



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

CATEGORIA 3

DESAFIOS NO PROJETO E IMPLANTAÇÃO DO CENTRO DE CONTROLE DA MANUTENÇÃO DO METRÔ SP

INTRODUÇÃO

O Metrô de São Paulo, com sua extensa rede de linhas e estações, é um dos principais sistemas de transporte público da cidade, responsável por movimentar milhões de passageiros diariamente. Para garantir a segurança, eficiência e confiabilidade desse sistema, a manutenção preditiva local, preventiva e corretiva dos ativos é de extrema importância. Nesse contexto, o Metrô de São Paulo desenvolveu e implementou o Sistema de Monitoramento de Ativos (SMA) e seu respectivo Centro de Controle da Manutenção (CCM), que é um ambiente centralizado para predição remota de sistemas embarcados em trens, via permanente, sistemas de telecomunicação, sinalização de controle de trens, eletrificação e auxiliares, com o objetivo de aprimorar os processos de manutenção e, conseqüentemente, melhorar a segurança e confiabilidade operacional com aumento de disponibilidade dos ativos



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

operacionais, redução de custos, transformação tecnológica, valorização das pessoas e melhoria de imagem da Companhia. Contudo, a implantação desse sistema enfrenta diversos desafios, tanto em aspectos tecnológicos quanto organizacionais.

O presente artigo visa apresentar os principais desafios enfrentados na implementação do CCM, abordando questões como a integração de sistemas de informação, a capacitação de profissionais, a gestão de mudanças organizacionais e a escolha das tecnologias mais adequadas para monitoramento e diagnóstico.

O CENTRO DE CONTROLE DA MANUTENÇÃO E O SMA

O SMA baseia-se em três pilares, conforme Figura 1, o primeiro é o **Centro de Controle da Manutenção – CCM**, localizada no prédio administrativo da manutenção no Pátio Jabaquara da Linha 1 – Azul, exerce a função de interface homem-máquina com o Sistema. É composto por quatro consoles que monitoram os macrossistemas: Alimentação e Tração Elétrica; Sinalização e Telecomunicações; Sistemas Embarcados em Trens; e uma específica para os sistemas da Linha 15 - Prata. Os operadores destas consoles são técnicos experientes provenientes das equipes de manutenção de campo e das oficinas de trens. Além dos macrossistemas, está prevista a implantação de mais uma console para o Sistema de Monitoramento de Via Permanente – SMVP.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 1 – Os 3 pilares do SMA; Centro de Controle da Manutenção (CCM), Módulo Data Logger (MDL) e Plataforma de Monitoramento de Ativos (PMA)

O segundo pilar do SMA é a coleta de dados, cujo elemento principal é o **Módulo Data Logger** – **MDL**, um produto destinado à leitura de dados físicos, seja em formato digital ou analógico. É compatível com sensores de temperatura, pressão, vibração, corrente elétrica etc. Além disso, pode ser aplicado em uma vasta gama de ativos, como escadas rolantes, trens, sistemas de ventilação, de diferentes gerações de automação, desde os controlados por relés e contadores, até aqueles compostos por Controlador Lógico Programável (CLP) e Inversores de Frequência (IF). O seu desenvolvimento permitiu alocar computação de borda (EC, do inglês *edge computing*), executando algoritmos de aprendizado de máquina (ML, do inglês *machine learning*) e acrescentando assim uma camada de Inteligência Artificial ao MDL. Esta característica, capacita-o ao processamento local dos dados coletados externando o resultado

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

da análise, sendo desnecessária a transmissão dos dados brutos dos sensores pela rede, desonerando-a. O terceiro e último pilar realiza a transmissão, tratamento, armazenamento e disponibilização dos dados, batizado de **Plataforma de Monitoramento de Ativos – PMA**. Compõem-se de uma rede de fibra ótica que não compartilha nem interfere na infraestrutura de comunicação de dados das estações, sejam elas administrativas ou operacionais. Essa rede percorre estações, subestações, Centros de Controle Operacional – CCOs e pátios de manutenção. Além dela, na PMA estão dois parques de servidores computacionais: no primeiro, são executados os softwares que compõem o motor de coleta (*engine*), armazenamento e classificação dos dados em níveis de alarme para tratamento pelo CCM, sejam eles coletados pelo MDL ou provenientes de ativos informatizados e instrumentados nativamente; já o segundo parque, em fase de projeto, destina-se ao processamento dos dados coletados com o uso de ferramentas de Inteligência Artificial. A Figura 2 mostra um esquema simplificado do SMA.

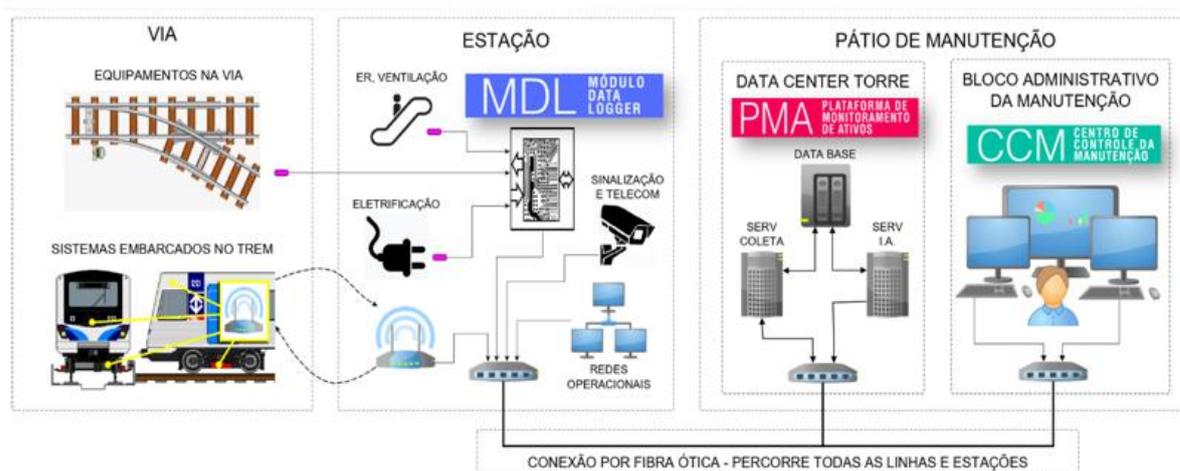


Figura 2 – Diagrama de implantação dos componentes do SMA



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DO CENTRO DE CONTROLE DA MANUTENÇÃO (CCM)

A eficaz integração de sistemas de informação, a capacitação contínua dos profissionais, a gestão de mudanças organizacionais, a escolha criteriosa das tecnologias, e o suporte às equipes são elementos cruciais na implementação bem-sucedida do CCM no Metrô de São Paulo. Esses desafios estratégicos e a busca por benefícios notáveis destacam a importância desse projeto para a otimização operacional e a redução de custos a longo prazo (ALMEIDA et al., 2020; SILVA et al., 2019; OLIVEIRA; SANTOS, 2018; SOUZA et al., 2021).

DIAGNÓSTICO

INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Um dos principais desafios na implementação do CCM é a integração de diversos sistemas de informação em uma plataforma centralizada e eficiente. O Metrô de São Paulo possui uma ampla gama de sistemas dedicados que dão suporte à operação em seus diversos aspectos, figura 3. Por exemplo: monitoramento de passageiros realizado pelo sistema de câmeras, escadas rolantes, via permanente, aparelhos de mudança de via, máquina de chave, rede de dados operacionais, sistema de alimentação elétrica (tração), controle de fluxo e bilhetagem eletrônica (tarifação) pelos bloqueios (catracas), Portas de Plataforma, sistemas de ventilação, telefonia, sistema de comunicação entre trens, estações e CCO por rádio frequência etc. Além



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

dos embarcados no trem como sistema pneumático, inversores, tração, freio, portas, rede de comunicação interna, câmeras etc. Além da diversidade citada anteriormente, o grau de desafio de integração eleva-se quando se verifica que, para cada um dos sistemas seja fixo ou embarcado no trem, coexistem diferentes formas de automação em função da tecnologia disponível à época do projeto e implantação, ou seja, para uma mesma funcionalidade há gerações distintas de equipamentos. O que é natural, pois já se passaram 50 anos desde início de operação do Metrô de São Paulo. Integrar esses sistemas de forma a obter um fluxo de informações preciso e em tempo real é essencial para o sucesso do CCM (ALMEIDA et al., 2020).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 3 – Foto da tela de Monitoramento no CCM, ao centro, linhas e estações, nas laterais, sistemas monitorados

CAPACITAÇÃO CONTÍNUA DOS PROFISSIONAIS

Outro desafio-chave é garantir a capacitação contínua dos profissionais envolvidos no projeto e implantação do SMA desde a equipe de campo, passando pelas oficinas e chegando à engenharia. Com a coleta dos dados dos equipamentos compõem-se um “BigData” da manutenção, sobre o qual serão aplicados algoritmos de Inteligência Artificial – IA. Desta forma, vislumbra-se um novo desafio: adquirir conhecimento sobre ciência de dados. Tal

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

habilidade torna-se primordial para extrair insights e predições dos dados, seja sobre um sistema em específico ou como se interagem, devido a enorme quantidade de dados. Tanto a introdução de novas tecnologias, como sensores e sistemas de diagnóstico, como o domínio em ciência de dados, requer que os colaboradores do CCM, Figura 4, estejam aptos a utilizar essas ferramentas de forma eficaz, o que obriga o investimento em programas de treinamento e desenvolvimento de habilidades, sendo este quesito fundamental para o sucesso do projeto (SILVA et al., 2019).



Figura 4 - Foto dos técnicos na Sala do Centro de Controle da Manutenção (CCM)



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

GESTÃO DAS MUDANÇAS ORGANIZACIONAIS

A adoção de um novo modelo de manutenção, centrado no monitoramento, diagnóstico de ativos e manutenção preditiva, requer uma mudança de cultura e de processos na organização.

A área responsável pela implantação tem o papel de prestação de serviço de monitoramento às demais da gerência. De forma a minimizar o impacto, viabilizar a quebra de paradigmas e, simultaneamente, demonstrar a capacidade da ferramenta, a estratégia usada baseia-se em dois pilares, parcerias e divulgação.

A parceria com a área “cliente”, conhecer suas dores, suas necessidades e pontos críticos em seus processos são essenciais para um bom atendimento, já que promovem a integração na busca pela melhor solução de monitoramento para sua própria utilização.

A divulgação se dá através de reuniões gerenciais e palestras junto às equipes e seus gestores, ressaltando seu histórico de desenvolvimento e os benefícios da ferramenta.

Quando apresentado, principalmente às equipes de campo e oficina, que possuem um grande cabedal de conhecimentos práticos sobre os sistemas em que trabalham, os colaboradores se estimulam a apresentar propostas de monitoramento para melhoria de seus próprios processos, com consequente aumento na eficiência da área.

Surpreendentemente, o trabalho de divulgação ultrapassou os limites da Gerência de Manutenção. Por ser 100% desenvolvido pelo próprio Metrô, diferentemente dos demais

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

sistemas que são adquiridos por processos licitatórios, outras áreas da Cia. enviam seus colaboradores para as palestras tornando-se um case motivacional interno, promovendo o envolvimento e o engajamento (OLIVEIRA; SANTOS, 2018).

O CCM foi inaugurado oficialmente em agosto de 2022, em 2 anos, já foi apresentado a mais de 600 funcionários, figura 5, não só da manutenção, mas também de outras áreas como a de projetos, Recursos Humanos, jurídico etc.

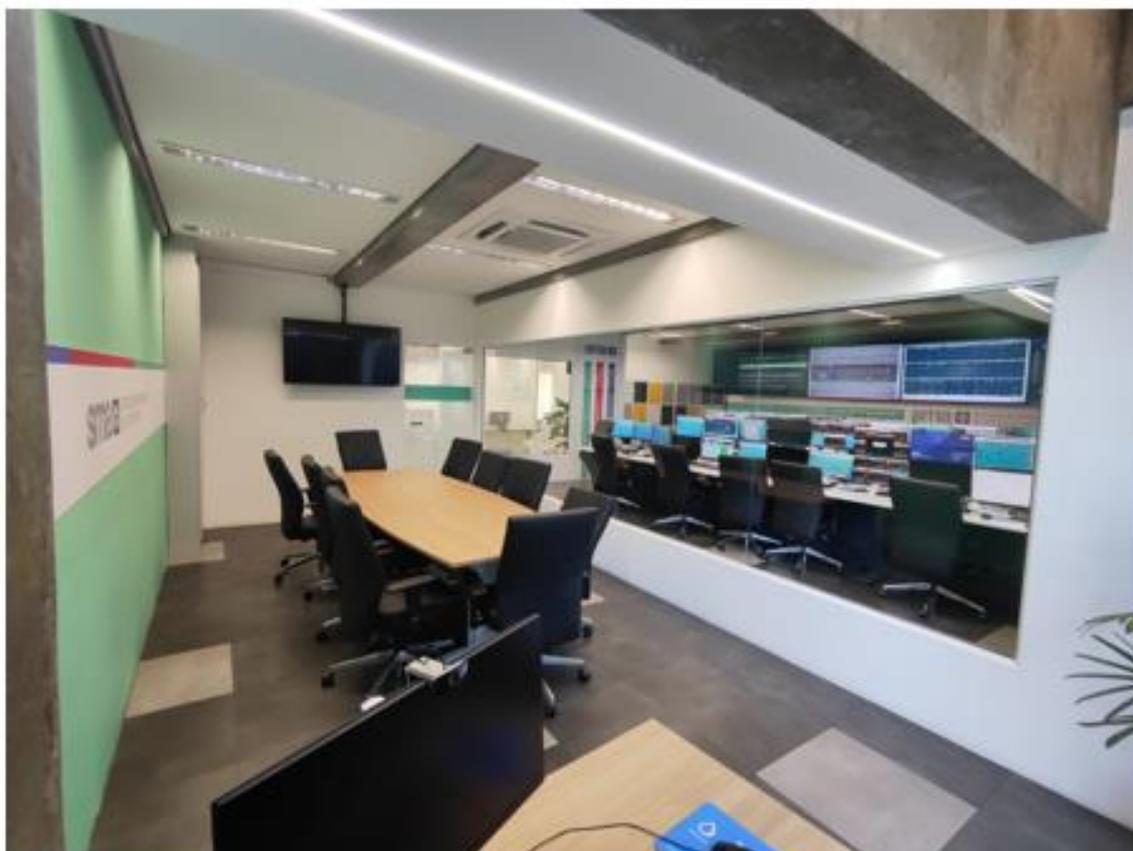


Figura 5 - Foto da sala de reuniões anexa ao CCM onde ocorrem as apresentações para os funcionários do Metrô sobre o SMA



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ESCOLHA DAS TECNOLOGIAS ADEQUADAS

A premissa básica de projeto do SMA é a não interferência em equipamentos e sistemas que estão em operação. Desta forma, a escolha dos sensores, as grandezas a serem medidas, o método de conversão escolhido e a forma de instalação são essenciais na implementação do monitoramento.

O baixo custo do projeto é outra premissa. Para atendê-la, a Gerência de Manutenção do Metrô de São Paulo encarou o desafio de conceber, testar, desenvolver protótipos, programar computadores e servidores, desenvolver uma rede de dados exclusiva, desenvolver integralmente o MDL, Figura 6, e sensores, Figura 7, desde os circuitos eletrônicos, leiaute das placas de circuito impresso, montagem, configuração para o ativo a ser monitorado, teste, *burn-in* e instalação em campo.

A escolha dos softwares da plataforma de coleta e para a implementação do parque computacional de IA, além das ferramentas de análise de dados, também seguem as mesmas premissas, levando em consideração as necessidades específicas do Metrô e a compatibilidade com a infraestrutura existente (SOUZA et al., 2021).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 6 - Foto do Módulo Data Logger

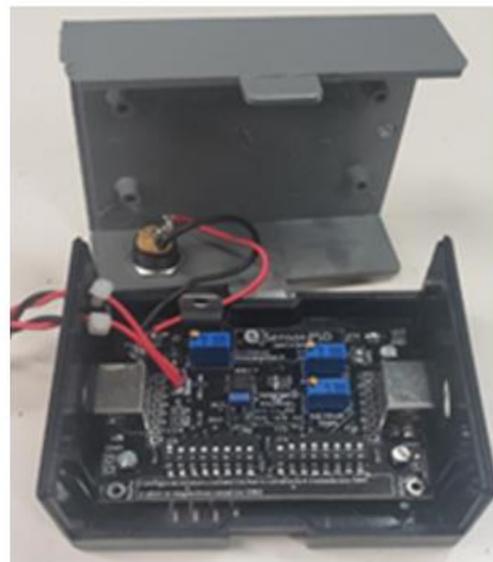


Figura 7 – Na esquerda: o sensor de vibração e na direita: o sensor de corrente elétrica.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

SUORTE ÀS EQUIPES ENVOLVIDAS

Com o advento do CCM, as atividades sobre os equipamentos para mantê-los sob o desempenho especificado em projeto, contam com uma nova e poderosa ferramenta.

Ao adquirir dados “viscerais”, como vibração, pressão, variação de tensão etc. o enfoque das equipes muda, principalmente quando o CCM detecta uma tendência de falha, ou seja, a falha ainda não se tornou evidente. Desta forma, o técnico de campo, invariavelmente, precisa aplicar uma lupa, com uma atuação mais minuciosa, com o objetivo de sanar uma tendência, se antecipando, para que ela não se torne uma falha evidente com consequente indisponibilidade operacional.

Os técnicos nas consoles do CCM provêm apoio às equipes de campo já que possuem uma visão holística do sistema, seja em atendimentos às falhas de grande interferência operacional ou naquelas do dia a dia. Além disso, as telas que os técnicos do CCM operam são compartilhadas, permitindo a acesso *on line* desde às equipes de campo, em suas bases de manutenção, espalhadas ao longo das linhas, oficinas e à engenharia de manutenção.

O SMA, através do CCM, também participa na formulação das estratégias de manutenção, fornecendo subsídios para a engenharia de manutenção. Com os dados reais, efetivos e não mais estimados, de tempo e ciclos de operação armazenados nos servidores, é possível realizar estudos de confiabilidade, além dos históricos que subsidiam a decisão de substituição por obsolescência, por exemplo. Este histórico auxilia as equipes de oficina, na resolução de



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

falhas, já que é possível observar as condições do contexto operacional onde o módulo estava instalado.

Em resumo, o suporte adequado às equipes de campo, oficinas e engenharia que desempenham um papel fundamental na manutenção dos ativos, estão alinhadas e capacitadas para lidar com as novas tecnologias e processos introduzidos pelo CCM (SILVA et al., 2019).



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ANÁLISE DOS RESULTADOS

IMPACTOS E BENEFÍCIOS DO CCM

Os principais impactos e benefícios do CCM na manutenção do Metrô de São Paulo são:

- Quebras de paradigmas na metodologia da manutenção;
- A inclusão de uma nova “ferramenta” para toda a manutenção;
- A sala de controle do CCM unifica todos os macros sistemas: Elétrica, Sinalização, Telecomunicações, Gerenciamento da Rede de dados Operacional e Alimentação Elétrica fornecendo um enorme “*dashboard*” com foco exclusivo em manutenção que permite verificar tanto as falhas nestes sistemas como a interação entre eles;
- Um ponto de apoio às equipes de manutenção de campo durante suas atividades;
- Habilita a manutenção à gestão “*Data driven*” baseados em dados efetivos e reais coletados diretamente do parque de equipamentos instalados;
- Com o acesso às telas do sistema, as equipes de campo visualizam o status do equipamento antes de iniciar a atuação;
- Redução de 36% nas falhas de portas em trens monitorados;
- Redução da mão de obra em campo devido ao monitoramento remoto como, por exemplo, tensão das fontes de alimentação em sistemas críticos que eram executadas localmente.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Em suma, a implementação do SMA e CCM no Metrô de São Paulo traz benefícios significativos, como a otimização de recursos (insumos e mão de obra), melhoria na confiabilidade operacional e redução de custos de manutenção a longo prazo (ALMEIDA et al., 2020).



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONCLUSÃO

Com passar do tempo, a ferramenta SMA tem-se comprovado de extrema importância nas mudanças dos processos de manutenção e vem agregando novos monitoramentos.

O caso do Metrô de São Paulo serve como um exemplo motivador de como a adoção de um modelo de manutenção centrado no monitoramento e diagnóstico de ativos traz benefícios significativos a longo prazo. A disseminação dessas boas práticas e a superação dos desafios enfrentados podem inspirar outras organizações do setor.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. et al. Integração de sistemas de informação para a manutenção preditiva de ativos: um estudo de caso no Metrô de São Paulo. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 6, n. 1, 2020.

OLIVEIRA, J. F.; SANTOS, A. C. Gestão de mudanças organizacionais: um estudo de caso em uma empresa de transporte público. Revista de Administração da UFSM, v. 11, n. 4, 2018.

SILVA, L. F. et al. Capacitação de profissionais para a implantação de novos sistemas de manutenção: uma abordagem no Metrô de São Paulo. Revista Produção Online, v. 19, n. 2, 2019.

SOUZA, R. M. et al. Seleção de sensores para monitoramento de ativos: uma análise multicritério no Metrô de São Paulo. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 7, n. 1, 2021.Z