



AEAMESP



# PREDITIVIDADE EM SISTEMAS METROFERROVIÁRIOS

Rubens Navas Borloni

George Eduardo Gomes de Faria

José Sabariego Ruiz Filho



AEAMESP



## “20ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA”, “PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS”

### **Categoria**

Tecnologias de implantação, operação e manutenção de sistemas de transporte.

### **Título**

Preditividade em Sistemas Metroferroviários



AEAMESP



## Introdução

O aumento crescente da demanda de transporte nas grandes metrópoles brasileiras coloca os sistemas que compõem o modal de transporte metroferroviário (Sinalização, Sistema de Controle Centralizado, Material Rodante, etc.) em seus limites operacionais podendo inclusive em determinados horários trabalhar em sobrecarga durante o intervalo de pico operacional. Neste contexto, quaisquer falhas nos equipamentos críticos que afetem o serviço de transporte podem gerar uma situação de perturbação operacional, a qual pode provocar um efeito em cascata no sistema de transporte levando-o a um cenário crítico operacional provocando, até mesmo, a uma interrupção completa de seus serviços afetando diretamente a qualidade do serviço de transporte ou podendo gerar inclusive uma condição de risco operacional por conta da logística necessária para contornar a interrupção do serviço e realizar com segurança o procedimento de evacuação dos usuários do sistema inoperante. Com isso, aumenta a necessidade destes sistemas serem dotados de uma alta disponibilidade operacional que depende, além da confiabilidade e disponibilidade intrínseca dos equipamentos, da capacidade preditiva destes sistemas/equipamentos, a qual proporcionará recursos operacionais e de manutenção de uma base de conhecimento do real estado dos equipamentos que compõem o sistema de transporte metroferroviário. Esta capacidade preditiva dos equipamentos leva a antecipação de falhas sem afetar a prestação do serviço, facilitando a tomada de decisão das equipes de manutenção antes do acontecimento real da falha, evitando, assim as interrupções de serviço, altamente indesejáveis nos sistemas de transporte metroferroviários de alta densidade.

O objetivo deste trabalho é enfatizar a importância na confecção de requisitos de projeto voltados para os conceitos da manutenção preditiva dos equipamentos que compõem os sistemas de transporte metroferroviário, nos quais as operadores destes sistemas devem



AEAMESP



forçar o mercado a prover este tipo de serviço primordial para diminuir os impactos operacionais quando da ocorrência de uma falha de um equipamento crítico.

## **Manutenção Preditiva – Alguns conceitos**

A palavra manutenção é definida no dicionário Aurélio como o “ato ou efeito de manter”. A sua origem advinda de um conceito militar “manu + tener” significa “ter a mão”, que na filosofia da qualidade se resume a “garantir a disponibilidade”. E disponibilidade é o grande objetivo a ser alcançado no projeto de sistemas metroferroviários.

A palavra preditiva advém de “predizer”. Predizer para diagnosticar, planejar e eliminar a causa.

Embora a manutenção preditiva esteja cercada por definições generalistas, sendo considerada como uma coleção de medições e análises realizadas por instrumentos especiais, preferimos aceitar a manutenção preventiva como qualquer atividade de monitoramento que seja capaz de fornecer dados suficientes para uma análise de tendências.

Em termos práticos entendemos que uma técnica de manutenção preditiva deve permitir a coleta de dados com o equipamento em funcionamento ou com o mínimo de interferência no processo operativo, e que esses dados possibilitem a análise de tendência de modos de falha.

E o que se espera da manutenção preditiva?

Pelo monitoramento, reajustar as previsões das operações de manutenção a efetuar, estimando-se a tendência evolutiva do funcionamento não adequado do equipamento e o tempo durante o qual é possível continuar a utilizá-lo antes da falha.



AEAMESP



As técnicas disponíveis mais utilizadas são:

- Monitoramento de grandezas elétricas (corrente, tensão, isolamento, etc);
- Análise de vibrações;
- Termografia;
- Ferrografia;
- Análise de óleos lubrificantes ou isolantes;
- Ensaios não destrutivos: Raios X, Gamagrafia, Ultra-som, Emissão Acústica, Partículas Magnéticas, Correntes Parasíticas, Líquidos Penetrantes, Boroscopia. Embora algumas técnicas de ensaio não destrutivo somente possam ser aplicadas com o equipamento fora de operação, fato que as não classificaria como manutenção preditiva, mencionamos essas técnicas por estarem relacionadas com os primeiros ensaios utilizados para garantia de equipamentos adquiridos.

De que forma então a Manutenção Preditiva pode contribuir para a alta disponibilidade exigida nos sistemas metroferroviários? Sendo aplicada nos equipamentos cujos modos de falha simples impactam significativamente nos serviços da operação do sistema, levando em consideração os aspectos de segurança, rapidez, conforto e até imagem da empresa.

O emprego das técnicas de Manutenção Preditiva também está relacionado com os modos de falha do equipamento.

Qualquer modo de falha apresenta um tempo entre o aumento da probabilidade de ocorrência e a efetiva perda de função, é chamado intervalo PF.

Na maioria dos casos este intervalo é tão pequeno que não se mostra útil para se antecipar a perda da função. São os modos de falha de ocorrência aleatória ou de probabilidade



AEAMESP



constante no tempo. Para estes modos de falha o uso de redundâncias é indicado para garantir a disponibilidade desejada.

Para os modos de falha que possuem intervalo PF útil, a Manutenção Preditiva pode ser empregada.

Atualmente, nos sistemas metroferroviários a manutenção preditiva tem sido utilizada principalmente em equipamentos de via permanente, onde redundâncias não são de fácil aplicação. Nas máquinas de chave são monitoradas as correntes dos motores e através dessa monitoração são diagnosticados problemas de falta de lubrificação e desgastes. Nos trilhos da via permanente a termografia é utilizada para se detectar problemas nas conexões elétricas. Estas práticas têm evitado um grande número de falhas que provocariam paralizações na operação.

A viabilidade da manutenção preditiva através de experimentos em campo, com aplicações de monitoramento contínuo e ferramentas de análise de gráficos em equipamentos críticos, tem o propósito de minimizar o tempo de reparo ou mesmo prevenir a ocorrência da falha, através da avaliação de tendências ou comportamento dos sinais elétricos (ref. 3).

Os dados extraídos do comportamento dos sistemas (número de ocorrências, gráficos, causa de falhas, etc.) são elementos para a análise e tomada de decisões estratégicas para a otimização dos investimentos e atuações em Manutenção e Projetos (ref. 3).

Atualmente, com a crescente competitividade em todos os setores, o da prestação de serviços na área de transportes também apresenta os seus índices de desempenho, segurança e disponibilidade. Todas as etapas do desenvolvimento de um produto, bem ou serviço têm como foco o cliente e a consolidação da imagem da Empresa (ref. 3).



AEAMESP



## Evolução e Tendências

Segundo estudos da IBM do Ph.D Eric Siegel (ref. 1), a análise preditiva surgiu como uma criação prática empresarial generalizada como evidenciado a seguir:

Tecnologia analítica comprovada – surgiu nos laboratórios de pesquisa a modelagem preditiva, a qual foi construído com base nas disciplinas: matemática, probabilidade, estatística e tecnologias de banco de dados. Os recursos desta modelagem preditiva, conhecido como aprendizado de máquina na área acadêmica, são cientificamente comprovados e os beneficiando os avanços tecnológicos.

Estabelecer um valor agregado no negócio – pesquisas demonstram que a análise preditiva traz um valor agregado ao equipamento. 66% de quem já implantou a análise preditiva, entende que o valor agregado do produto foi elevado promovendo um diferencial do produto. Outra pesquisa identificou que usuários da análise preditiva aumento em 1% as margens de lucro do negócio e de um ano para outro aumento em 6% a taxa de retenção do cliente e a credibilidade do equipamento que possui este serviço de preditiva. Já em relação a quem não faz uma análise preditiva a queda é de 2% na margem de lucro, bem como uma diminuição da ordem de 1% na retenção do cliente, afetando a credibilidade do produto.

Crescimento industrial – A corrida para uma análise preditiva tem aumentado com um crescimento anual da ordem de 8 a 10 % ao ano. 85 % dos entrevistados para uma nova implantação de análise preditiva dentro de 5 anos; 51,5% em 6 meses. E 79 % das empresas de grande porte tem planos para implementar a análise preditiva.

“ No longo prazo, o objetivo principal de 2/3 e ¼ dos executivos é desenvolver a capacidade de uma análise preditiva, na qual será possível predizer em tempo real as reais condições dos equipamentos para a tomada de decisão.”



AEAMESP



Sete razões que você precisa de uma análise preditiva – Objetivos estratégicos alcançados

*These strategic objectives can be attained to their full potential only by employing predictive analytics.*

1. **Compete** – Secure the Most Powerful and Unique Competitive Stronghold
2. **Grow** – Increase Sales and Retain Customers Competitively
3. **Enforce** – Maintain Business Integrity by Managing Fraud
4. **Improve** – Advance Your Core Business Capacity Competitively
5. **Satisfy** – Meet Today's Escalating Consumer Expectations
6. **Learn** – Employ Today's Most Advanced Analytics
7. **Act** – Render Business Intelligence and Analytics Truly Actionable

Figura 1: Sete razões de uma análise preditiva – vantagens

## Requisitos Fundamentais Dos Sistemas Metroferroviários Preditivos

Para que os sistemas metroferroviários possam ser dotados de características preditivas, é necessário que seus projetos levem em conta requisitos específicos que resultem em arquiteturas que permitam a preditividade e que suportem funcionalidades preditivas.

Quatro requisitos básicos, fundamentam a preditividade nos sistemas metroferroviários:

- 1) **A capacidade de geração de dados de diagnóstico do funcionamento dos equipamentos determinantes da disponibilidade operacional do sistema metroferroviário.**

Os equipamentos centrais e distribuídos de sinalização, elementos de via, sistema de bordo, de telecomunicações, etc., devem ser dotados de sensores, capacidade de processamento e “inteligência” de autodiagnóstico de modo que possam gerar seus dados preditivos.

A tecnologia atual de máquinas com crescente poder de processamento, e capacidade de autodetecção de seus diagnósticos de funcionamento através de sensores, denominadas “máquinas inteligentes” é a resposta a este requisito.





AEAMESP



Como um exemplo do “mundo não metroferroviário”, pode-se citar uma máquina fotocopadora que envia um e-mail automático à empresa de assistência técnica informando que o nível de seu toner está baixo e, portanto, necessita de substituição.

Como exemplo metroferroviário pode-se citar uma placa processadora de intertravamento microprocessado com sensores de temperatura e que gere a informação de sobretemperatura de funcionamento e a envie a um sistema externo de gerenciamento de manutenção.

Alguns elementos do sistema metroferroviário - como, por exemplo, uma máquina de chave, - devido a sua simplicidade, não são dotados de processamento e, portanto, nem de capacidade de autodiagnóstico. Para estes equipamentos, seus diagnósticos preditivos devem ser assumidos por seus equipamentos de controle. Continuando no exemplo citado, o equipamento Controlador de Objeto, ou o Intertravamento que controla a máquina de chave pode coletar a informação de tempo de curso da máquina de chave e, caso esteja fora do valor nominal, enviar esta informação ao sistema de manutenção.

## **2) A capacidade de aquisição destes dados preditivos gerados pelos diversos componentes do sistema metroferroviário.**

O sistema metroferroviário deve ser capaz de adquirir os dados de diagnósticos dos equipamentos / componentes / subsistemas / sistemas geradores de seus dados de manutenção preditiva.

O atendimento a este requisito pressupõe duas características arquiteturas:

- a. A existência de um sistema de manutenção preditiva capaz de coletar e armazenar estes dados de diagnósticos (além de analisar a curva de tendência da falha, o que será abordado a seguir);



AEAMESP



- b. A interoperabilidade dos equipamentos geradores dos dados de diagnósticos com este sistema preditivo através de meios de comunicação (inclusive móveis, caso de equipamentos embarcados), de protocolos e de frequências de amostragens apropriadas (compatíveis com a análise dos dados em tempo real).

### **3) A capacidade analítica preditiva em tempo real do sistema de manutenção.**

Após adquiridos, os dados de diagnósticos dos equipamentos devem ser analisados de forma semântica, em tempo real, através de modelos de tendências que gerem resultados preditivos da condição de falha dos equipamentos/componentes/sistemas, os quais devem ser facilmente interpretados pelos mantenedores.

O atendimento a este requisito requer que o sistema de suporte a manutenção preditiva seja dotado de lógica analítica capaz de tratar, em tempo real, os dados de diagnósticos, analisando a tendência dos parâmetros coletados e inferindo uma provável condição de falha futura. Esta lógica analítica será particular para cada componente do sistema metroferroviário.

### **4) A capacidade de informação dos resultados preditivos para a rápida reação dos atores de manutenção.**

Os resultados das análises preditivas em tempo real devem ser transmitidos para os postos de trabalho e dispositivos móveis dos mantenedores para que estes possam atuar imediatamente na substituição/reparo do elemento com tendências a falha.

A implementação deste requisito passa pela utilização do atual estágio da tecnologia da Internet, denominado “Internet da Coisas”, caracterizado pela hiperconectividade e pelo seu acesso cada vez maior através de dispositivos móveis.



AEAMESP



Caso a análise dos dados de um determinado equipamento infira uma potencial falha, uma mensagem SMS ou e-mail pode ser enviada imediatamente para um operador de manutenção para que este intervenha no equipamento executando as ações de manutenção necessárias.

Estes quatro requisitos ditam os fundamentos de um sistema metroviário preditivo capaz de responder à necessidade crescente da garantia dos parâmetros RAM (Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade), os quais proporcionaram uma alta disponibilidade operacional.

### **Arquitetura dos Sistemas Metroferroviários Preditivos: Geração e Aquisição dos Dados de Diagnósticos**

A figura 1 a seguir ilustra a arquitetura de um Sistema Metroferroviário, supondo este dotado de um sistema de sinalização CBTC. Seus componentes devem ser dotados de sensores que possam coletar suas variáveis críticas – como, por exemplo, a temperatura de funcionamento de um cartão processador do ATC de bordo. Os elementos do sistema que não possuem processamento - como Máquinas de Chave, Sinais, etc. – devem ser monitorados por seu controlador – neste exemplo, o controlador de objetos. Um Sistema de Apoio a Manutenção adquire os diagnósticos dos vários componentes do sistema. Os diagnósticos dos sistemas do Material Rodante como sistema de freios, sistema pneumático, portas do trem, ar condicionado, etc. são enviados através do link de rádio do SCMVD – Sistema de Comunicações Móveis de Voz, Vídeo e Dados. O sistema de sinalização envia os dados de diagnósticos de seus subsistemas – Intertravamento, Controlador de Zona, Controladores de Objeto e, além disso, envia também os dados de manutenção preditiva

dos elementos ao longo da via sob seu controle: máquinas de chave, sinais, circuitos de via, balizas. São também adquiridos pelo Sistema de Apoio a Manutenção, os diagnósticos do Sistema de Portas de Plataforma, e do Sistema ATS e demais sistemas do CCO - Centro de Controle Operacional.

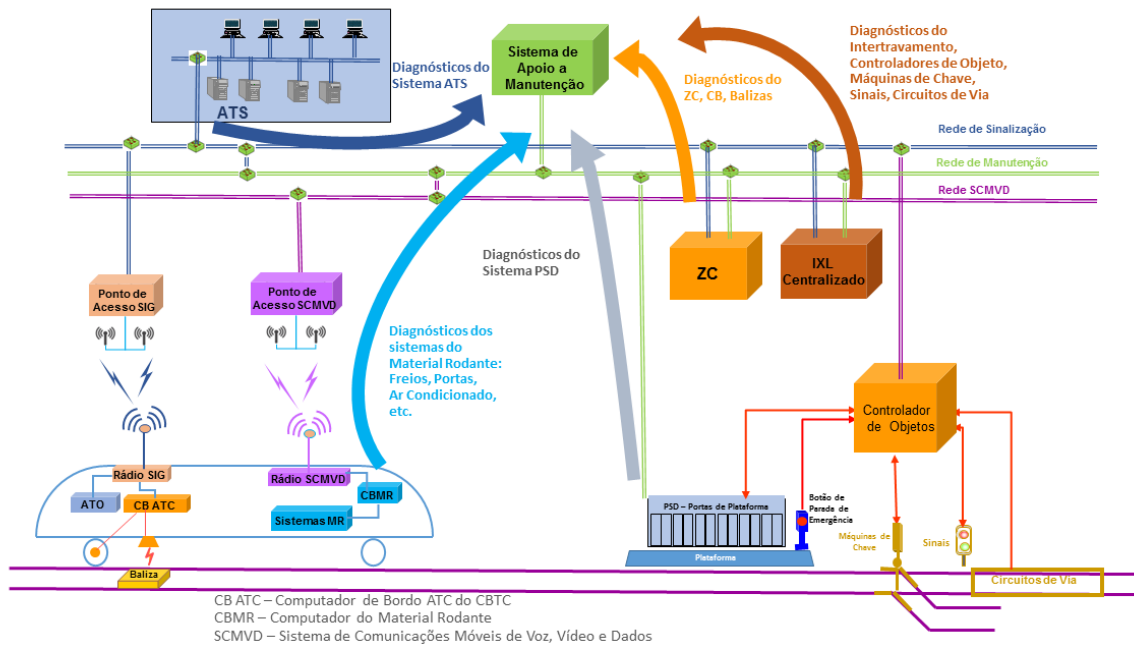


Figura 1: Arquitetura de sistema Metroferroviário Preditivo

Protocolos adequados ao gerenciamento de dados de manutenção devem ser utilizados, com destaque para o protocolo SNMP – Simple Network Management Protocol.

Outro fator importante é a frequência de amostragem das variáveis monitoradas que deve ser adequada ao processamento em tempo real de suas curvas de tendência.

### Análise dos dados

O Sistema de Apoio a Manutenção deve ter capacidade de processamento e algoritmos analíticos para a análise da massa de dados de diagnósticos recebidos. Esta análise deve ser executada em tempo real, e deverá inferir a iminência de falhas a partir da tendência de



AEAMESP



variáveis críticas de funcionamento dos equipamentos. Como exemplo, pode-se citar uma temperatura de funcionamento de um cartão processador de um equipamento ATC de bordo que está aumentando rapidamente.

Além de análise de tendências em tempo real, o Sistema de Apoio a Manutenção deve poder executar análises comparativas, ou seja, comparar o estado de funcionamento dos equipamentos com um estado nominal. Como exemplo, pode-se citar a comparação de curva de corrente adquirida de uma máquina de chave com uma curva de corrente padrão. O afastamento da curva real em relação à curva nominal acima de certo limite é inferido como iminência de falha da máquina de chave.

Esta análise, em tempo real, da massa de dados de diagnósticos dos equipamentos pode inferir falhas potenciais iminentes, ou seja, conclusões preditivas.

O Sistema de Apoio à Manutenção deve ser capaz de realizar o diagnóstico de todos os equipamentos que compõem um Sistema Metroferroviário, identificando e classificando de forma organizada e semântica os diagnósticos, possibilitando uma grande flexibilidade nas consultas, bem como a semântica deve proporcionar uma certa inteligência aos diagnósticos apresentados, levando em consideração as prioridades dos diagnósticos e auxílio na análise progressiva da falha. Por exemplo: tipo de evento, período de ocorrência, equipamento, local de ocorrência / domínio, trem específico, entre outras formas de classificação e atributos de cada ocorrência visando uma rápida interpretação pelos atores de mantenedores do Sistema, agilizando as tomadas de decisão (ref. 4).

## Comunicação dos Resultados aos Atores de Manutenção

Quando o resultado analítico da massa de dados de diagnósticos dos equipamentos indica falhas potenciais iminentes, esta informação deve ser transmitida, também em tempo real, aos atores responsáveis pela manutenção de modo que estes possam reagir imediatamente.

A necessidade de transmissão da informação relevante para a rápida reação dos mantenedores impõe que o Sistema de Apoio a Manutenção esteja conectado com o rádio SCMVD de modo que o envio da informação se dê através desta rede e seja recebida em seus “Smartphones” dotados de aplicativos específicos. As características de conectividade e mobilidade da arquitetura são elementos essenciais para a rápida intervenção dos mantenedores. A figura 2 a seguir ilustra estes aspectos da arquitetura apresentada.

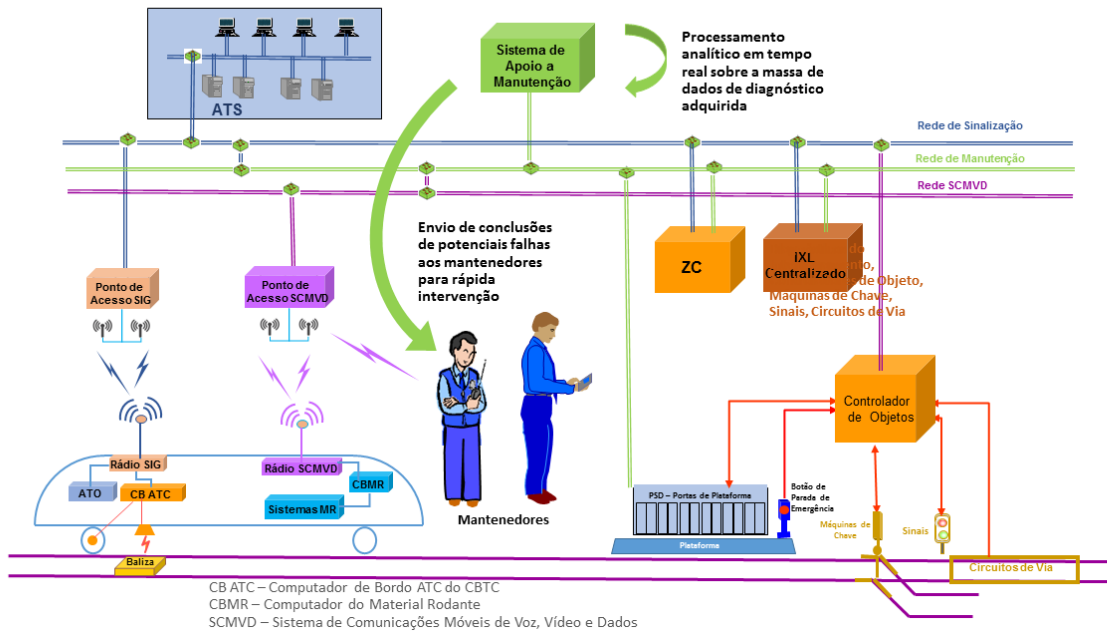


Figura 2: Análise em tempo real dos diagnósticos e envio das conclusões aos mantenedores



AEAMESP



## Conclusões

Como foi visto, a preditividade é fundamental para que não haja interrupções de serviço que podem vir a perturbar seriamente um sistema de transporte metroferroviário de alta densidade. A geração, coleta e análise dos dados de diagnósticos dos sistemas / equipamentos que compõe o sistema metroferroviário é complementada pela capacidade de informação em tempo real aos atores intervenientes de manutenção. A resposta a iminência da falha potencial ao invés da reação corretiva às falhas reais, leva o sistema metroferroviários a melhores patamares de disponibilidade operacional, bem como melhora e otimiza os indicadores e recursos da manutenção.

## Referências Bibliográficas

1. Predictive Analytics for Business and Marketing – Seven Reasons you need Predictive Analytics today – IBM – PhD Eric Siegel
2. 19º AEAMESP - Utilização de Dados de Histórico na Manutenção Preditiva de Equipamentos Elétricos, Eletrônicos e Programáveis em Aplicações Metroferroviárias - Eng. Antonio Vieira da Silva Neto e Prof. Dr. Paulo Sérgio Cugnasca
3. Trabalho de pos graduação PECE – USP - VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DO MONITORAMENTO CONTÍNUO NOS SISTEMAS DE MÁQUINA DE CHAVE E PROTEÇÃO DA SOBRETENSÃO DO NEGATIVO-TERRA – Engs. Albert Haga, Luiz Eduardo Argenton, Sérgio Barbosa.
4. Diretrizes técnicas (DT) e Concepção de Sistemas (CS) elaboradas pela GCS – Gerência de Concepção de Sistemas para os modais de transporte: Metrô e Monotrilhos.