



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

**METRÔDETECTA: Sistema de Monitoramento Acústico Inteligente para
Detecção de Falhas em Finger Plates**

RESUMO

A confiabilidade dos ativos da via permanente é um fator fundamental para a segurança e a disponibilidade dos sistemas metroferroviários. Na Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo, os Finger Plates exercem papel crítico na continuidade da superfície de rolamento dos trens, sendo sua condição operacional diretamente relacionada à confiabilidade da infraestrutura. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a implantação do MetrôDetecta, sistema de monitoramento concebido para ampliar a capacidade de acompanhamento desses ativos durante a operação comercial.

A solução utiliza os próprios trens como plataformas móveis de aquisição de dados, eliminando a necessidade de instalação de sistemas de monitoramento distribuídos ao longo da via. Para garantir a rastreabilidade dos eventos registrados, foram instaladas tags RFID individualmente nos Finger Plates, permitindo a identificação automática dos



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ativos monitorados e a associação dos registros coletados a cada componente específico da infraestrutura.

A arquitetura desenvolvida integra aquisição de dados embarcada, identificação automática dos ativos, transmissão das informações, armazenamento centralizado e disponibilização dos registros em interfaces de acompanhamento para as equipes de manutenção. A solução foi implantada na Linha 15-Prata, atualmente composta por 337 Finger Plates distribuídos ao longo de aproximadamente 29 km de extensão operacional.

O projeto foi desenvolvido por meio de uma estrutura matricial multidisciplinar envolvendo profissionais das áreas de operação, via permanente, material rodante, monitoramento de ativos, equipamentos eletrônicos, sinalização, oficinas, engenharia e suprimentos. Como resultado, foi estabelecida uma nova abordagem para rastreabilidade e monitoramento de ativos da infraestrutura, culminando no depósito do pedido de patente BR102023022933 – Sistema de Monitoramento de Elementos de Via em Monotrilhos (METRÔ, 2023).

Palavras-chave: Finger Plate; monitoramento acústico; RFID; gestão de ativos; monotrilho; manutenção baseada na condição; via permanente.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e relevância operacional

A confiabilidade dos sistemas metroferroviários tornou-se um fator decisivo para a mobilidade das grandes regiões metropolitanas. Em redes de alta capacidade, a indisponibilidade de um único componente crítico pode produzir efeitos que ultrapassam a dimensão técnica da manutenção, afetando a regularidade da circulação, os intervalos entre trens, a capacidade de transporte, a percepção dos usuários e o desempenho global do serviço. Essa característica torna a gestão de ativos um tema estratégico, especialmente em sistemas com elevada demanda, grande exposição pública e baixa tolerância a interrupções operacionais.

A Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo constitui um caso relevante para essa discussão por introduzir, no contexto brasileiro, uma arquitetura de monotrilho de alta capacidade, com interação dinâmica distinta daquela observada em sistemas ferroviários convencionais. A circulação ocorre sobre vigas-guia de concreto, utilizando pneus de borracha como elemento de contato com a infraestrutura. Esse arranjo altera profundamente a forma de transferência de esforços, o padrão de vibração, a geração de ruídos e a sensibilidade da via permanente a irregularidades localizadas. A gestão desses ativos depende não apenas da realização de intervenções corretivas e preventivas, mas também da capacidade de identificar precocemente alterações em seu comportamento operacional (ABNT, 2014; Jardine, Lin e Banjevic, 2006).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

1.2 Motivação

Historicamente, o acompanhamento da condição dos Finger Plates (Figura1) tem sido realizado por meio de inspeções visuais e atividades periódicas de manutenção. Embora indispensáveis, essas práticas apresentam limitações quando os mecanismos de degradação não produzem evidências visíveis em seus estágios iniciais.

Figura 1 – Finger Plate e Monotrilho da Linha 15



A literatura de monitoramento estrutural demonstra que alterações em componentes mecânicos e estruturais podem se manifestar inicialmente por mudanças em seu comportamento dinâmico, antes do aparecimento de sinais visíveis de deterioração (Worden e Dulieu-Barton, 2004; Farrar e Worden, 2012).

A experiência operacional demonstrou que determinadas anomalias podem evoluir progressivamente sem apresentar alterações visuais significativas, dificultando sua identificação antecipada pelos métodos tradicionais. Em diversas situações, a deterioração do comportamento mecânico do componente ocorre antes do



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

aparecimento de sinais visuais evidentes, reduzindo a capacidade de atuação preventiva das equipes de manutenção.

Esse cenário evidenciou a necessidade de desenvolver mecanismos complementares de monitoramento capazes de ampliar a percepção sobre a condição dos ativos durante sua operação real. Mais do que observar a aparência dos componentes em momentos específicos, tornou-se necessário acompanhar seu comportamento ao longo do tempo, permitindo a construção de informações históricas que apoiassem processos de análise e tomada de decisão.

A partir dessa necessidade surgiu o conceito do MetrôDetecta, concebido para transformar os próprios trens em plataformas móveis de monitoramento da infraestrutura, utilizando dados coletados durante a circulação comercial para ampliar a rastreabilidade e a capacidade de acompanhamento dos Finger Plates distribuídos ao longo da linha.

1.3 Objetivo do Trabalho

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a implementação do MetrôDetecta, sistema embarcado de monitoramento acústico destinado ao acompanhamento de Finger Plates da Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo.

A solução foi concebida para utilizar os próprios trens como plataformas móveis de aquisição de dados, permitindo registrar eventos associados à passagem sobre os Finger Plates durante a operação comercial e associá-los automaticamente aos respectivos



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ativos monitorados. A arquitetura desenvolvida integra sensores embarcados, identificação automática dos componentes monitorados, transmissão de informações e disponibilização dos dados para acompanhamento pelas equipes de manutenção.

O objetivo central do projeto é ampliar a capacidade de rastreamento e monitoramento dos Finger Plates, proporcionando uma nova fonte de informação para apoio às atividades de manutenção e gestão de ativos, sem a necessidade de instalação de sistemas de medição distribuídos ao longo da infraestrutura.

Além de apresentar o contexto operacional que motivou o desenvolvimento da solução, este artigo descreve a arquitetura implantada, os desafios de implementação, os resultados obtidos e as perspectivas de evolução da plataforma para futuras aplicações de monitoramento inteligente da infraestrutura metroferroviária.

2. DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA

2.1 Caracterização dos Finger Plates

Os Finger Plates são componentes metálicos instalados nas juntas de dilatação entre segmentos de vigas-guia. Sua função é garantir continuidade para a passagem dos pneus do monotrilho, acomodando simultaneamente movimentações estruturais decorrentes de variações térmicas, esforços dinâmicos e deslocamentos diferenciais entre elementos da infraestrutura. A geometria dentada das placas permite que componentes adjacentes se sobreponham de forma funcional, reduzindo descontinuidades que poderiam comprometer conforto, segurança e regularidade da circulação.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Na Linha 15-Prata, atualmente existem 337 Finger Plates distribuídos em uma infraestrutura com 11 estações e aproximadamente 29 km de extensão operacional, considerando as vias 1 e 2. Essa quantidade, associada à distribuição longitudinal dos ativos e à limitação das janelas noturnas de manutenção, cria um desafio relevante de cobertura, rastreabilidade e priorização das inspeções. Além disso, há previsão de expansão do conjunto para 600 componentes, o que aumenta a importância de uma solução escalável.

A criticidade desses ativos decorre de sua posição funcional na interface veículo-via. Uma falha localizada pode alterar a resposta dinâmica da placa, produzir ruídos anormais, intensificar vibrações, gerar impacto sobre os pneus e provocar restrições operacionais. Por essa razão, os Finger Plates devem ser compreendidos não apenas como componentes de fechamento de junta, mas como elementos cuja condição influencia diretamente a disponibilidade e a confiabilidade da infraestrutura.

2.2 Limitações da inspeção visual e da manutenção convencional

Tradicionalmente, a avaliação da condição dos Finger Plates é realizada por meio de inspeções visuais e atividades periódicas executadas pelas equipes de manutenção durante as janelas operacionais disponíveis.

Esse modelo é adequado para identificação de anomalias visíveis, como deformações, fissuras, deslocamentos aparentes ou danos observáveis diretamente na superfície dos



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

componentes. Contudo, sua eficácia pode ser limitada quando os mecanismos de degradação se desenvolvem de forma gradual e sem manifestações visuais evidentes.

Determinados processos de degradação podem alterar inicialmente o comportamento mecânico ou dinâmico do componente antes da ocorrência de sinais visíveis. Essa característica está associada aos princípios que fundamentam as técnicas modernas de Structural Health Monitoring (SHM), amplamente utilizadas para acompanhamento do comportamento de estruturas e sistemas críticos (Worden e Dulieu-Barton, 2004; Farrar e Worden, 2012). Nesses casos, a identificação antecipada da degradação torna-se dependente da frequência das inspeções e da capacidade de percepção dos inspetores em campo.

Além disso, a grande quantidade de ativos distribuídos ao longo da linha torna inviável a realização de monitoramento contínuo utilizando exclusivamente métodos presenciais. Entre uma inspeção e outra, milhares de passagens de trens continuam impondo solicitações mecânicas aos componentes, possibilitando a evolução progressiva de determinados modos de falha.

Dessa forma, o desafio identificado não estava relacionado apenas à execução das inspeções, mas à capacidade de acompanhar o comportamento dos ativos ao longo do tempo, durante sua operação real.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2.3 Modos de falha identificados

A análise histórica das ocorrências permitiu identificar um conjunto de modos de falha recorrentes. O primeiro modo crítico foi a fadiga dos parafusos de fixação. Esses elementos são submetidos continuamente a solicitações de tração, compressão e cisalhamento decorrentes da passagem dos trens. Ao longo do tempo, a repetição dos carregamentos pode favorecer a formação de microtrincas e a progressiva perda de capacidade resistente. A dificuldade diagnóstica está no fato de que esses elementos permanecem sob a placa, com baixa observabilidade por inspeção visual convencional.

O segundo modo relevante foi a formação de vazios estruturais entre a face inferior do Finger Plate e a superfície da viga-guia. Esses vazios alteram o apoio do conjunto, modificam a distribuição de esforços e podem provocar mudança sensível na resposta acústica e vibracional da placa. Embora inicialmente discretos, seus efeitos podem ser percebidos no comportamento dinâmico durante a passagem dos trens antes de se tornarem visualmente evidentes.

Também foram identificados desalinhamentos progressivos, perdas localizadas de rigidez e deformações permanentes. Cada modo possui trajetória própria, mas todos convergem para uma característica comum: a anomalia pode produzir alteração comportamental antes de produzir evidência visual clara. Essa constatação sustentou a hipótese de que a assinatura acústica poderia funcionar como indicador antecipado de degradação. O diagnóstico estabeleceu, portanto, uma relação direta entre a física do



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

problema e os requisitos da solução. Se os modos de falha alteram a resposta dinâmica do componente, então uma abordagem baseada em sinais pode complementar a inspeção visual e ampliar a capacidade da manutenção de atuar preventivamente.

2.4 Evidência crítica: Incidente Notável

Uma ocorrência crítica envolvendo Finger Plates tornou evidente a necessidade de revisão da estratégia de monitoramento. As análises posteriores indicaram que o mecanismo de degradação havia se desenvolvido progressivamente, envolvendo fadiga dos elementos de fixação e perda gradual da capacidade resistente do conjunto. Apesar dessa evolução, as inspeções visuais realizadas até então não identificaram sinais suficientes para justificar uma intervenção preventiva.

O impacto operacional foi expressivo com o cancelamento de 393 viagens, redução de até 82% no volume de passageiros transportados durante o período crítico e consumo superior a 700 Hxh em ações emergenciais de recuperação. O impacto financeiro foi estimado em centenas de milhares de reais, sem contar os danos à imagem da companhia. Esses dados demonstram que uma falha localizada pode produzir consequências sistêmicas sobre a circulação, a oferta de transporte, a mobilização de equipes e a confiabilidade percebida pelos passageiros.

O aspecto mais relevante do evento não está apenas nos números, mas no aprendizado técnico gerado. A falha não surgiu de forma repentina. Ao contrário, as evidências indicaram evolução gradual, com sinais provavelmente presentes ao longo do processo,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

mas não capturados pelos métodos disponíveis. A lacuna estava na ausência de um sistema capaz de captar, interpretar e transformar esses sinais em decisão de manutenção antes da manifestação funcional da falha.

2.5 Requisitos para uma Nova Solução

A análise do problema permitiu estabelecer um conjunto de requisitos para uma nova abordagem de monitoramento.

A solução deveria ser capaz de:

- acompanhar os ativos durante a operação comercial dos trens;
- permitir a identificação individualizada dos Finger Plates monitorados;
- operar de forma escalável ao longo de toda a linha;
- minimizar intervenções adicionais na infraestrutura;
- disponibilizar informações para acompanhamento pelas equipes de manutenção;
- possibilitar a construção de histórico individualizado para cada ativo monitorado.

Além disso, buscou-se uma arquitetura que pudesse ser implantada utilizando recursos compatíveis com a realidade operacional da Linha 15-Prata, evitando a necessidade de instrumentação distribuída em larga escala ao longo da infraestrutura.

Esses requisitos serviram como base para o desenvolvimento do MetrôDetecta, cuja concepção é apresentada na seção seguinte.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3. CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

3.1 Premissas de Projeto

A busca por uma solução para monitoramento dos Finger Plates teve início a partir de uma questão prática: como ampliar a capacidade de acompanhamento da condição dos ativos sem aumentar significativamente a complexidade da infraestrutura de monitoramento.

As alternativas inicialmente consideradas envolviam a instalação de sensores distribuídos ao longo da via, diretamente próximos aos componentes monitorados. Embora tecnicamente viáveis, essas abordagens apresentavam desafios relacionados à quantidade de equipamentos necessários, disponibilidade de alimentação elétrica, transmissão de dados, manutenção dos dispositivos e acesso aos pontos de instalação.

Diante dessas limitações, definiu-se como premissa fundamental a busca por uma solução que utilizasse, sempre que possível, a infraestrutura já existente na operação da linha. O objetivo era desenvolver uma arquitetura escalável, capaz de acompanhar um grande número de ativos sem a necessidade de instrumentação individualizada distribuída ao longo de toda a via.

Além disso, a solução deveria permitir a identificação inequívoca dos Finger Plates monitorados, garantindo que os eventos registrados pudessem ser associados ao ativo correto e incorporados a um histórico rastreável de acompanhamento.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3.2 Os Trens como Plataformas Móveis de Monitoramento

A principal inovação conceitual do MetrôDetecta foi a utilização dos próprios trens como plataformas móveis de inspeção da infraestrutura.

Enquanto abordagens tradicionais tendem a concentrar sensores nos ativos monitorados, a solução desenvolvida inverteu essa lógica ao concentrar os recursos de aquisição de dados no veículo que percorre diariamente toda a linha.

Como cada trem passa repetidamente sobre todos os Finger Plates existentes na operação, sua circulação natural pode ser utilizada como oportunidade contínua de coleta de informações, eliminando a necessidade de instalação de sistemas de monitoramento dedicados em cada ponto da infraestrutura.

Essa abordagem apresenta diversas vantagens operacionais. Os equipamentos permanecem instalados em um ambiente com acesso facilitado para manutenção, protegido quando comparado à exposição permanente existente ao longo da via. Além disso, a expansão da cobertura do sistema não requer a multiplicação proporcional de sensores, permitindo que novos Finger Plates sejam incorporados ao monitoramento sem alterações significativas na arquitetura embarcada.

Dessa forma, a operação comercial deixa de ser apenas a atividade-fim do sistema de transporte e passa também a atuar como fonte contínua de informações sobre a condição da infraestrutura.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A utilização de plataformas móveis para aquisição de informações está alinhada às tendências contemporâneas de monitoramento distribuído e gestão baseada em condição, nas quais os dados operacionais passam a desempenhar papel central no acompanhamento dos ativos ao longo de seu ciclo de vida (ABNT, 2014; Jardine, Lin e Banjevic, 2006).

3.3 Arquitetura Geral do Sistema

A arquitetura do MetrôDetecta foi desenvolvida para transformar eventos observados durante a circulação dos trens em informações estruturadas para acompanhamento pelas equipes de manutenção.

De forma simplificada, o fluxo operacional do sistema pode ser representado conforme a Figura 2.

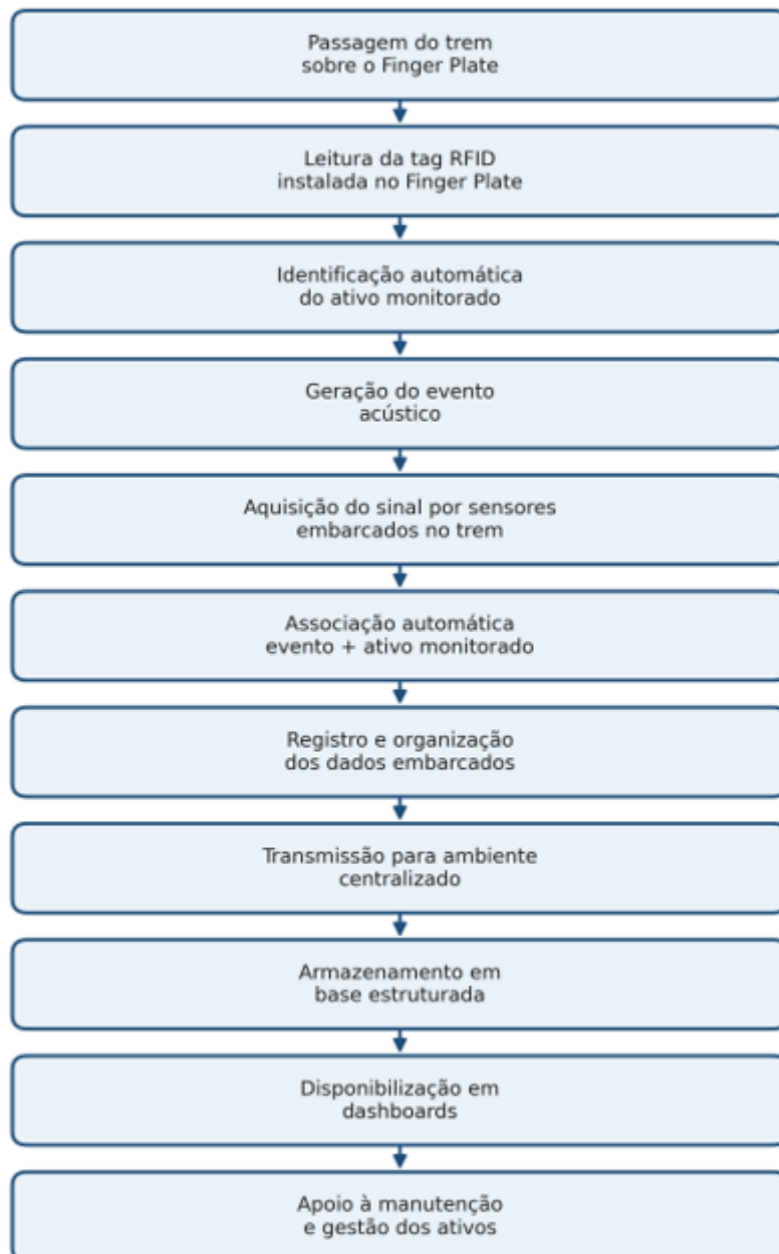


Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Figura 2 – Fluxo operacional da arquitetura do MetrôDetecta



Essa arquitetura permite que eventos observados durante a circulação comercial sejam transformados em registros organizados, rastreáveis e associados a ativos específicos da infraestrutura. A integração entre aquisição embarcada, identificação por RFID,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

transmissão, armazenamento e visualização das informações constitui a base funcional do sistema, permitindo que os Finger Plates sejam acompanhados individualmente ao longo do tempo.

3.4 Identificação e Rastreabilidade dos Ativos

Um dos desafios fundamentais do projeto consistia em associar corretamente cada evento registrado ao Finger Plate responsável pela ocorrência.

Sem um mecanismo confiável de identificação, qualquer informação coletada perderia valor operacional, uma vez que a equipe de manutenção não teria condições de determinar qual ativo deveria ser inspecionado.

Para solucionar esse problema, foi adotado um sistema de identificação automática baseado em RFID, permitindo relacionar cada ocorrência registrada ao respectivo Finger Plate monitorado.

A associação entre evento e ativo possibilita a criação de históricos individuais de acompanhamento, nos quais cada componente passa a possuir um conjunto próprio de registros ao longo do tempo.

Esse conceito representa um avanço significativo em relação às inspeções convencionais, uma vez que permite que o ativo seja analisado não apenas em um instante específico, mas também sob a perspectiva de sua evolução histórica.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

3.5 Identificação e Rastreabilidade dos Ativos

Além da coleta das informações, um dos principais desafios do desenvolvimento foi garantir que os dados obtidos pudessem ser disponibilizados de forma estruturada para utilização pelas equipes responsáveis pela manutenção.

Para isso, foram desenvolvidos mecanismos de aquisição, registro, transmissão e organização das informações coletadas durante a circulação dos trens.

A arquitetura implantada possibilita que os eventos monitorados sejam encaminhados para sistemas centralizados de acompanhamento, nos quais podem ser consultados por meio de interfaces desenvolvidas especificamente para suporte às atividades de monitoramento e gestão de ativos.

Essa capacidade de centralização permite consolidar informações de diferentes regiões da linha em um único ambiente de acompanhamento, facilitando análises comparativas, consultas históricas e atividades de planejamento da manutenção.

Mais do que registrar eventos isolados, a solução busca estruturar informações que possam contribuir para uma visão integrada dos ativos monitorados ao longo de toda a infraestrutura.

3.6 Resultados Esperados da Arquitetura

Desde sua concepção, o MetrôDetecta foi projetado para ampliar a capacidade de observação da infraestrutura sem substituir os métodos tradicionais de manutenção.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A proposta não consiste em eliminar inspeções de campo ou substituir a experiência das equipes técnicas. Pelo contrário, busca fornecer uma nova fonte de informação capaz de complementar as atividades já existentes e contribuir para o direcionamento das inspeções e análises especializadas.

Ao permitir a identificação automática dos ativos monitorados, a criação de históricos de acompanhamento e a centralização das informações coletadas em operação, a arquitetura estabelece as bases para futuras evoluções da plataforma e para a ampliação do uso de dados na gestão da infraestrutura metroferroviária.

4. IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO

4.1 Implantação em Ambiente Operacional

Após a definição da arquitetura do sistema, iniciou-se a fase de implantação em ambiente operacional da Linha 15-Prata.

Diferentemente de abordagens desenvolvidas exclusivamente em laboratório, a implantação do MetrôDetecta ocorreu diretamente em um ambiente de transporte de passageiros em operação comercial. Essa característica impôs requisitos adicionais relacionados à segurança operacional, compatibilidade eletroeletrônica, disponibilidade dos equipamentos embarcados e integração com os sistemas já existentes na frota e na infraestrutura.

O processo de implantação foi conduzido de forma gradual, permitindo validar individualmente cada etapa da arquitetura antes da integração completa da solução.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.2 Instrumentação Embarcada

A instrumentação foi instalada em composição operacional da Linha 15-Prata, transformando o trem em um elemento ativo do processo de monitoramento.

A solução embarcada foi concebida para operar sem interferir nos sistemas de tração, frenagem, sinalização ou demais subsistemas responsáveis pela circulação segura dos trens. Dessa forma, o sistema atua de maneira independente, realizando exclusivamente a aquisição e o tratamento das informações relacionadas ao monitoramento dos Finger Plates.

A utilização de equipamentos embarcados permitiu concentrar os recursos de monitoramento em um ambiente de manutenção mais acessível quando comparado à instalação distribuída de dispositivos ao longo da infraestrutura.

Essa estratégia reduziu significativamente a complexidade de implantação e ampliou o potencial de expansão da solução para novos trechos da linha.

4.3 Identificação dos Finger Plates

Um dos requisitos fundamentais do projeto consistia em garantir a associação inequívoca entre os eventos monitorados e os respectivos ativos da infraestrutura. Para que as informações coletadas durante a circulação dos trens pudessem ser utilizadas pelas equipes de manutenção, era necessário identificar de forma automática qual Finger Plate havia gerado cada registro.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para atender a esse requisito, foram instaladas tags RFID (Radio Frequency Identification) individualmente nos Finger Plates distribuídos ao longo da Linha 15-Prata. Cada ativo passou a possuir um identificador único, permitindo sua distinção dos demais componentes monitorados.

Durante a passagem do trem, o sistema embarcado realiza a leitura da tag RFID instalada no Finger Plate e associa automaticamente essa identificação aos registros gerados naquele instante. Dessa forma, cada evento monitorado passa a ser vinculado ao ativo correspondente, eliminando ambiguidades de localização e reduzindo a necessidade de correlação manual dos dados.

A utilização de RFID apresentou vantagens importantes para a aplicação proposta, destacando-se a simplicidade de instalação, a robustez em ambiente ferroviário, a ausência de alimentação elétrica local e a possibilidade de identificação individual de um grande número de ativos distribuídos ao longo da infraestrutura.

A identificação automática dos Finger Plates constitui um dos elementos centrais do MetrôDetecta, pois transforma dados coletados durante a circulação dos trens em informações diretamente utilizáveis pelas equipes de manutenção. Sem essa camada de identificação, os eventos registrados não poderiam ser associados de forma confiável ao componente correspondente da via.

Além de permitir a localização precisa das ocorrências, a utilização das tags RFID possibilitou a criação de históricos individualizados para cada Finger Plate. Com isso,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

cada ativo passa a possuir um conjunto próprio de registros associados à sua posição na linha, criando uma base estruturada para acompanhamento da sua condição operacional ao longo do tempo.

4.4 Infraestrutura de Comunicação e Tratamento dos Dados

Além da aquisição dos eventos monitorados, foi necessário estabelecer mecanismos para organização e disponibilização das informações coletadas.

A arquitetura desenvolvida contempla o registro local dos dados embarcados e sua posterior disponibilização para sistemas centralizados de acompanhamento.

Essa etapa exigiu o desenvolvimento de mecanismos de integração capazes de transformar dados operacionais em informações acessíveis para consulta pelas equipes responsáveis pelo monitoramento dos ativos.

A consolidação das informações em ambiente centralizado permitiu reunir registros provenientes de diferentes períodos de operação em uma única base de acompanhamento, criando condições para análises históricas e suporte às atividades de planejamento da manutenção.

4.5 Desenvolvimento das Interfaces de Monitoramento

Um dos objetivos do projeto foi garantir que os dados coletados pudessem ser facilmente interpretados pelas equipes de manutenção e engenharia.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



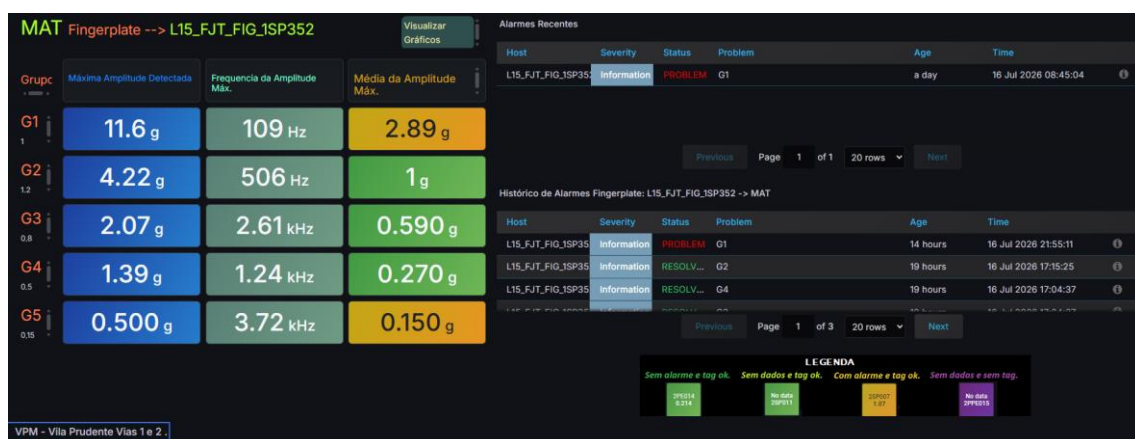
32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para isso, foram desenvolvidas interfaces de acompanhamento voltadas à visualização dos Finger Plates monitorados e de seus respectivos registros históricos.

A disponibilização dos dados em dashboards permitiu substituir consultas dispersas por uma visão estruturada dos ativos monitorados, facilitando a localização de informações, a consulta de registros anteriores e a análise do comportamento individual de cada componente.

A Figura 3 apresenta uma das interfaces desenvolvidas para acompanhamento dos ativos monitorados, permitindo a visualização estruturada dos registros associados aos Finger Plates e apoiando as equipes técnicas na consulta das informações históricas e operacionais geradas pelo sistema.

Figura 3 – Dashboard de consulta



Mais do que apresentar dados brutos, as interfaces foram concebidas para apoiar atividades de monitoramento e tomada de decisão, tornando as informações geradas pelo sistema acessíveis aos diferentes níveis da organização.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.6 Desafios Enfrentados Durante a Implantação

O desenvolvimento do MetrôDetecta exigiu a superação de desafios associados tanto à infraestrutura quanto à operação ferroviária.

Entre os principais aspectos abordados durante a implementação destacam-se:

- instalação dos equipamentos em ambiente embarcado;
- integração entre sistemas embarcados e infraestrutura de monitoramento;
- identificação confiável dos ativos distribuídos ao longo da linha;
- armazenamento e organização dos dados coletados;
- disponibilização das informações para consulta pelas equipes técnicas;
- garantia de funcionamento sem impacto à operação comercial.

A superação desses desafios permitiu transformar uma ideia inicialmente voltada ao aprimoramento das inspeções em uma solução operacional efetivamente integrada ao ambiente metroferroviário.

4.7 Resultado da Implantação

Ao final da implementação, foi estabelecida uma arquitetura capaz de associar eventos monitorados durante a circulação dos trens a Finger Plates específicos da infraestrutura, armazenando e disponibilizando essas informações para acompanhamento pelas áreas de manutenção e engenharia.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A solução passou a disponibilizar um histórico individualizado para os ativos monitorados, criando uma nova fonte de informações sobre a infraestrutura da Linha 15-Prata.

Com isso, o MetrôDetecta estabeleceu as bases para uma abordagem de monitoramento contínuo da via permanente utilizando os próprios trens como plataformas móveis de aquisição de dados.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Implantação do Sistema na Linha 15-Prata

A implementação do MetrôDetecta resultou na criação de uma arquitetura operacional capaz de monitorar Finger Plates utilizando os próprios trens da Linha 15-Prata como plataformas móveis de aquisição de dados.

A solução foi implantada em ambiente operacional real, permitindo a coleta contínua de informações durante a circulação comercial das composições. Diferentemente de abordagens baseadas na instalação de sensores distribuídos ao longo da infraestrutura, o sistema concentrou os recursos de monitoramento em equipamentos embarcados nos trens, reduzindo a necessidade de intervenções físicas ao longo da via.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A arquitetura implantada passou a operar de forma integrada aos processos de monitoramento da manutenção, criando uma nova camada de observação dos ativos da infraestrutura.

5.2 Rastreabilidade Individual dos Finger Plates

Um dos principais resultados obtidos foi a capacidade de associar automaticamente os eventos registrados aos respectivos Finger Plates monitorados.

Essa funcionalidade eliminou uma das limitações normalmente encontradas em sistemas de aquisição de dados embarcados, na qual eventos podem ser registrados sem associação precisa ao ativo correspondente.

Com a identificação individual dos componentes, cada Finger Plate passou a possuir um histórico próprio de registros, permitindo consolidar informações referentes ao seu comportamento ao longo do tempo.

A rastreabilidade passou a abranger não apenas a localização do ativo, mas também o momento da aquisição, o trem responsável pela coleta e os registros acumulados durante a operação.

5.3 Centralização das Informações

Outro resultado relevante foi a consolidação das informações em ambiente único de acompanhamento.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Antes da implantação da solução, a avaliação dos Finger Plates dependia predominantemente de atividades presenciais de inspeção e da análise pontual dos registros obtidos em campo.

Com o MetrôDetecta, os eventos monitorados passaram a ser concentrados em ambiente centralizado, permitindo consultas históricas e acompanhamento mais estruturado dos ativos distribuídos ao longo da linha.

Essa centralização facilitou o acesso às informações pelas equipes técnicas e criou condições para futuras análises comparativas entre diferentes regiões da infraestrutura.

5.4 Apoio às Atividades de Manutenção

A implantação da solução também proporcionou uma nova fonte de informação para suporte às atividades de manutenção.

Embora o sistema não substitua inspeções presenciais nem o conhecimento técnico das equipes de campo, os registros disponibilizados passaram a complementar os métodos tradicionais de acompanhamento dos Finger Plates.

A possibilidade de consultar históricos específicos por ativo trouxe maior capacidade de rastreamento das condições observadas ao longo do tempo, contribuindo para o planejamento das atividades de inspeção e manutenção.

Dessa forma, o sistema passou a atuar como ferramenta complementar de apoio à gestão dos ativos de via permanente.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A disponibilização estruturada das informações observadas aproxima a gestão dos Finger Plates dos conceitos de manutenção baseada na condição, nos quais as decisões passam a utilizar informações obtidas a partir do comportamento do ativo, complementando as estratégias tradicionais baseadas exclusivamente em periodicidade (Jardine, Lin e Banjevic, 2006).

5.5 Escalabilidade da Arquitetura

A arquitetura desenvolvida demonstrou ser compatível com uma infraestrutura caracterizada por grande dispersão geográfica dos ativos monitorados.

Ao utilizar os próprios trens como plataforma móvel de coleta, a solução eliminou a necessidade de instalação de equipamentos de monitoramento dedicados em cada Finger Plate.

Esse resultado representa uma vantagem operacional importante, pois permite ampliar a quantidade de ativos monitorados sem crescimento proporcional da infraestrutura embarcada.

A abordagem adotada viabiliza a expansão do sistema acompanhando o crescimento da própria Linha 15-Prata e de futuros ativos que possam ser incorporados ao monitoramento.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

5.6 Resultado Institucional

Além dos resultados operacionais, o projeto resultou no depósito do pedido de patente BR102023022933 – Sistema de Monitoramento de Elementos de Via em Monotrilhos.

O pedido de patente formalizou a proteção da arquitetura desenvolvida e consolidou o conhecimento gerado durante o projeto, transformando uma necessidade operacional identificada na manutenção da Linha 15-Prata em uma solução tecnológica estruturada.

O desenvolvimento do sistema demonstrou a capacidade de concepção e implementação de soluções voltadas aos desafios específicos da infraestrutura metroferroviária, utilizando conhecimento técnico acumulado pelas equipes envolvidas no projeto.

5.7 Ambiente de Inovação: PLIM, Governança e Metodologia

A transformação do problema em uma oportunidade de inovação ocorreu no âmbito do Programa Laboratório de Ideias (PLIM), iniciativa corporativa do Metrô de São Paulo voltada à geração de soluções tecnológicas para desafios concretos enfrentados pela Companhia.

O MetrôDetecta não surgiu como resultado de contratação externa ou de um projeto tradicional de aquisição tecnológica. O projeto nasceu diretamente da observação dos problemas vivenciados pelas áreas operacionais e de manutenção da Linha 15-Prata, o que conferiu à solução uma característica importante: cada decisão tecnológica foi condicionada pelas necessidades reais do sistema.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O PLIM proporcionou o ambiente necessário para que profissionais de áreas distintas compartilhassem conhecimentos complementares, pois o desafio envolvia aspectos estruturais, mecânicos, operacionais, eletrônicos, computacionais e analíticos.

A governança do projeto adotou instrumentos de gestão modernos, incluindo a construção e a implementação de um Mapa Estratégico específico para o MetrôDetecta e a execução orientada pela metodologia de Objetivos e Resultados-Chave (OKR). Esses instrumentos permitiram alinhar as diferentes áreas em torno de metas compartilhadas, acompanhar o progresso de cada frente de trabalho e garantir que as decisões técnicas fossem tomadas com transparência e rastreabilidade.

5.8 Síntese dos Resultados

Os principais resultados obtidos com a implantação do MetrôDetecta podem ser resumidos da seguinte forma:

- utilização dos próprios trens como plataformas móveis de monitoramento;
- identificação automática dos Finger Plates monitorados;
- rastreabilidade individual dos ativos;
- criação de históricos de acompanhamento por componente;
- centralização das informações coletadas em operação;
- disponibilização dos registros para acompanhamento pelas equipes de manutenção;
- arquitetura escalável para ampliação da cobertura do monitoramento;



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- formalização da inovação por meio do pedido de patente BR102023022933.

Esses resultados estabeleceram uma nova abordagem para acompanhamento de ativos da via permanente na Linha 15-Prata, criando as bases para futuras evoluções tecnológicas e para a ampliação do uso de dados na gestão da infraestrutura metroferroviária.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Mudança de Paradigma no Monitoramento da Infraestrutura

Tradicionalmente, o monitoramento de componentes da via permanente depende da realização de inspeções periódicas, executadas em intervalos definidos e condicionadas às janelas de manutenção disponíveis. Nesse modelo, a observação do ativo ocorre em momentos específicos, podendo existir períodos significativos entre uma avaliação e outra.

A arquitetura desenvolvida pelo MetrôDetecta propõe uma mudança dessa abordagem ao utilizar os próprios trens como plataformas móveis de aquisição de informações. Dessa forma, a circulação diária das composições passa a atuar não apenas como atividade de transporte de passageiros, mas também como mecanismo contínuo de observação da infraestrutura.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Essa característica amplia significativamente a capacidade de obtenção de informações sobre os Finger Plates sem exigir a instalação de sistemas independentes de monitoramento distribuídos ao longo da via.

6.2 Importância da Rastreabilidade dos Ativos

Um dos principais avanços proporcionados pela solução está na capacidade de associar automaticamente os eventos registrados aos respectivos Finger Plates.

Em atividades de manutenção, a simples existência de um registro possui utilidade limitada se não for possível identificar com precisão o ativo relacionado à ocorrência. A rastreabilidade desenvolvida no MetrôDetecta permite que cada registro seja vinculado ao componente correspondente, criando um histórico individualizado e estruturado.

Essa abordagem aproxima o monitoramento da infraestrutura dos conceitos modernos de gestão de ativos, nos quais cada componente deixa de ser tratado apenas como um elemento físico da linha e passa a possuir um conjunto próprio de informações ao longo de seu ciclo de vida

6.3 Ganhos para a Gestão da Manutenção

A disponibilização estruturada dos registros permitiu criar uma nova fonte de informação para apoio às atividades de manutenção.

Embora a decisão técnica continue baseada na análise especializada das equipes responsáveis, a existência de históricos individuais e informações centralizadas amplia a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

capacidade de acompanhamento dos ativos, facilitando consultas retrospectivas e análises comparativas.

Essa disponibilidade de dados favorece uma visão mais abrangente da infraestrutura, permitindo que informações obtidas durante a operação comercial sejam incorporadas ao processo de gestão e planejamento da manutenção.

A utilização de registros históricos associados a ativos específicos cria condições favoráveis para a evolução futura de estratégias de manutenção baseada na condição, amplamente discutidas na literatura de manutenção e confiabilidade (Jardine, Lin e Banjevic, 2006).

6.4 Escalabilidade e Potencial de Expansão

A estratégia de concentrar os recursos de monitoramento nos trens apresenta uma importante vantagem de escalabilidade.

Em sistemas convencionais, o aumento da quantidade de ativos monitorados normalmente implica expansão proporcional da infraestrutura de aquisição de dados. No caso do MetrôDetecta, a incorporação de novos Finger Plates ocorre sem a necessidade de replicação integral da arquitetura embarcada.

Essa característica é particularmente relevante diante da expansão prevista da Linha 15-Prata e do crescimento da quantidade de componentes que deverão ser acompanhados ao longo dos próximos anos.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Além disso, os conceitos utilizados no projeto podem ser avaliados futuramente para aplicação em outros elementos da infraestrutura metroferroviária cuja condição operacional possa ser observada por meio de eventos captados durante a circulação dos trens.

6.5 Contribuição Tecnológica

A principal contribuição tecnológica do MetrôDetecta não está associada a um componente específico ou a um equipamento isolado.

O diferencial da solução encontra-se na integração entre:

- aquisição embarcada de dados;
- identificação automática dos ativos;
- rastreabilidade individual dos componentes;
- transmissão das informações;
- armazenamento estruturado;
- disponibilização para acompanhamento pelas equipes de manutenção.

A combinação desses elementos permitiu criar uma arquitetura capaz de transformar eventos observados durante a operação comercial em informações organizadas e associadas à infraestrutura monitorada.

Essa integração constitui o núcleo da solução objeto do pedido de patente BR102023022933, consolidando uma abordagem inédita para monitoramento de elementos de via em sistemas monotrilho (METRÔ, 2023)



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

6.6 Estrutura Matricial e Integração Multidisciplinar

O desenvolvimento do MetrôDetecta exigiu a integração de conhecimentos provenientes de diferentes áreas da Companhia, envolvendo profissionais das áreas de operação, manutenção de via permanente, material rodante, monitoramento de ativos, equipamentos eletrônicos, sinalização, oficinas, engenharia e suprimentos. Essa estrutura matricial permitiu reunir competências complementares necessárias para transformar uma necessidade operacional em uma solução tecnológica aplicável ao ambiente metroferroviário.

A participação conjunta dessas áreas foi fundamental para a concepção da arquitetura, definição dos requisitos operacionais, seleção dos componentes da solução, implantação dos equipamentos, disponibilização das informações e validação dos fluxos de utilização pela manutenção.

Mais do que um desenvolvimento tecnológico isolado, o projeto evidenciou a capacidade de cooperação entre diferentes especialidades técnicas da Companhia. A integração entre equipes com experiências distintas permitiu que decisões de engenharia fossem tomadas considerando simultaneamente aspectos de operação, manutenção, segurança, implantação e escalabilidade.

6.7 Impactos para manutenção, segurança e operação

Os principais impactos do MetrôDetecta estão relacionados à capacidade de priorização das atividades de manutenção. Em um ambiente com centenas de ativos distribuídos ao



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

longo da infraestrutura, a identificação e rastreabilidade dos Finger Plates permitem direcionar recursos, equipes e janelas de manutenção para os pontos que demandam maior atenção. Essa abordagem reduz a dispersão de esforços e melhora a utilização da mão de obra especializada.

A solução também contribui para a segurança operacional ao ampliar a capacidade de acompanhamento do comportamento dos ativos ao longo do tempo. Dessa forma, inspeções e intervenções podem ser planejadas com base em informações previamente registradas, reduzindo a dependência exclusiva de evidências visuais ou da ocorrência de manifestações mais perceptíveis da degradação.

Na operação, os benefícios estão associados à ampliação da previsibilidade e ao fortalecimento da comunicação entre as equipes técnicas. A disponibilização de informações rastreáveis e historicamente estruturadas cria uma base comum para discussão, planejamento e tomada de decisão, reduzindo a dependência de registros dispersos ou interpretações subjetivas.

Outro impacto relevante está na formação de uma base histórica dos ativos monitorados, permitindo acompanhar sua evolução ao longo do tempo e subsidiar revisões futuras de estratégias de manutenção, confiabilidade e gestão de ativos.

Por fim, o projeto contribuiu para o desenvolvimento de competências internas relacionadas à aquisição acústica, referenciamento de ativos, processamento embarcado, transmissão de dados e gestão de informações aplicadas à manutenção.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Esse conhecimento constitui um importante legado para futuras iniciativas de monitoramento da infraestrutura metroferroviária.

7. EVOLUÇÕES FUTURAS

A arquitetura desenvolvida foi concebida de forma modular, permitindo a incorporação gradual de novas funcionalidades à medida que a base de dados operacional for ampliada.

Uma das possibilidades futuras consiste na utilização de técnicas avançadas de análise de dados para apoiar a identificação automática de comportamentos anômalos e tendências de degradação. A existência de registros históricos individualizados cria condições para estudos voltados à caracterização do comportamento dos Finger Plates ao longo do tempo e à investigação de correlações entre eventos observados e intervenções de manutenção realizadas.

Outra perspectiva consiste na ampliação do sistema para novos ativos da infraestrutura metroferroviária, aproveitando os mesmos princípios de aquisição embarcada, identificação dos componentes monitorados e rastreabilidade operacional.

O desenvolvimento futuro dessas aplicações deverá ocorrer de forma incremental, baseado na experiência operacional adquirida durante a utilização do sistema e na consolidação das informações obtidas em campo.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

É importante destacar que tais funcionalidades representam perspectivas de evolução da plataforma e não fazem parte do escopo atualmente implantado e descrito neste trabalho.

A consolidação de uma base histórica associada aos Finger Plates poderá futuramente viabilizar o emprego de técnicas avançadas de análise de dados para identificação de padrões de comportamento e apoio ao diagnóstico. Diversos trabalhos demonstram o potencial da aplicação de métodos de aprendizado de máquina em atividades de monitoramento e diagnóstico de falhas em ativos industriais (Lei et al., 2020; Lee, Bagheri e Kao, 2015).

AGRADECIMENTOS

Os autores registram agradecimento aos 45 profissionais, engenheiros e técnicos, que participaram da concepção, desenvolvimento, validação e implementação do MetrôDetecta. A solução apresentada neste artigo é resultado da atuação integrada de equipes do Metrô de São Paulo nas áreas de operação, manutenção, via permanente, material rodante, monitoramento de ativos, equipamentos eletrônicos, sinalização, oficinas, suprimentos, engenharia e tecnologia aplicada.

A contribuição desses profissionais foi determinante para transformar uma necessidade operacional concreta em solução tecnológica inédita, implementada em ambiente real de operação e protegida por propriedade intelectual. O projeto evidencia que a inovação em infraestrutura metroferroviária nasce da integração entre experiência de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

campo, conhecimento técnico, método, colaboração e compromisso com a confiabilidade do serviço público de transporte

Os autores agradecem ainda ao Centro Universitário FEI pelas discussões técnicas realizadas durante as fases iniciais de avaliação do problema e exploração de alternativas de monitoramento. As contribuições recebidas nessa etapa auxiliaram o processo de reflexão técnica que culminou no desenvolvimento da solução apresentada neste trabalho

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 55001:2014: gestão de ativos — sistemas de gestão — requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO – METRÔ. **Sistema de monitoramento de elementos de via em mon trilhos**. Pedido de patente BR 10 2023 022933. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), 2023.

FARRAR, C. R.; WORDEN, K. **Structural Health Monitoring: a machine learning perspective**. Chichester: John Wiley & Sons, 2012.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. **A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems**. *Manufacturing Letters*, Amsterdam, v. 3, p. 18-23, 2015.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

LEI, Y.; YANG, B.; JIANG, X.; JIA, F.; LI, N.; NANDI, A. K. **Applications of machine learning to machine fault diagnosis: a review and roadmap. Mechanical Systems and Signal Processing**, London, v. 138, 106587, 2020.

JARDINE, A. K. S.; LIN, D.; BANJEVIC, D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. **Mechanical Systems and Signal Processing**, London, v. 20, n. 7, p. 1483-1510, 2006.

RANDALL, R. B. **Vibration-based condition monitoring: industrial, aerospace and automotive applications**. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

WORDEN, K.; DULIEU-BARTON, J. M. An overview of intelligent fault detection in systems and structures. **Structural Health Monitoring**, Thousand Oaks, v. 3, n. 1, p. 85-98, 2004.