



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

CONFIABILIDADE COMO REQUISITO DE PROJETO: DA TEORIA À PRÁTICA NA GESTÃO DE ATIVOS

SOBRE OS AUTORES

Ricardo Luisi Ferreira - Engenheiro de Produção Mecânica, Pós-Graduado em Engenharia Ferroviária, Gestão de Projetos, Engenharia de Confiabilidade e Cursando Sistemas Elétricos. Técnico Mecatrônico. Experiência em implantação, testes e comissionamento de sistemas metroferroviários (Sinalização e telecomunicações, em trens, estações e pátios). Atuação na elaboração e otimização de processos de manutenção, Planejamento e Controle de Manutenção (PCM), SAP PM, Estudos RCM, Análise de Falhas (FMEA), Criticidade de Ativos e Indicadores de Desempenho. Familiaridade com normas técnicas, em especial a de gestão de ativos (ISO 55000), Power BI e Pacote Office 365.

Caique Fernando Candido - Pós-graduado em Engenharia Ferroviária, Gestão metroviária e Gestão da Mobilidade Urbana, MBA em Engenharia e Negócios pelo Centro Paula Souza Especialista - SAP Key User do módulo PM (manutenção). Experiência na fabricação, manutenção e gestão de trens. Experiência em Gestão de projetos e processos, Planejamento de manutenção e Liderança de times. No ramo Metroferroviário desde 2013.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA 3

CONFIABILIDADE COMO REQUISITO DE PROJETO:

DA TEORIA A PRÁTICA NA GESTÃO DE ATIVOS



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e importância do tema

Quando nos embasamos na NBR 5462, norma regulamentadora brasileira descrita pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, que segundo a própria “define os termos relacionados a confiabilidade e manutenibilidade” (1994, p.1), entendemos que ela tem como principal objetivo padronizar conceitos e terminologias relacionados à gestão de ativos, e assim sendo, valendo-se destacar alguns trechos e itens.

Devemos iniciar citando o que a mesma norma descreve por item, “Qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento, ou sistema que possa ser considerado individualmente” (1994, p.1), ou seja, quando interpretamos o trecho no contexto de gestão de ativos entendemos por se tratar do ativo em si, sendo ele uma máquina, equipamento, ferramenta específica, ou etc. Ainda no mesmo sentido o Item 2.1.5 (1994, p.2) explica que a função requerida de um equipamento se trata da função, ou combinação de funções, que são consideradas necessárias para que o ativo desempenhe um dado resultado esperado, ou seja, provenha o serviço ao qual o equipamento é destinado a realizar. Já na obra de Moubray (2000, p.8) é possível identificar que as funções se dividem em duas categorias, sendo elas:

- Funções primárias: seriam as quais justificam a aquisição do ativo, em primeiro lugar, estando geralmente relacionadas com o desempenho de sua capacidade, seja ela de transporte ou armazenagem, velocidade, quantidade, qualidade do produto e serviços ao cliente.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- Funções secundárias: estariam relacionadas às funções que apesar de serem esperadas pelos usuários apenas simplesmente preenchem as funções primárias, podendo geralmente estar relacionadas à quesitos de controle, contenção, conforto, economia, estruturais ou de aparência do item.

Para que um dado equipamento realize sua operação, que ainda segundo a norma NBR 5462 é a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas destinadas a permitir que um item cumpra uma função requerida[...]” (1994, p.2) são necessárias várias ações que propiciem que esse ativo realize a função requerida, seja no sentido de manter, recolocar ou modificar o estado do item para tal, definição encontrada no item 2.8.1(1994, p.6). Segundo Camargo (2019) podemos definir como manutenção o conjunto de cuidados técnicos, seja no sentido de conservação; adequação; restauração; substituição ou prevenção, que são indispensáveis ao permitir o correto funcionamento de máquinas, equipamentos, ferramentas ou instalações, provendo assim a operação e produção à qual ela foi destinada. Para Moubray (2000, p.7), seguindo no mesmo sentido, todo ativo físico é posto a serviço para que realize uma, ou mais funções específicas, e a manutenção nada mais é que o ato que assegura que ele continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça.

Destaca-se o trecho da obra de Cardoso et al. (2018, p. 115) onde é designada a missão da manutenção:

“A missão da manutenção é garantir que os equipamentos, as máquinas, os dispositivos, as ferramentas e as instalações estejam disponíveis e que sejam confiáveis para atender ao



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

processo produtivo da organização com a máxima confiabilidade, garantindo também segurança na instalação em manutenção, preservação do meio ambiente, seguimento das normas regulamentadoras e de técnicas vigentes e aplicáveis e redução de custos”.

Quando não conseguimos que o ativo desempenhe a função requerida entendemos que o mesmo está em estado de pane (item 2.5.1 da NBR 5462) em consequência de uma falha que segundo Cardoso et al. (2018, p. 105) define-se como falha, a ocorrência que impede o funcionamento de um equipamento; já segundo a norma NBR 5462 (1994, p.3) a falha é o “Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”, e para Moubray (2000, p.46) a falha se materializa quando o ativo demonstra incapacidade de fazer o que se espera dele, e vai mais além, definindo o que seria uma falha funcional (2000, p.47): “Falha funcional é definida como a incapacidade de qualquer ativo de cumprir uma função para um padrão de desempenho que é aceitável pelo usuário”.

Com isso as falhas, ou panes, afetam diretamente a performance esperada para a disponibilidade dos ativos, pois considera-se “Disponibilidade: capacidade de um item estar em condições de executar uma função requerida, sob determinadas condições, em um dado instante ou durante um dado intervalo de tempo [...]” (item 3.1.8 da NBR 5462:1994), ou ainda “Disponibilidade é a capacidade de um ativo de estar em um estado de desempenho requerido quando necessário.” (seção 3.1.1.1 da ISO 55000:2014, tradução livre).

1.2 Confiabilidade

A confiabilidade tem se consolidado como um dos pilares fundamentais na gestão de ativos físicos, sobretudo em setores industriais e de infraestrutura onde a continuidade operacional,



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

a segurança e a sustentabilidade econômica são imperativos. De forma geral, confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um item desempenhar uma função requerida, sob condições específicas, durante um intervalo de tempo determinado, conforme estabelecido pela norma NBR-5462.

No contexto da gestão de ativos, a confiabilidade de ativos refere-se à capacidade dos sistemas e equipamentos de manterem seu desempenho funcional sem falhas, contribuindo para a disponibilidade operacional, segurança das pessoas, preservação do meio ambiente e otimização do ciclo de vida dos ativos. Essa abordagem é coerente com os princípios da norma ISO 55000, que estabelece diretrizes para a gestão de ativos físicos de forma estratégica e integrada, além da ISO 14224, que trata da coleta e troca de dados de confiabilidade e manutenção.

Do ponto de vista metodológico, a engenharia de confiabilidade é uma disciplina que aplica métodos analíticos, estatísticos e preditivos para avaliar, controlar e melhorar o desempenho dos ativos ao longo do tempo. Ferramentas como FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), FTA (Fault Tree Analysis), Análise de Weibull, RCM (Reliability-Centered Maintenance) e RAM (Reliability, Availability, Maintainability) são amplamente empregadas para identificar modos de falha, mitigar riscos e embasar decisões técnicas. A NBR 5462 reforça essa abordagem ao estabelecer terminologia e conceitos fundamentais de confiabilidade e manutenção no ambiente industrial.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Entre os autores mais influentes na área, destaca-se John Moubray, cuja obra Reliability-Centered Maintenance (RCM) oferece uma abordagem estruturada para a aplicação da confiabilidade em ambientes operacionais reais. Moubray ressalta que confiabilidade não é uma característica inerente ao ativo, mas sim um atributo dinâmico, influenciado pelo seu contexto operacional, modo de uso e estratégia de manutenção adotada.

Além disso, a confiabilidade também se conecta à gestão de riscos, conforme os princípios da ISO 31000, ao permitir a identificação e o tratamento de incertezas relacionadas ao desempenho dos ativos, contribuindo para decisões mais robustas e alinhadas aos objetivos organizacionais.

Portanto, este artigo tem como objetivo discutir os fundamentos e a aplicação prática da confiabilidade, distinguindo seus dois principais enfoques: (i) como uma característica de desempenho dos ativos e (ii) como uma disciplina estruturada de engenharia. Ao integrar referências normativas, literatura técnica e práticas consolidadas, busca-se demonstrar como a confiabilidade pode ser aplicada de forma estratégica para garantir a eficiência atrelada a sustentabilidade na gestão de ativos físicos.

A confiabilidade dos ativos deixou de ser tratada como uma simples resposta operacional a falhas e passou a ser tratada como um requisito de projeto essencial, especialmente em sistemas críticos como os metroferroviários. Esse movimento começou a se intensificar a partir do momento em que as organizações passaram a valorizar não apenas a disponibilidade imediata dos ativos, mas sua performance sustentada ao longo do ciclo de vida. Esse novo paradigma exige que as decisões relacionadas à aquisição, especificação técnica e



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

estruturação da manutenção sejam tomadas com base em critérios objetivos e alinhados ao ciclo de vida dos ativos, desde a concepção até a operação.

Com uma complexidade operacional elevada e alto grau de exigência regulatória, a operação metroferroviária impõe desafios significativos quanto à disponibilidade, segurança, desempenho e sustentabilidade dos ativos. A capacidade de antecipar-se às falhas, controlar os riscos e otimizar os recursos tornou-se indispensável para garantir a eficiência do sistema e a satisfação do usuário.

Nesse cenário, práticas de engenharia de confiabilidade passaram a ser incorporadas desde as fases iniciais dos projetos, permitindo análises mais precisas sobre os modos de falha e seus efeitos.

Contudo, tornar mais assertiva e eficiente a manutenção dos ativos de uma linha metroferroviária significa conduzir a operação de maneira mais confiável, diminuindo ocorrências e impactos aos clientes, contribuindo assim, com seu propósito principal, que é melhorar a qualidade de vida da população através da mobilidade.

1.3 Desafios da gestão de ativos em sistemas complexos

A operação de sistemas metroferroviários envolve a integração de centenas de ativos físicos e eletrônicos, muitos deles críticos para a segurança operacional e o cumprimento de indicadores contratuais. Em ambientes assim, o tempo de parada de um sistema pode comprometer não apenas a regularidade da operação, mas também gerar impactos financeiros, ambientais e de imagem.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Além disso, o que aumenta a relevância e contribui para a alta complexidade é a exposição direta dos passageiros aos ativos, o que torna ainda mais importante que a conservação destes garanta a segurança contínua, conforme inclusive, normas pertinentes. Devido à prestação de serviço, objetivo da operação comercial, se fazer necessária durante grande parte do dia, a janela para atividades de manutenção torna-se enxuta e desafiadora, pois deve considerar todas as especificidades do funcionamento dos ativos e do comportamento de sua demanda de acordo com a natureza do negócio.

Neste contexto, torna-se necessário estabelecer critérios técnicos sólidos para orientar a seleção, especificação, manutenção e substituição dos ativos ao longo de seu ciclo de vida. Ferramentas como CCMS, matriz de criticidade, análise de risco por RPN (Risk Priority Number), diagrama para priorização de investimentos e dados assertivos e reais, permitem transformar a gestão de ativos em um processo analítico, baseado em evidências e alinhado à estratégia organizacional.

2. OBJETIVO

2.1 A confiabilidade como requisito de projeto

O presente artigo apresenta uma proposta estruturada para incorporar a confiabilidade como eixo central da gestão de ativos, desde a fase de projeto. A abordagem defendida propõe que a confiabilidade não seja um resultado da operação bem executada, mas sim uma condição projetada, especificada e medida desde os primeiros passos do empreendimento.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Essa visão está alinhada com os princípios da norma ABNT NBR ISO 55001, que estabelece que a gestão de ativos deve considerar valor, risco e desempenho ao longo do ciclo de vida. A adoção de requisitos como MTBF mínimo, disponibilidade esperada, resiliência operacional e estratégias de manutenção baseadas em risco permite maior previsibilidade e eficiência nos processos de manutenção e operação.

Ferramentas modernas como CMMS (Computerized Maintenance Management System) e dashboards de gestão integrada permitem transformar esses conceitos teóricos em práticas aplicadas à realidade do projeto. Além disso, a criação de uma hierarquia técnica de ativos, com codificação estruturada e classificação por criticidade, viabiliza a aplicação das metodologias como FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) e RCM (Reliability-Centered Maintenance) de maneira eficaz e contínua. Essa estrutura proporciona a base necessária para análises RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) e tomada de decisões de investimento mais assertivas.

Ao alinhar engenharia, operação e manutenção sob uma mesma visão sistêmica, o modelo contribui para o aumento da previsibilidade operacional e da resiliência dos ativos. Isso permite antecipar intervenções críticas, reduzir custos não planejados e melhorar os níveis de serviço. Como resultado, a confiabilidade deixa de ser um conceito abstrato e torna-se um diferencial competitivo e sustentável para o empreendimento.

2.2 Estrutura do artigo

O conteúdo deste trabalho está organizado da seguinte maneira:



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- O capítulo 1 (Introdução) apresenta uma introdução ao tema, destacando os pontos importantes dentro da gestão de ativos e confiabilidade.
- O capítulo 2 (Objetivo) direciona o presente artigo ao seu tema principal e mostrando como é sua estrutura.
- O capítulo 3 (Diagnóstico) apresenta o contexto técnico e institucional da gestão de ativos em uma linha de metrô, destacando os principais desafios enfrentados e as estratégias adotadas na fase de projeto e pré-operação.
- O capítulo 4 (Análise dos Resultados) descreve as ferramentas utilizadas, os dados obtidos e as transformações observadas com a aplicação dos métodos de confiabilidade.
- O capítulo 5 (Conclusões) sintetiza os aprendizados, resultados concretos e recomendações para continuidade e amadurecimento do modelo.
- O capítulo 6 (Referências) reúne as normas técnicas, manuais, artigos e documentos utilizados como base teórica e prática.

3. DIAGNÓSTICO

O primeiro passo do diagnóstico consiste na realização de um mapeamento técnico e funcional minucioso dos ativos pertencentes aos principais sistemas da linha metroviária. Esta etapa é considerada crucial para a consolidação de uma gestão de ativos eficiente, pois estabelece as bases para todas as análises futuras de confiabilidade e desempenho ao longo do ciclo de vida dos ativos.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O mapeamento abrange de forma estruturada os ativos dos sistemas de via permanente, alimentação elétrica, telecomunicações, sinalização, ventilação, combate a incêndio, drenagem, elevadores, escadas rolantes, material rodante, entre outros. Para cada sistema, os ativos são identificados, localizados geograficamente, classificados funcionalmente e descritos em nível de componente, incluindo subsistemas e interdependências técnicas.

Além da identificação física, a atividade de cadastro técnico é realizada em paralelo ao mapeamento, por meio de uma estrutura hierárquica baseada na norma ISO 14224. A criação dessa árvore de ativos garante a rastreabilidade de dados por nível, desde o ativo principal até os elementos substituíveis em campo, permitindo a aplicação futura de indicadores como MTBF, MKBF, MTTR e disponibilidade por classe de ativo.

Este processo também contempla a normalização das nomenclaturas e códigos de ativos, a definição de localizações físicas (georreferenciadas quando aplicável), além da consolidação dos dados em um sistema informatizado de manutenção (CMMS). Essa etapa é essencial para garantir que as equipes de manutenção e engenharia, desde o início da operação, tenham acesso rápido, confiável e padronizado às informações técnicas.

É neste momento que se estrutura, de forma intencional, a base digital da confiabilidade: uma gestão eficiente de ativos depende diretamente de um cadastro robusto, coerente e tecnicamente orientado. A ausência ou a fragilidade desse mapeamento compromete todas as análises posteriores, desde o planejamento da manutenção até a análise de falhas e a tomada de decisão gerencial.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Assim, o diagnóstico não apenas reconhece o estágio atual do projeto como também define ações estruturantes que posicionam a operação futura em um patamar elevado de controle técnico, mitigando riscos e antecipando gargalos de performance por meio do conhecimento profundo do que será operado e mantido.

3.1 Primeiro passo

O primeiro passo no diagnóstico foi a realização de um mapeamento abrangente dos ativos pertencentes aos sistemas — incluindo via permanente, sistemas elétricos, material rodante, telecomunicações, ventilação, combate a incêndio, sinalização e controle, entre outros.

A estrutura hierárquica dos ativos foi formalizada com base em codificação funcional, respeitando os princípios da ISO 14224 e permitindo a segmentação por subsistemas, componentes e elementos críticos. A ausência anterior de uma estrutura padronizada dificultava a análise de falhas recorrentes, o acompanhamento de ciclos de vida e a tomada de decisão baseada em dados.

3.2 Hierarquia de ativos

A construção de uma hierarquia de ativos estruturada desde a fase de projeto é um dos fundamentos mais importantes para uma gestão de ativos eficiente, especialmente quando se busca a confiabilidade como um requisito estratégico. Essa hierarquia serve como o “esqueleto” que organiza todos os sistemas, subsistemas, componentes e equipamentos de forma lógica, funcional e padronizada, permitindo rastreabilidade, controle e análise de desempenho ao longo de todo o ciclo de vida do ativo.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Durante o projeto de novos empreendimentos é comum que o foco principal esteja na entrega física da infraestrutura. No entanto, ao negligenciar o levantamento e estruturação das informações dos ativos nessa fase, cria-se um passivo informacional que dificulta a operação, a manutenção e a tomada de decisão após o comissionamento.

Ao contrário disso, quando o levantamento de dados é realizado ainda na fase de projeto, é possível capturar informações diretamente dos documentos de engenharia, memoriais descritivos, listas de equipamentos, diagramas unifilares, plantas e especificações técnicas. Esses dados podem ser estruturados em uma árvore hierárquica que representa fielmente a realidade do ativo, com códigos padronizados e associados a localizações físicas, funcionais e lógicas.

Essa estrutura facilita a criação de planos de manutenção coerentes, a alocação de sobressalentes e a implementação de indicadores de desempenho como MTBF, MTTR, disponibilidade e confiabilidade. Além disso, permite a análise de falhas com base em registros consistentes, o controle de custos por ativo e a priorização de recursos com base em criticidade.

Outro benefício relevante é que uma hierarquia bem planejada viabiliza a integração entre sistemas (CMMS, ERP, BIM, SCADA, etc.) e facilita a interoperabilidade entre diferentes áreas da empresa — engenharia, manutenção, suprimentos, operações e gestão de riscos.

Ao se adotar esse olhar preventivo e estruturado, é possível que os ativos "nasçam" com seus dados completos, atualizados e organizados, prontos para alimentar o sistema de gestão de manutenção desde o primeiro dia de operação. Essa prática reduz drasticamente os custos de



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

implantação do CMMS e evita retrabalhos, reclassificações e falhas de comunicação entre as áreas ao longo do tempo.

Em resumo, levantar, classificar e estruturar os dados dos ativos desde o projeto é uma ação estratégica que garante agilidade, padronização e inteligência operacional. Uma hierarquia de ativos bem construída é o alicerce para uma gestão técnica eficiente, orientada por dados, baseada em risco e voltada para o aumento da confiabilidade e da longevidade dos ativos.

3.3 CMMS - Computerized Maintenance Management System / EAM – Enterprise Asset Management

O CMMS (Sistema Computadorizado de Gestão da Manutenção) não deve ser visto apenas como uma ferramenta de registro de ordens de serviço ou controle de estoques, o que por si só já se torna imprescindível para o controle dos processos e conformidades de normas pertinentes, contudo, quando sua estruturação ocorre desde a fase de projeto de um empreendimento, ele se transforma em um pilar estratégico da gestão de ativos. Essa antecipação permite que toda a base de dados seja construída de forma coerente com a realidade do ativo físico, garantindo padronização, rastreabilidade e governança de informações desde o início da operação.

Ao integrar o CMMS ao processo de projeto, é possível estruturar corretamente a árvore hierárquica de ativos, os códigos funcionais e os parâmetros de manutenção específicos para cada componente, levando em consideração o modo de operação, a criticidade e os requisitos



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

técnicos definidos na engenharia. O sistema também pode ser parametrizado para receber dados de comissionamento, testes de aceitação (FAT e SAT) e histórico de falhas, servindo como um repositório confiável desde a fase inicial do ativo.

Em última instância, o CMMS torna-se uma ferramenta de inteligência organizacional, onde cada ordem executada alimenta um ciclo de aprendizado contínuo, permitindo melhorias constantes na confiabilidade e na performance da operação, pois a análise dos dados gerados além de alimentarem os índices, que propiciam que o acompanhamento do desempenho do ativo seja possível, também permitem que novas estratégias sejam estudadas e planejadas.

Em ferramentas mais avançadas, toda a estruturação necessária para a aplicação dos conceitos descritos é coberta por funcionalidades nativas, propiciando que o software seja classificado como um EAM (Enterprise Asset Management - Gestão de Ativos Empresarial, em tradução livre), que pela integração nativa e o foco na gestão do ativo vai além de controlar processos de manutenção, mas ajuda a decidir quando renovar uma frota, como priorizar investimentos, gerenciar o risco de falhas catastróficas e alocar orçamento para longo prazo, com integração a planejamento estratégico.

3.4 Criticidade dos Ativos

A classificação de criticidade é um elemento-chave dentro da engenharia de confiabilidade, pois permite diferenciar os ativos conforme o impacto de sua falha sobre a segurança, meio



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

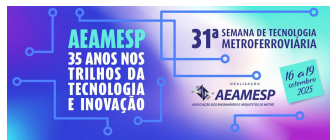
ambiente, operação, custo e imagem da organização. Quando essa análise é realizada ainda na fase de projeto, ela se torna uma ferramenta poderosa para orientar decisões técnicas e de investimento com base em risco.

Ao definir a criticidade dos ativos durante a fase de concepção, é possível adotar ações proativas, como selecionar equipamentos mais robustos para aplicações críticas, prever redundâncias em sistemas essenciais e garantir maior controle e automação em componentes com alto impacto operacional. Essa lógica orienta não apenas a especificação técnica, mas também o plano de manutenção, a quantidade de sobressalentes, a capacitação da equipe e a própria arquitetura do sistema.

Outro benefício significativo de antecipar essa análise está na capacidade de priorizar os recursos de operação e manutenção com maior assertividade desde o início. Isso evita desperdícios, garante a continuidade operacional dos sistemas mais relevantes e maximiza a eficiência no uso do orçamento e da mão de obra.

A criticidade também serve como base para o desenvolvimento de indicadores de desempenho diferenciados, com metas mais rigorosas para os ativos mais relevantes, reforçando a cultura de gestão baseada em risco. Ao tratar a criticidade como um insumo do projeto, a organização se posiciona com uma postura técnica madura, que compreende que a confiabilidade operacional não é um acaso, mas o resultado de um projeto bem planejado e executado.

3.5 Análise de Falhas e Confiabilidade



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A análise de falhas e a incorporação de requisitos de confiabilidade na fase de projeto são práticas decisivas para garantir uma operação eficiente, segura e com custos controlados ao longo da vida útil dos ativos. Ferramentas como FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), FTA (Fault Tree Analysis) e RCM (Reliability-Centered Maintenance) devem ser aplicadas com profundidade durante a engenharia básica e detalhada, não apenas como exigências contratuais, mas como parte da mentalidade organizacional de excelência em engenharia.

Dentre essas ferramentas, o FMEA se destaca por permitir uma análise sistemática dos modos potenciais de falha de cada componente ou função do sistema, avaliando suas causas, efeitos e criticidade. Ao aplicar o FMEA ainda na fase de projeto, é possível antecipar vulnerabilidades e implementar ações preventivas antes mesmo da entrada em operação, promovendo ganhos em segurança, desempenho e redução de custos corretivos.

A imagem abaixo apresenta um exemplo prático de aplicação do FMEA, destacando os campos utilizados na análise (modo de falha, causa, efeito, severidade e ocorrência, detecção), além de ilustrar como essa ferramenta contribui diretamente para a tomada de decisão técnica durante o desenvolvimento de projetos.

Concessionária de Metro					RPN			
Ativo	Função Principal	Falha funcional	Modos de falha	Efeito	O	S	D	Resultado
Bomba de incêndio	Fornecer fluido ao sistema de combate a incêndio com vazão estimada de 189 m³/h, garantindo a alimentação hidráulica necessária para o funcionamento adequado de hidrantes, sprinklers e demais dispositivos de supressão.	Não fornecer fluido ao sistema de combate a incêndio com vazão estimada de 189 m³/h	MOTOR DANIFICADO	motor não liga, tornando o sistema inoperante, gerando alarme	4	4	5	80
			MOTOR DANIFICADO	Devido a funcionamento sem bombeamento de líquido(vazio), aquecendo até danificar verniz e isolamento do motor. Motor não liga,	5	6	3	90

Figura 1 - FMEA em aplicação



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Essa abordagem permite identificar vulnerabilidades potenciais, prever modos de falha críticos e propor ações preventivas já na concepção do ativo. Por exemplo, pode-se revisar materiais, melhorar processos de montagem, prever redundâncias, implementar sensores para monitoramento em tempo real ou ajustar os ciclos de manutenção com base em análises estatísticas de falhas.

Além disso, quando a engenharia antecipa cenários de falha, é possível definir planos de manutenção mais inteligentes, baseados em condição e confiabilidade, reduzindo a dependência de intervenções corretivas e o risco de paradas não planejadas. A confiabilidade também guia a seleção de fornecedores, sendo possível exigir índices mínimos como MTBF (Mean Time Between Failures) e taxa de falha aceitável como cláusulas contratuais e critérios de aceitação.

Mais do que uma ferramenta técnica, a análise de confiabilidade no projeto é um elemento estratégico. Ela permite alinhar o desempenho dos ativos às metas organizacionais, fortalecer a segurança operacional, mitigar riscos legais e financeiros, além de contribuir com a sustentabilidade do empreendimento. Em suma, ativos bem projetados do ponto de vista da confiabilidade exigem menos esforço corretivo, têm menor custo total de propriedade e operam com melhor desempenho ao longo do tempo.

3.6 Processos de Monitoramento e Indicadores de Performance

Um sistema de monitoramento eficaz e uma estrutura de indicadores de desempenho bem definida são alicerces fundamentais para a gestão de ativos de alto desempenho. No entanto,



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

para que esses recursos cumpram seu papel, é essencial que sejam planejados ainda na fase de projeto. Isso significa que sensores, pontos de medição, sistemas supervisórios e interfaces de comunicação devem ser previstos já na arquitetura do sistema, permitindo a captura de dados desde o comissionamento.

Essa abordagem garante que a organização disponha, desde o início da operação, de informações confiáveis sobre as condições de funcionamento dos ativos, seus ciclos de carga, temperatura, vibração, tempo de operação, consumo energético, entre outros parâmetros relevantes. Esses dados alimentam o CMMS e os dashboards gerenciais, permitindo o acompanhamento em tempo real e a adoção de estratégias de manutenção baseadas em condição e tendência.

Indicadores como MTBF, MTTR (Mean Time to Repair), disponibilidade, confiabilidade, custo de manutenção por ativo, backlog técnico e taxa de falhas.

3.7 Lacunas Identificadas

Ao longo da análise dos processos de implantação de empreendimentos complexos — especialmente no setor metroferroviário e de infraestrutura — observa-se que a ausência de uma abordagem integrada de gestão de ativos desde a fase de projeto acarreta diversas lacunas críticas que impactam diretamente na confiabilidade, disponibilidade e eficiência operacional dos ativos.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Uma das principais lacunas identificadas é a entrega incompleta ou desorganizada dos dados de ativos ao final da implantação. A falta de uma estrutura de codificação padronizada, hierarquia técnica bem definida e documentação associada compromete a implementação do CMMS e dificulta a criação de planos de manutenção consistentes. Muitas vezes, esses dados são entregues em formatos dispersos, não integrados e com informações técnicas insuficientes, exigindo retrabalho por parte da equipe de operação e manutenção.

Outra falha recorrente é a não realização de estudos formais de confiabilidade durante o projeto, como análises FMEA. Isso significa que modos de falha previsíveis só são identificados após o início da operação, gerando interrupções, riscos à segurança e aumento de custos não previstos. Em muitos casos, ativos são adquiridos sem requisitos mínimos de desempenho ou sem cláusulas contratuais que assegurem níveis aceitáveis de MTBF e facilidade de manutenção.

Também é comum a ausência de uma estratégia de monitoramento contínuo integrada, o que limita a capacidade da organização em tomar decisões baseadas em dados. Sensores, sistemas supervisórios e interfaces com o CMMS não são especificados no projeto, ou são instalados tardiamente, sem lógica de integração. Isso impede a aplicação de manutenção baseada em condição e reduz a capacidade de análise histórica e preditiva.

Por fim, nota-se a subutilização dos indicadores de desempenho. Muitas organizações enfrentam dificuldades em medir e analisar a performance de seus ativos devido à falta de dados estruturados e confiáveis desde o início. Essa lacuna compromete a gestão por



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

desempenho, a tomada de decisão baseada em evidências e o amadurecimento da cultura de melhoria contínua.

Essas lacunas evidenciam a necessidade de uma mudança de paradigma: a confiabilidade não pode ser tratada como uma ação corretiva após o início da operação, mas sim como um requisito de projeto, com ações técnicas, contratuais e organizacionais claramente definidas. Apenas assim é possível alcançar um ciclo de vida otimizado, custos controlados e uma operação estável e segura.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

À medida que as ações de mapeamento, cadastro e classificação dos ativos avançam, é possível observar os primeiros impactos positivos na gestão da confiabilidade da linha metroviária. A aplicação gradual das metodologias e ferramentas está promovendo melhorias tangíveis, ainda que a implantação esteja em andamento.

Um dos resultados preliminares mais relevantes refere-se à melhoria na qualidade e consistência dos dados técnicos disponíveis. O cadastro estruturado de ativos permite que as equipes de manutenção e engenharia tenham acesso rápido e confiável às informações, o que irá facilitar a identificação de falhas e a priorização de intervenções. Esse ganho já reduz o tempo médio para diagnóstico e reparo (MTTR), diminuindo impactos operacionais, mesmo



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

que ainda em fase pré-operacional, visto que, os dados e catálogo de falhas já estão sendo estruturados.

O processo de cadastro de ativos encontra-se em andamento conforme o plano de implantação estabelecido, com priorização para os sistemas mais críticos da operação. A estruturação segue critérios definidos em conjunto com as áreas de engenharia, manutenção e confiabilidade, assegurando a padronização das informações e a rastreabilidade ao longo do ciclo de vida dos ativos.

Na **Imagem 2**, é possível visualizar os principais campos considerados no cadastro, como: identificação única do ativo (localização física: local, sistema e subsistema de origem), fabricante, modelo, número de série, datas de instalação e comissionamento, criticidade, entre outros.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Localização Física	Possui Sobressalentes?
Fabricante	MtBF ou MkBF
Modelo/Tipo	MtTR
Número de série	Disponibilidade
Fatores Ambientais	Data de Fabricação
Condições de Operação	Data de instalação
Criticidade	Data de Operação
RPN	Vida útil
Acesso ao ativo	Data de Substituição
Requer Ferramenta Especial?	

Figura 2 - informações para cadastro

Em complemento, a **Imagem 3** apresenta um exemplo da planilha de cadastro em uso, evidenciando a organização das informações técnicas por ativo e a estrutura hierárquica adotada. Essa planilha serve como base para a futura migração dos dados para o sistema de gestão da manutenção (CMMS), consolidando uma base sólida para análises de desempenho, falhas e confiabilidade ao longo da operação.

SISTEMAS DO CIVIL	Sistema	Subsistema	Atividade	Localização Física	Localização Física 2	Localização Física 3	Nome Descritivo	Quantidade	Referência
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-07/EF-10	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 7,5. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 3,0. Tipo de ventilador - Centrifugo.
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-08/EF-10	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 7,5. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 3,0. Tipo de ventilador - Centrifugo.
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-20/EF-11	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 5. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 1,5. Tipo de ventilador - Centrifugo.
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-09	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 7,5. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 3,0. Tipo de ventilador - Centrifugo.
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-20/14/09	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 7,5. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 3,0. Tipo de ventilador - Centrifugo.
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-20/15/10	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 7,5. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 3,0. Tipo de ventilador - Centrifugo.
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-20/22/22	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 7,5. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 3,0. Tipo de ventilador - Centrifugo.
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-20/23/24	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 8. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 3,0. Tipo de ventilador - Centrifugo.
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-06	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 8. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 3,0. Tipo de ventilador - Centrifugo.
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-07	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 5. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 1,5. Tipo de ventilador - Centrifugo.
SISTEMAS	Auxiliares	Ventilação Principal	Estação	Brasão de Armas	1000	EF-08	Preservação de escadas de emergência	2	Disposição: N/A. Vazio por ventilador (m³/s) - 5. Pressão estática (Pa) - 650. Potência estimada por ventilador (kW) - 1,5. Tipo de ventilador - Centrifugo.

Figura 3 - Planilha de cadastro de ativos



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A estruturação da matriz de criticidade vem orientando a focalização dos recursos nos ativos de maior impacto, evitando a dispersão de esforços e buscando otimizar o custo-benefício das estratégias de manutenção.

O monitoramento dos indicadores — MTBF, MTTR, disponibilidade —, embora ainda esteja em fase inicial de desenvolvimento, tem o potencial de gerar relatórios que subsidiem decisões gerenciais e apoiem os ajustes contínuos no plano de manutenção. A análise progressiva desses dados permitirá identificar padrões de falha e direcionar ações corretivas e melhorias de projeto, realimentando o ciclo de gestão de ativos de forma estruturada.

Paralelamente, a aplicação das boas práticas de confiabilidade vem fortalecendo a cultura organizacional. As equipes técnicas estão progressivamente mais engajadas e alinhadas com a cultura, o que favorece o aumento da aderência aos procedimentos padronizados.

Entretanto, ainda persistem desafios a serem enfrentados, como a necessidade de integração entre os sistemas de informação, a qualificação contínua das equipes técnicas e a ampliação da base histórica de dados, elementos essenciais para suportar, no futuro, análises preditivas mais robustas.

Em síntese, a análise dos resultados parciais indica que a implantação da gestão de confiabilidade, quando iniciada ainda na fase de projeto e conduzida de forma estruturada, tende a promover ganhos relevantes na performance técnica, na redução de custos operacionais e na segurança da futura operação comercial. A continuidade e o aprofundamento dessas ações serão determinantes para consolidar esses benefícios no médio e longo prazo.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A consolidação da confiabilidade como requisito desde as etapas iniciais de projeto já começa a apresentar impactos relevantes, mesmo durante a atual fase de transição para o comissionamento dos sistemas. Embora os resultados ainda sejam parciais, é possível identificar avanços consistentes na qualidade das informações técnicas, na padronização de processos, na mitigação de falhas emergenciais e na melhoria da alocação de recursos de manutenção.

4.1 Qualidade e consistência dos dados técnicos

Um dos primeiros efeitos observados foi a melhoria substancial na qualidade dos dados técnicos disponíveis. Com a estruturação do cadastro de ativos em plataforma CMMS e a adoção de codificação padronizada (com base na ISO 14224), é possível garantir uma rastreabilidade completa desde os ativos principais até os componentes substituíveis.

Esse ganho permitiu não apenas uma navegação mais eficiente no sistema de gestão, mas também viabilizou buscas mais precisas de informações de ativos. A confiabilidade dos dados alimenta diretamente os KPIs operacionais, como MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair), disponibilidade e confiabilidade. Como consequência, os diagnósticos técnicos tendem a ser mais ágeis e com menor margem de erro, reduzindo significativamente o tempo de inatividade não planejado.

Além disso, a consolidação das informações em um repositório central (CMMS) facilitou a integração entre engenharia, manutenção e operação, promovendo uma comunicação mais fluida e decisões técnicas mais fundamentadas.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.2 Matriz de criticidade

Como parte das ações de estruturação da gestão de ativos e confiabilidade, será implementada, ainda na fase pré-operacional, a matriz de criticidade, ferramenta essencial para a priorização técnica de recursos de manutenção e planejamento estratégico. A matriz permite classificar os ativos com base em critérios previamente definidos, considerando aspectos técnicos, operacionais, legais e de impacto ao cliente, ambiente e segurança.

O objetivo central é estabelecer um método padronizado de avaliação que permita identificar quais ativos exigem maior atenção, tanto em termos de manutenção preventiva quanto em processos de melhoria contínua. Com isso, será possível tomar decisões mais assertivas, direcionando esforços para os equipamentos que realmente representam maior risco ou impacto para a operação.

Para isso, serão adotadas perguntas estruturadas, cuja resposta permitirá atribuir uma pontuação ao ativo, refletindo seu grau de criticidade. Algumas dessas perguntas serão de caráter binário (Sim/Não), especialmente aquelas relacionadas à segurança e conformidade com normas, para garantir decisões objetivas e alinhadas com requisitos legais.

A seguir, os critérios que serão utilizados, servindo de base para perguntas estratégicas:

- a. Conformidade Legal
- b. Impacto no Contrato de concessão
- c. Impacto na Imagem e no Conforto do Cliente



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- d. Custo de Reparo
- e. Consequência Operacional
- f. Risco à Segurança
- g. Aspectos Ambientais

Próximos Passos

As respostas serão registradas em um formulário de avaliação padronizado. Cada resposta receberá uma pontuação específica, de acordo com seu grau de severidade ou risco, e o somatório final permitirá classificar os ativos nas categorias de alta, média ou baixa criticidade.

A matriz será utilizada como referência para:

- Definir prioridades de manutenção preventiva e preditiva;
- Apoiar a tomada de decisão em situações emergenciais;
- Justificar tecnicamente a priorização de recursos junto às áreas gestoras e órgãos reguladores.

Essa abordagem trará mais transparência, padronização e rastreabilidade às decisões técnicas, promovendo uma gestão de ativos mais eficiente, segura e orientada por critérios objetivos.

4.3 Monitoramento de indicadores e ciclos de melhoria contínua

Com o avanço da digitalização e o início da coleta sistemática de dados operacionais, é possível desenvolver os primeiros dashboards gerenciais de acompanhamento de desempenho.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Indicadores como MTBF, MTTR, disponibilidade, taxa de falhas por subsistema, backlog técnico e percentual de ordens corretivas começaram a ser monitorados em ciclos mensais e trimestrais.

Embora ainda em desenvolvimento, os dashboards já demonstram seu valor na identificação de tendências de falha, no suporte a auditorias técnicas e na revisão dos planos de manutenção. A visibilidade clara sobre a performance dos ativos permite a revisão de intervalos de manutenção, ajustes nos parâmetros operacionais e reforço de treinamentos para equipes de campo.

A maturação dessa etapa tende a consolidar uma cultura de melhoria contínua e aprendizagem organizacional, onde os dados históricos alimentam decisões futuras e reduzem a reincidência de falhas conhecidas.

4.4 Evolução da cultura de confiabilidade

Outro resultado relevante foi o fortalecimento da cultura técnica voltada à confiabilidade. Equipes de engenharia e manutenção demonstraram maior aderência a práticas estabelecidas e maior comprometimento com tarefas de manutenção.

Essa mudança cultural se reflete também na melhoria da comunicação entre os setores, na valorização da análise técnica antes da tomada de decisão e na adoção de critérios objetivos para priorização de ações. A confiabilidade, antes percebida como um objetivo abstrato, passou a ser entendida como um atributo construído de forma ativa e mensurável.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.5 Desafios persistentes e oportunidades de melhoria

Apesar dos avanços, ainda existem pontos que requerem atenção. A qualificação técnica das equipes também precisa ser contínua, para garantir que as boas práticas de confiabilidade sejam compreendidas e aplicadas por todos os níveis operacionais.

Outro desafio é a ampliação da base de dados históricos, essencial para análises estatísticas robustas e para a transição de um modelo predominantemente reativo para um modelo preditivo. Isso requer investimentos em sensores, automação e integração digital.

Por fim, a análise de falhas sistemática ainda precisa ser incorporada como rotina, com equipes dedicadas à sua execução e com suporte gerencial para implementar as melhorias apontadas.

5. CONCLUSÕES

A evolução das práticas de engenharia e gestão de ativos no setor metroferroviário demonstrou, ao longo deste estudo, que a confiabilidade deixou de ser uma consequência da boa operação para se tornar um requisito de projeto fundamental. Os dados apresentados



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

evidenciam que a antecipação de ações técnicas, estruturais e organizacionais desde a fase de concepção de empreendimentos tem impacto direto na performance, na previsibilidade e na sustentabilidade dos ativos ao longo de todo o seu ciclo de vida.

A abordagem estruturada defendida neste artigo — baseada na criação de uma hierarquia técnica de ativos, no uso de ferramentas como matriz de criticidade, CMMS, FMEA e no monitoramento de indicadores — demonstrou ser tecnicamente viável e operacionalmente eficaz. O desenvolvimento e aplicação dessas ferramentas, ainda durante as fases iniciais dos projetos, contribuiu não apenas para a redução de falhas emergenciais e aumento da disponibilidade, mas também para o fortalecimento de uma cultura organizacional orientada à prevenção, análise técnica e tomada de decisão baseada em dados.

Os resultados obtidos, mesmo que preliminares, já indicam melhorias significativas nos processos de manutenção, na qualidade do cadastro técnico, no foco da gestão e na alocação dos recursos operacionais. A confiabilidade, quando incorporada ao DNA do projeto, proporciona valor sustentável à operação, reduzindo custos não planejados, aumentando a segurança dos usuários e elevando a maturidade técnica da organização.

Entretanto, os desafios persistem. A integração completa entre os sistemas de informação, a ampliação da base de dados históricos, a continuidade da capacitação das equipes e a internalização das metodologias de confiabilidade como parte da rotina são pontos que requerem atenção contínua. A confiabilidade não é um estado fixo, mas sim um processo evolutivo que exige disciplina técnica, investimento estratégico e compromisso institucional.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Este artigo, ao reunir fundamentos normativos, exemplos práticos e metodologias aplicadas, busca contribuir com diretrizes claras para que operadores, projetistas, engenheiros e gestores do setor metroferroviário adotem uma postura proativa e estratégica frente à confiabilidade dos ativos. Trata-se de uma mudança de paradigma: não mais tratar falhas, mas evitá-las desde a origem.

Dessa forma, conclui-se que confiabilidade é projetável, mensurável e gerenciável — e sua integração plena ao ciclo de vida dos ativos representa uma condição indispensável para garantir a excelência técnica, a eficiência operacional e a sustentabilidade dos empreendimentos metroferroviários no cenário atual e futuro.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, A. L. **Diagnóstico Técnico e Manutenção Industrial**. São Paulo: Editora Manutenção, 2020.

MACHADO, R. S. et al. **Metodologias para Diagnóstico de Falhas em Sistemas Mecânicos**. Revista Brasileira de Engenharia, v. 15, n. 3, p. 45-58, 2021.

NBR ISO 55000. **Gestão de Ativos — Visão Geral, Princípios e Terminologia**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

PEREIRA, M. C. **Análise e Diagnóstico em Engenharia de Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Técnica, 2019.

SILVA, J. F.; ALMEIDA, T. R. **Ferramentas de Diagnóstico para Melhoria da Confiabilidade**. Engenharia e Tecnologia, v. 22, n. 2, p. 102-115, 2022.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade** (Reliability-Centered Maintenance – RCM). Trad. Kleber Siqueira. São Paulo: Aladon, 2000.

CARDOSO, E. G.; RIGOLON, F.; SCARPELIN, M. A.; YUGULIS, V. M. **Administração da manutenção industrial** - Técnicas Aplicadas, São Paulo : SENAI, 2018.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**, Rio de Janeiro, 1994.

CAMARGO, M. **Manutenção: Conceitos e Objetivos**. Engenharia & CIA, 2019.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ISO 14224: Indústrias de petróleo, petroquímica e gás natural – Coleta e intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção de equipamentos.