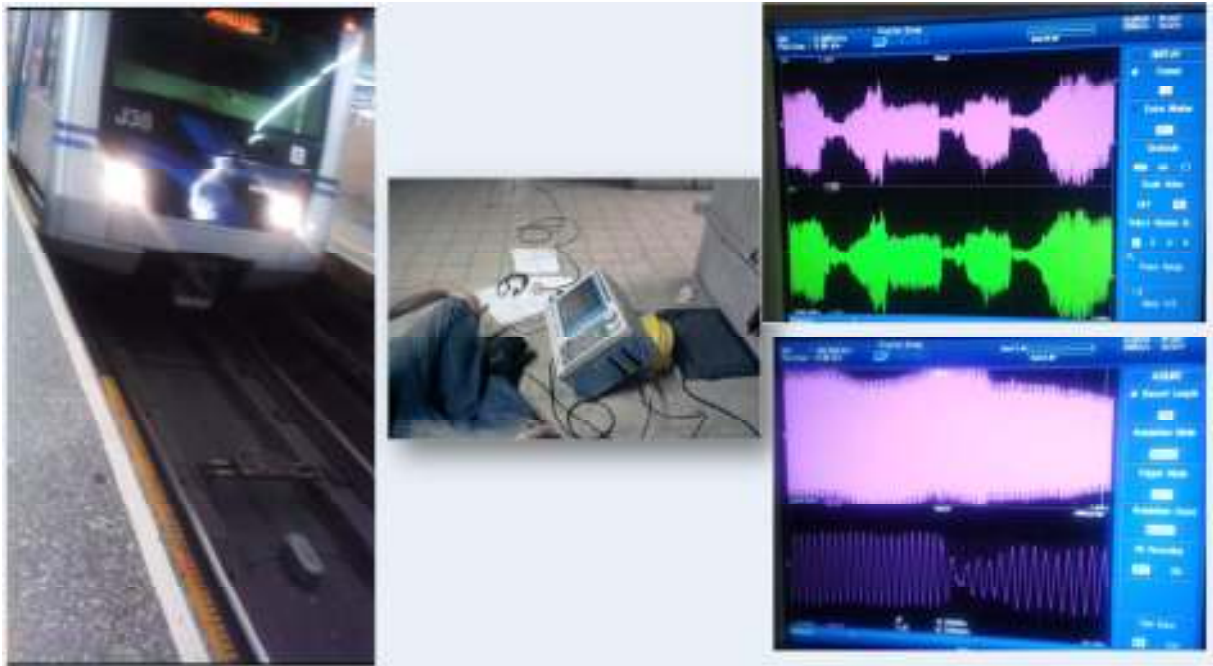


Figura 22 – Exemplo de aplicação da tecnologia de medição da assinatura de corrente de propulsão, código de velocidade e ocupação na estação Praça da Sé - Linha 1 -Azul.

Neste exemplo de aplicação estamos monitorando o desbalanceamento das correntes de propulsão entre trilhos e interferências no código de velocidade durante a operação comercial.

Ressaltando que o instrumento esta alocado em uma sala técnica na estação PSE Linha 1 - Azul. Distante do ponto de conexão com os trilhos em aproximadamente 200 metros, e podemos observar detalhes dos sinais registrados, como a inversão de fase do sinal de código de velocidade modulado em FSK. (foto inferior à direita).



Figura 23 – Exemplo de aplicação da tecnologia de medição da assinatura de corrente de propulsão, código de velocidade e ocupação na estação Imigrantes - Linha 2 -Verde.

Neste exemplo de aplicação estamos monitorando o desbalanceamento das correntes de propulsão entre trilhos e interferências geradas pelo sistema de inversor auxiliar do trem, em tempo real, na operação comercial.

Ressaltando que o instrumento esta alocado na sala mostrada na foto superior à direita situada na plataforma da estação IMG Linha 2 - Verde. Distante do ponto de conexão com os trilhos em aproximadamente 200 metros, e podemos observar detalhes dos sinais registrados, como a análise das diferenças entre as correntes utilizando um software específico para realização de cálculos. (foto inferior à direita).

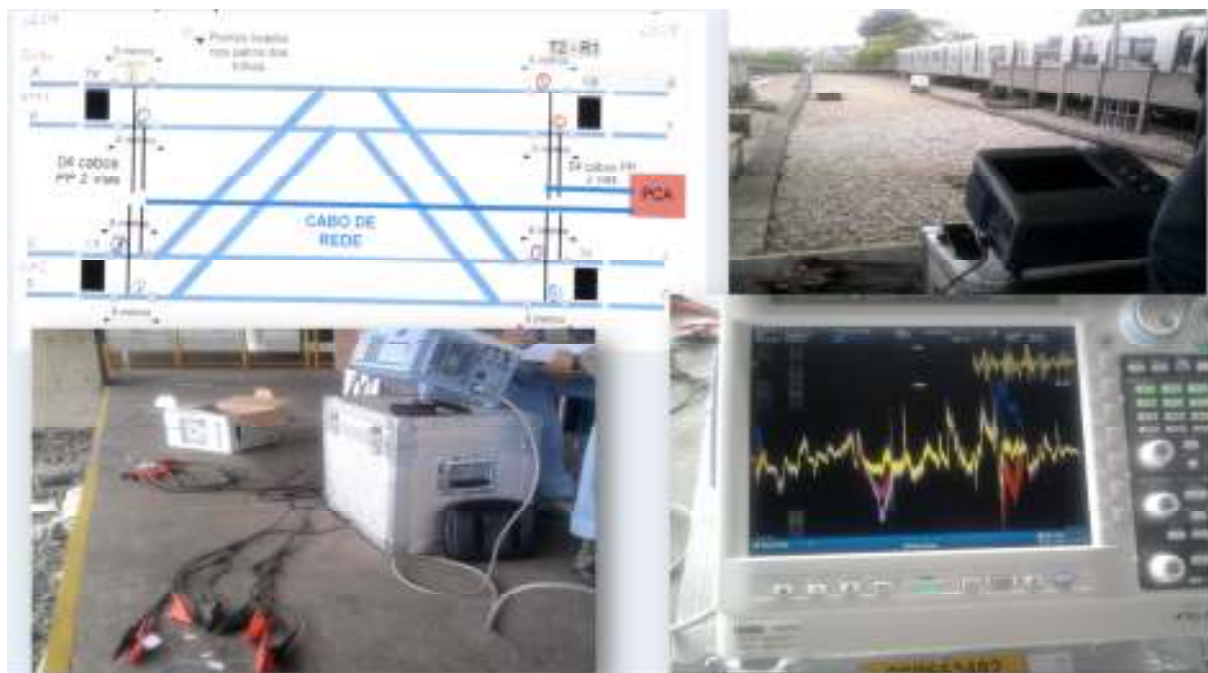


Figura 24 – Exemplo de aplicação da tecnologia de medição da assinatura de corrente de propulsão, código de velocidade e ocupação na estação Patriarca - Linha 3 -Vermelha

Neste exemplo de aplicação estamos monitorando o desbalanceamento das correntes de propulsão entre trilhos e interferências nos sinais de ocupação durante a operação comercial.

Ressaltando que o instrumento esta alocado na extremidade da plataforma da estação Patriarca, local seguro e abrigado contra intempérie. Distante do ponto de conexão com os trilhos em aproximadamente 400 metros, e podemos observar detalhes dos sinais registrados, como a análise das diferenças entre as correntes dos diversos pontos monitorados simultaneamente. (cada cor representa uma corrente registrada de acordo com o esquema da via na foto superior à esquerda).

MEDIÇÃO NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA

Nos exemplos de aplicação da tecnologia de medição da assinatura de corrente de propulsão, código de velocidade e detecção de ocupação, temos também além de visualizar os sinais no domínio do tempo, analisar no domínio da frequência, pois o instrumento de aquisição e gravação de dados permite este recurso.

Assim esta análise Espectral permite ao mesmo tempo medir correntes com amplitudes de 3000 Amperes e correntes com amplitude de 0,001 Amperes, muito útil correlacionar as análises de interferências envolvendo os elementos de via e do trem simultaneamente.

A seguir temos alguns exemplos aplicados da medição no domínio da frequência:

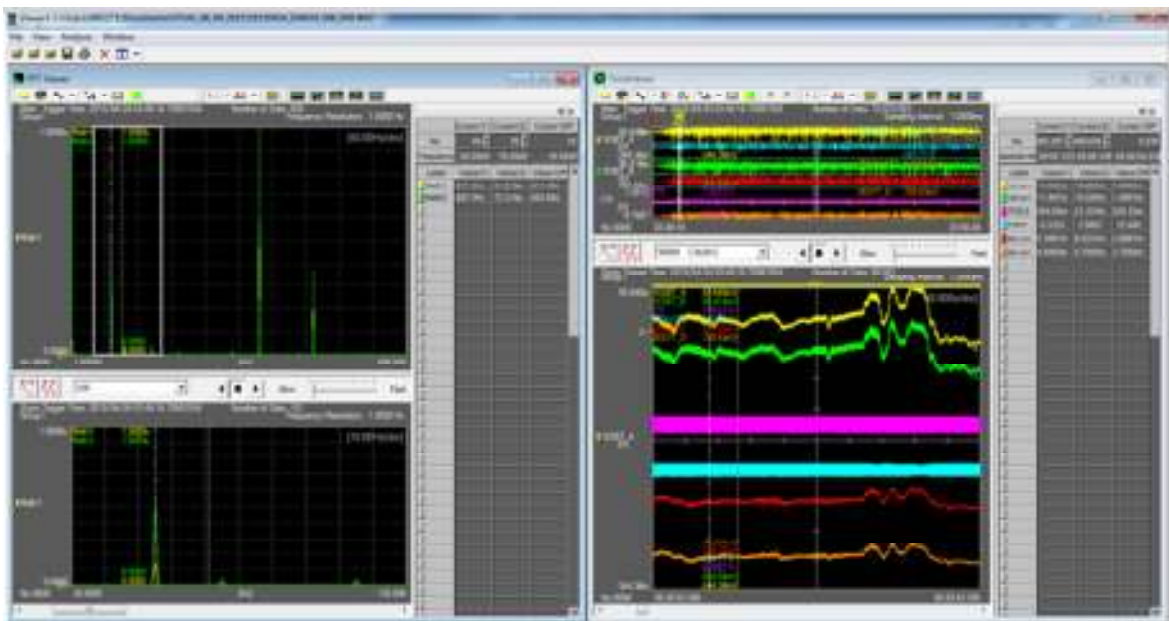


Figura 25 – Aplicação da metodologia de análise espectral para as correntes de ocupação em 60Hz nas aquisições do teste na estação Ana Rosa Linha 1 - Azul.

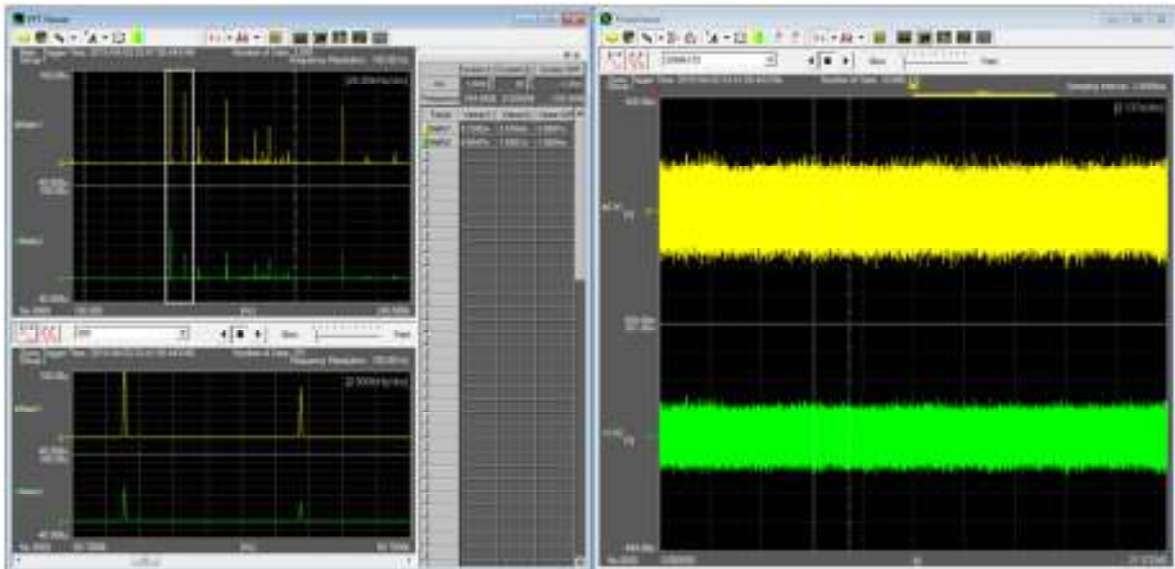


Figura 26 – Aplicação da metodologia de análise espectral para as correntes de código de velocidade nas aquisições do teste na estação Imigrantes Linha 2 - Verde.

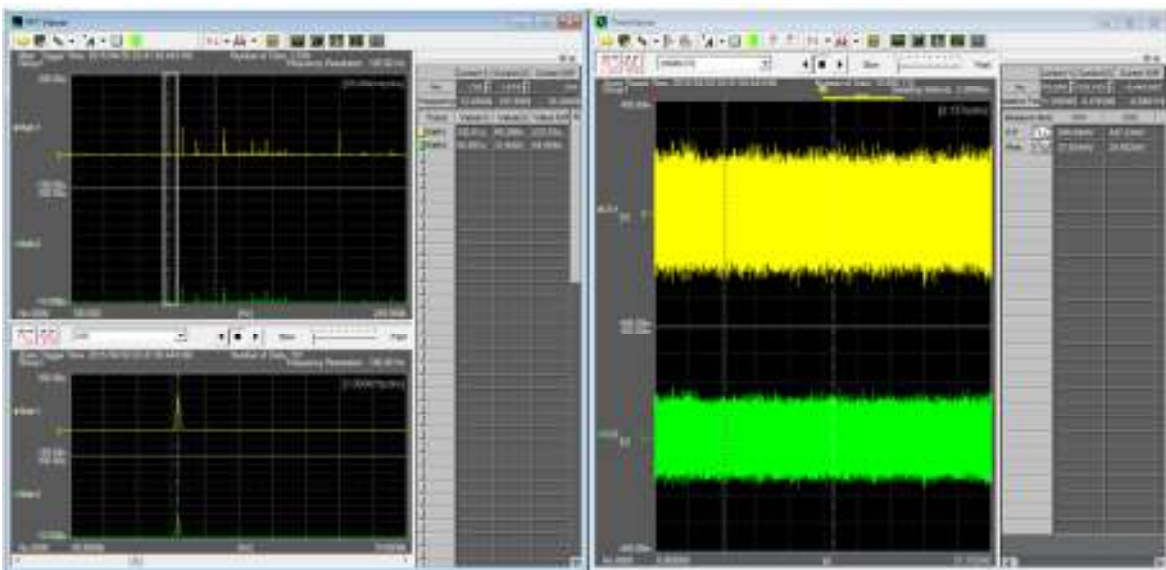


Figura 27 – Aplicação da metodologia de análise espectral para as correntes do ruído gerado pelo inversor auxiliar do trem Frota J nas aquisições do teste na estação Imigrantes Linha 2 - Verde.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

- As vantagens da Tecnologia de medição e Registro de Assinatura de Corrente de Propulsão, Código de velocidade e Detecção de Ocupação, utilizando os trilhos como Shunt são:
 - Imunidade à Ruído;
 - Corrente real do trilho;
 - Não sofre induções adjacentes;
 - Repetitividade no Setup do teste;
 - Medição Direta (não utiliza campos magnéticos);
 - Método totalmente linear;
 - Não sofre interferência com a circulação do trem;
 - Utiliza elementos simples e baratos de fácil instalação (fios, Clips, cabo de rede);
 - Robusto mecanicamente / eletricamente;
 - Permite monitoração até 400 metros, utilizando um cabo de rede;
 - Escala de medição de correntes de 3000 Amperes até poucos mA sem transdutores especiais com total segurança e linearidade;
 - Não sofre influência de temperatura, chuva, frio, sol etc.;
 - Permite múltiplos pontos de medição ao mesmo tempo de forma simples e sem interferir nos sinais dos diversos pontos dos trilhos, (terra isolado);
 - Simplicidade e rapidez na instalação mecânica e elétrica;

- Permite obter assinaturas de corrente dos trens em movimento, sem restrição de velocidade;
- A corrente medida não é influenciada pelas ferragens da viga suporte, sendo igual à da brita;
- Permite a medição da distribuição da corrente ao longo do trilho muito útil para determinação de fuga;

CONCLUSÕES

Além destas vantagens já comprovadas, o mérito desta tecnologia está na sua escalabilidade dos equipamentos para aquisição e registro futuros que podem ser adicionados, pois o cerne da captura das correntes apoia-se em conceito simples e imutável, que são os trilhos como shunt de corrente.

Ressaltando ainda, que a monitoração remota, sem interferências operacionais e aproveitando o transcorrer das operações normais dos equipamentos de material rodante e fixo e transparente para os operadores e usuários que esta tecnologia proporciona, remete à condição ideal para o diagnóstico de desvios para antecipar as ações de manutenção mais assertiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

International Journal of Vehicular Technology - Hindawi Publishing Corporation

Volume 2009, Article ID 505246