



OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS LEVES DE VIA NA EFC

Pedro Thyago Ataíde Rodrigues¹; Prof. Dr. Luiz Antônio Silveira Lopes²; Joselma Ramos Silva¹

¹Vale — Brasil

²Instituto Militar de Engenharia — Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo melhorado de manutenção para os equipamentos das Gangs de Via Permanente da Estrada de Ferro Carajás, com foco na Tie and Rail Gang e Rail Gang. O objetivo foi aumentar a disponibilidade dos ativos e reduzir o backlog, utilizando ferramentas de diagnóstico, análise de confiabilidade e estratégias de gestão. A metodologia incluiu o Diagrama de Ishikawa (6M) para identificação das causas predominantes, o Diagrama de Jack Knife para priorização de ativos críticos e a análise de confiabilidade (Life Data Analysis) para definição dos intervalos preventivos. Também foi realizada uma análise detalhada de custos, estabelecendo um parâmetro técnico e econômico de UnM 26.094 (Unidades Monetárias) como referência para decisões futuras de contratação de serviços. Os resultados demonstraram melhorias expressivas: a disponibilidade da Tie Gang evoluiu de 81,56% para 99,50%, enquanto a Rail Gang passou de 74,66% para 97,58%; o indicador de falhas reduziu de 9 para 2–4 ocorrências mensais. Além disso, houve redução do backlog, padronização das rotinas e maior previsibilidade operacional.

Palavras-chave: Manutenção ferroviária; Gangs de Via Permanente; Tie and Rail Gang; Operador-mantenedor; Confiabilidade; Jack Knife; Manutenção autônoma; Diagrama de Ishikawa; Gestão de ativos.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção de equipamentos ferroviários é essencial para garantir confiabilidade, disponibilidade e segurança operacional. Nas Gangs de Via Permanente da Estrada de Ferro Carajás (EFC), especialmente na Tie and Rail Gang, responsável pela mecanização da manutenção da via, observa-se um alto número de backlog e do número de falhas nos ativos. Como mostra a seguir na Figura 1:



Figura 1: Número de Falhas e Backlog - Fonte: SAP, BI Confiabilidade de Máquinas de Via 2025.

Esse cenário compromete a eficiência das operações e evidencia a necessidade de um modelo estruturado que assegure resultados consistentes no curto, médio e longo prazo. Além disso, destaca-se a relevância dos **equipamentos leves**, fundamentais para execução de tarefas simples e localizadas, que complementam as atividades mecanizadas e contribuem para maior agilidade e flexibilidade na manutenção da via permanente.

A literatura técnica apresenta diferentes abordagens para otimização da manutenção. Ribeiro (2011) e Kardec (2012) destacam a manutenção autônoma como pilar do *Total Productive Maintenance* (TPM), consiste em transferir atividades básicas de manutenção para os operadores, como limpeza, inspeção e ajustes simples, promovendo engajamento e prevenção de falhas. Segundo Ribeiro (2011) e Kardec (2012), essa prática aumenta a confiabilidade dos ativos e cria uma cultura de cuidado contínuo. Honesko (2025) introduz o conceito de operador-mantenedor, que integra operação e manutenção, garantindo maior confiabilidade dos ativos.

Ishikawa (1986) propõe o diagrama 6M como ferramenta para análise das causas predominantes de ineficiência, enquanto Kardec e Nascif (2009) sugerem o diagrama Jack Knife para priorização de ativos críticos e definição de ações corretivas. Grangeiro (2021) descreve a mecanização da Tie Gang na EFC, evidenciando ganhos operacionais com padronização e uso de equipamentos específicos. Complementarmente, Corrêa e Dias (2016) apresentam a Análise de Dados de Falhas (LDA) como método para prever falhas e definir planos preventivos.

Com base na revisão apresentada, o objetivo do estudo é demonstrar que a integração de ferramentas de análise, métodos de confiabilidade e estratégias de gestão pode reduzir o backlog, aumentar a disponibilidade dos ativos e melhorar a previsibilidade dos processos. Para isso, adotou-se uma abordagem estruturada que combina diagnóstico das causas, priorização de ativos críticos e definição de planos preventivos, apoiada por práticas de padronização e indicadores de desempenho, garantindo maior eficiência operacional e sustentabilidade, sem negligenciar a importância dos equipamentos leves para intervenções rápidas e localizadas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Metodologia

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de propor um modelo otimizado de manutenção para os equipamentos das Gangs de Via Permanente da Estrada de Ferro Carajás (EFC), com foco na Tie and Rail Gang e Rail Gang. A metodologia adotada integrou ferramentas de análise, métodos de confiabilidade e estratégias de gestão, organizadas em etapas sequenciais para garantir clareza e reprodutibilidade.

Inicialmente, realizou-se um **diagnóstico do processo atual de manutenção** por meio do Diagrama de Ishikawa (6M), considerando as seis dimensões clássicas: Método, Mão de obra, Máquina, Material, Meio ambiente e Medida. Essa análise permitiu identificar os principais fatores que impactam indicadores críticos, como taxa de falhas e backlog, fornecendo uma visão sistêmica dos gargalos existentes.

Na sequência, os ativos foram classificados conforme os comboios operacionais. A Tie Gang (Figura 2) é composta por manipuladoras de fixação, retroescavadeiras, trocadoras de dormentes, guindastes e escarificadoras de lastro. Já a Rail Gang (Figura 3) inclui escarificadoras, soldadoras de trilho tipo *Flash Butt*, guindastes, manipuladoras de fixação e cortadoras de trilho. Cada equipamento foi avaliado quanto à função, criticidade e frequência de falhas, sendo representado em diagramas funcionais para facilitar a compreensão da composição dos comboios.

Para **priorização das ações corretivas e preventivas**, aplicou-se o Diagrama de Jack Knife, que simula a retirada de cada equipamento do sistema e avalia a variação nos indicadores de backlog e disponibilidade. Essa abordagem permitiu identificar os ativos

com maior impacto na operação, direcionando recursos para os pontos mais críticos e garantindo maior eficiência na alocação de esforços.

Posteriormente, foi realizada uma análise de custos de manutenção, com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e econômica de manter a manutenção internamente ou terceirizá-la. Foram considerados aspectos como custo total de propriedade, disponibilidade de mão de obra qualificada, tempo de resposta, impacto na operação e riscos associados. Para isso, levantaram-se dados detalhados sobre mão de obra, peças, ferramentas, tempo de máquina parada e suporte técnico.

Por fim, com base no conceito de **manutenção autônoma** descrito por Ribeiro (2011) e Kardec (2012), foi proposta a redefinição do papel do operador-mantenedor. Essa reestruturação incluiu a separação clara entre as funções de operação e manutenção, elaboração de listas de tarefas específicas, planos de inspeção e estratégias de capacitação técnica. O objetivo foi aumentar o engajamento dos operadores, reduzir falhas por uso inadequado e melhorar a eficiência dos processos, garantindo maior previsibilidade e redução de riscos.

Essa metodologia, ao integrar diagnóstico, priorização, análise econômica e reestruturação funcional, assegura uma abordagem completa e replicável para otimização da manutenção ferroviária.

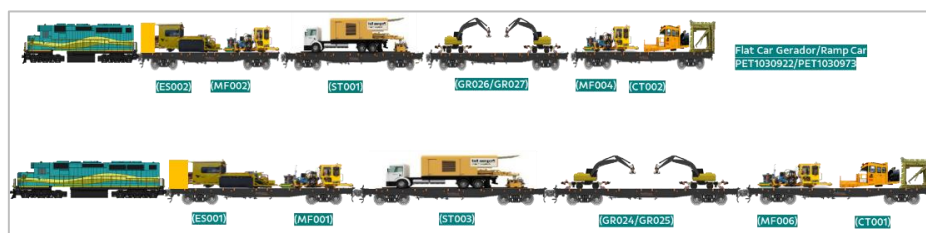


Figura 2: Ativos Rail Gangs - Fonte: Planejamento Vale 2025.



Figura 3: Ativos Tie Gangs - Fonte: Planejamento Vale 2025.

2.2. Diagnóstico e Priorização

Como parte da abordagem metodológica para definição de prioridades nos planos de ação contingencial, aplicou-se o Diagrama de Jack Knife (Figura 4 e Tabela 1), conforme descrito por Kardec e Nascif (2009), como ferramenta de análise de impacto operacional. Esse método avalia a influência individual de cada ativo sobre os indicadores de desempenho, com base em dados históricos extraídos do sistema SAP referentes ao período de operação das Gangs. Foram considerados dois critérios principais: (i) a frequência de manutenções corretivas emergenciais e (ii) o MTTR (Mean Time to Repair), que representa o tempo médio necessário para restaurar o equipamento após uma falha. A inclusão do MTTR permite mensurar não apenas a ocorrência das falhas, mas também seu impacto na disponibilidade operacional, tornando a priorização mais precisa e orientada para ativos que geram maior indisponibilidade.



A análise foi realizada verificando o impacto do equipamento no sistema e observando a variação nos indicadores, permitindo identificar os ativos com maior peso negativo na operação. Os resultados foram organizados em uma tabela, destacando os ativos ST001 e MF003 como críticos, além de um grupo de ativos com ID entre 3 e 10 classificados como problemas crônicos. Essa etapa foi essencial para direcionar o foco do novo modelo de manutenção proposto, garantindo que os ativos mais críticos recebessem atenção imediata e contribuindo diretamente para a otimização dos indicadores operacionais das Gangs de Via Permanente.

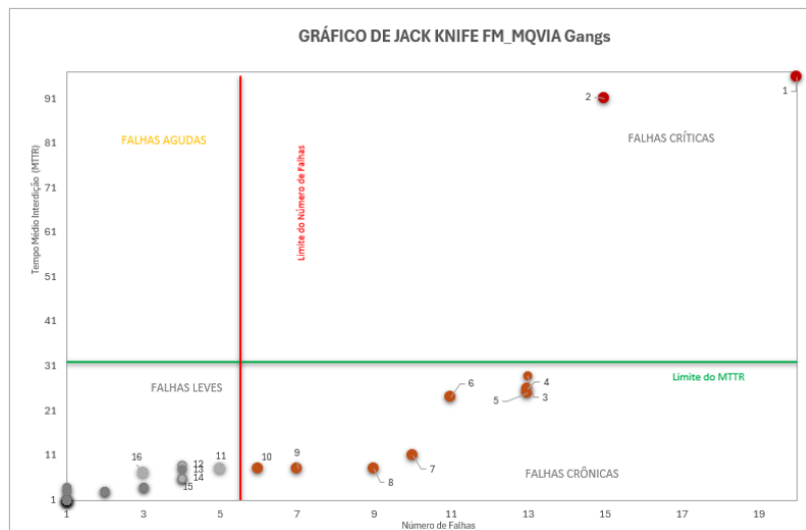


Figura 4: Diagrama de Jack Knife - Fonte: SAP, O Autor, 2025.

Abaixo a distribuição da tabela com os valores encontrados no Diagrama Jack Knife. Onde os ativos ST001, MF003 aparecem como críticos. Os ativos com ID de 3 até 10, considerados problemas crônicos.

Tabela 1: Ativos do Diagrama de Jack Knife - Fonte: SAP, O Autor, 2025

ID	Ativo	Corretivas	Tempo	MTTR	Limite MTTR	Limite Falhas
1	ST001	20	1918,3	96	32	6
2	MMFIX-MF003	15	1359,2	91	32	6
3	MMFIX-MF006	13	374,2	29	32	6
4	MMFIX-MF005	13	333,5	26	32	6
5	GR028	11	314,7	25	32	6
6	GR029	11	253,5	24	32	6
7	GR025	10	106,5	11	32	6
8	MMFIX-MF004	9	66,2	8	32	6
9	GR026	7	51,5	8	32	6
10	ES002	6	43,7	8	32	6



11	MMFIX-MF001	5	35,3	8	32	6
12	TRILHO-CT001	4	32,3	9	32	6
13	MF003	4	32	8	32	6
14	DORMT-TD001	4	23	6	32	6
15	DORMT-TD003	4	20,6	6	32	6
16	LASTR-EL001	3	18,3	7	32	6
17	ST003	3	9,3	4	32	6
18	MF005	3	9,2	4	32	6
19	GR027	2	6,5	3	32	6
20	ES001	2	5	3	32	6
21	CT001	2	3,3	3	32	6
22	TD001	1	3	1	32	6
23	MMFIX-MF002	1	1	1	32	6
24	EL001	1	0,8	1	32	6
25	MF001	1	0,8	1	32	6
26	GR024	1	0,7	1	32	6
27	LASTR-EL002	1	0,7	1	32	6
28	TD003	1	0,4	1	32	6
29	MF002	1	0,2	1	32	6
Total	29	160	5025,02			

Após a priorização dos ativos pelo Diagrama de Jack Knife, aplicou-se o método 6M para identificar as causas predominantes que impactam a eficiência da manutenção. A análise mostrou que **42,4%** das causas estão relacionadas ao Método, evidenciando falhas no modelo atual, que atua por ativo individual. Essa abordagem se revelou pouco eficiente para a realidade das Gangs, sendo recomendada a migração para manutenção por comboio, visando maior integração e produtividade. Também foi constatado que o projeto original das Gangs não contemplou adequadamente aspectos de manutenção,



reforçando a necessidade de ajustes no planejamento. A Figura 5 apresenta a distribuição das causas levantadas.

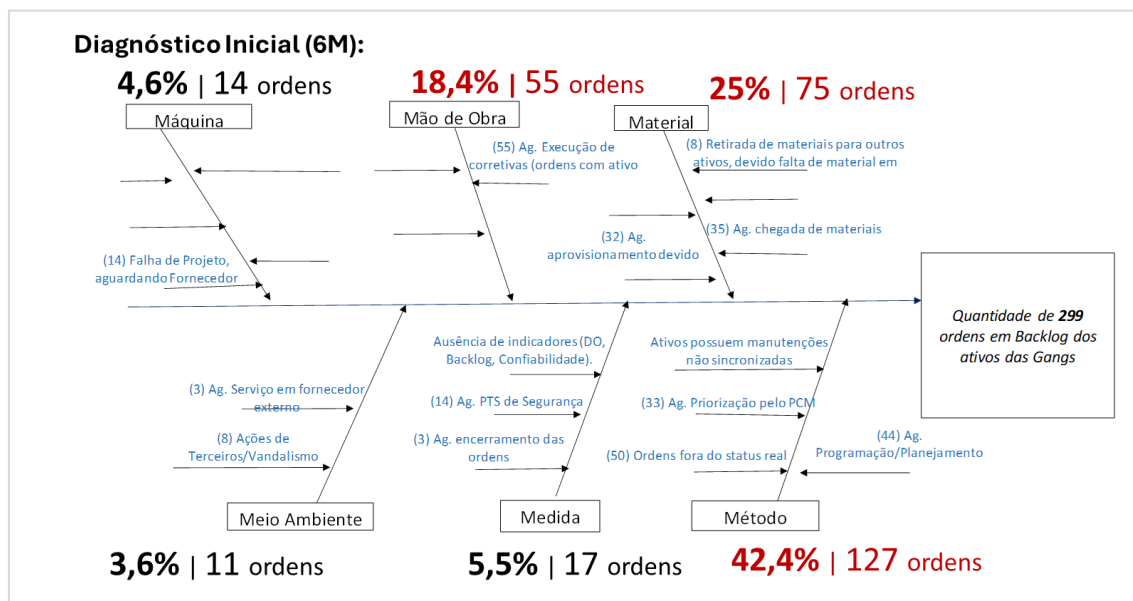


Figura 5: Análise 6M do Processo - Fonte: O Autor, 2025.

2.3. Análise de Confiabilidade

Para definição dos intervalos de manutenção e estruturação dos planos de manutenção dos equipamentos, foi considerada a aplicação de métodos de confiabilidade, com destaque para a Análise de Dados de Vida (LDA – Life Data Analysis). Essa técnica permite estimar a probabilidade de falha ao longo do tempo, com base em dados históricos de operação, possibilitando a definição de ciclos de manutenção preventiva mais precisos e alinhados à realidade dos ativos.

Para os ativos das Gangs, foi realizado um estudo de vida (Life Data Analysis – LDA) com base em dados históricos de falhas corretivas, incluindo substituições de componentes. O objetivo do estudo é estabelecer intervalos adequados para manutenções preventivas e inspeções, utilizando métodos estatísticos para embasar a tomada de decisão. As premissas adotadas foram:

- Base Escolhida: Base Original;
- Opções de Análise: Individual – Todos os Níveis;
- Início da Análise: Considerar data inicial;
- Unidade de Tempo: Dia;
- Manutenção Preventiva: Tratar preventiva como suspensão;
- Estimativa de Parâmetros: Máxima Verossimilhança (MLE);
- Limites de Confiância: Bilateral;
- Método: Matriz de Fisher;
- Nível de Confiância: 90%.

A análise de ajuste indicou que a distribuição mais adequada para os dados é Weibull 2 Parâmetros, com os seguintes valores (Tabela 2):



Tabela 2: Premissas e dados LDA. - Fonte: Software Compass Orion, O Autor, 2025

VARIÁVEIS	VARIÁVEIS	DADOS
A	Distribuição	Weibull 2P
B	β (Shape)	0,9944262
C	η (Scale)	79,45955615
D	γ (Location)	0
E	Nível de Confiança	90%
F	Método de Estimativa	Máxima Verossimilhança (MLE)
G	Limites de Confiança	Bilateral

A Figura 6 mostra a redução da confiabilidade dos ativos ao longo do tempo. Observa-se uma curva decrescente acentuada nos primeiros dias, indicando alta probabilidade de falha inicial. À medida que o tempo avança, a curva se estabiliza, mas a confiabilidade continua diminuindo.

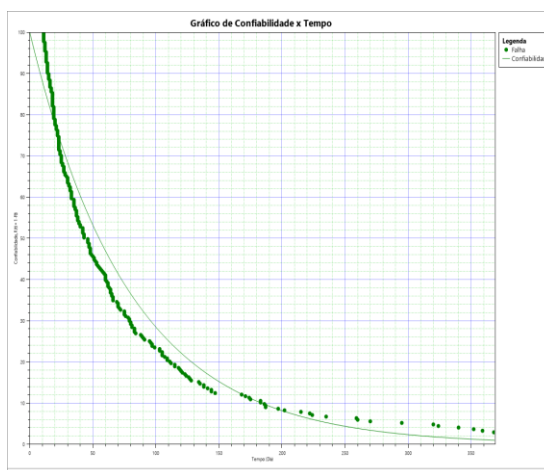


Figura 6: Gráfico de Confiabilidade R(t) - Fonte: Software Compass Orion, O Autor 2025.

A Figura 7 apresenta os dados ajustados à distribuição Weibull de 2 parâmetros. A linha reta indica o ajuste teórico, enquanto os pontos representam as falhas observadas. A boa aderência dos pontos à linha confirma que a distribuição Weibull é adequada para modelar os dados.

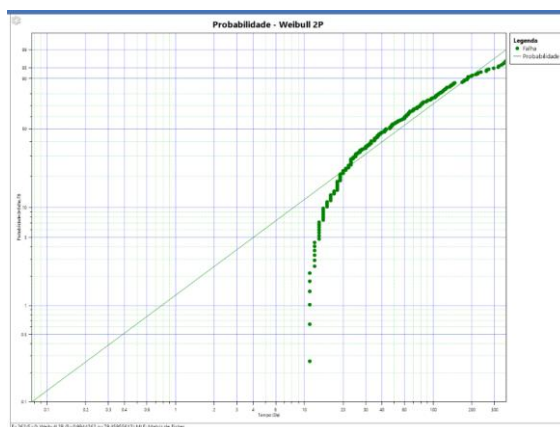


Figura 7: Gráfico de Probabilidade de Falha - Fonte: Software Compass Orion, O Autor, 2025.

A seguir Figura 8, representa a curva da PDF mostra que a maior densidade de falhas ocorre no início do período analisado, diminuindo gradualmente com o tempo.

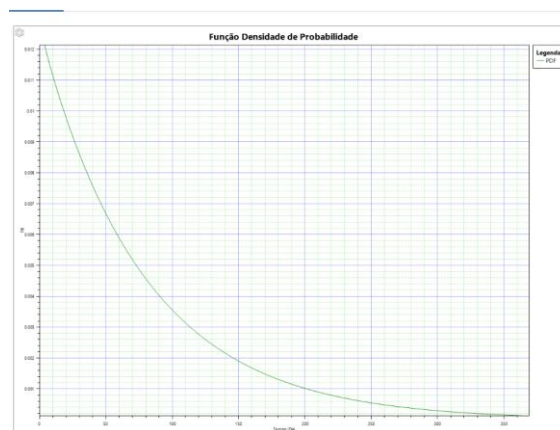


Figura 8: Gráfico Densidade e Probabilidade (PDF) - Fonte: Software Compass Orion, O Autor 2025.

A Figura 9, indica que a taxa de falha é maior no início e vai diminuindo ao longo do tempo, caracterizando um comportamento típico de infant mortality (mortalidade infantil da curva da banheira). Isso significa que os ativos tendem a apresentar problemas logo após a instalação ou início de operação, estabilizando posteriormente.

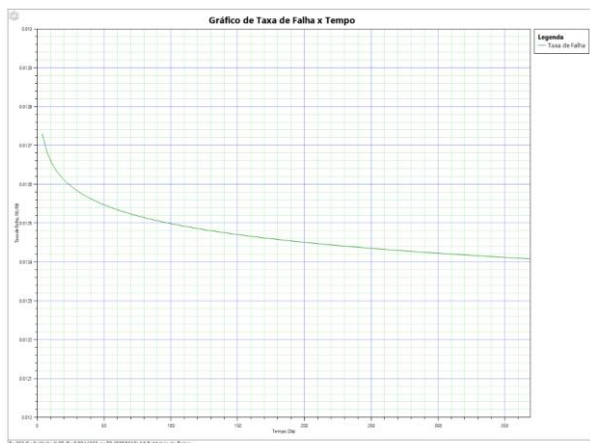


Figura 9: Gráfico taxa de falhas - Fonte: Software Compass Orion, O Autor 2025.

2.4. Escopo de Manutenção

Para garantir padronização e clareza nas atividades de manutenção, foi elaborado um escopo detalhado para cada equipamento (Figura 10 e 11), contemplando as tarefas preventivas e corretivas necessárias. Esse escopo foi amplamente divulgado à equipe de operadores mantenedores, assegurando entendimento e alinhamento quanto às responsabilidades. Posteriormente, as informações foram sistematizadas no Acordo de Nível de Serviço (ANS), estabelecendo parâmetros claros para execução e monitoramento das rotinas. Além disso, as tarefas definidas servirão como base para ajustes nos centros de trabalho dos planos preventivos, permitindo maior aderência às necessidades operacionais e otimização dos recursos disponíveis.

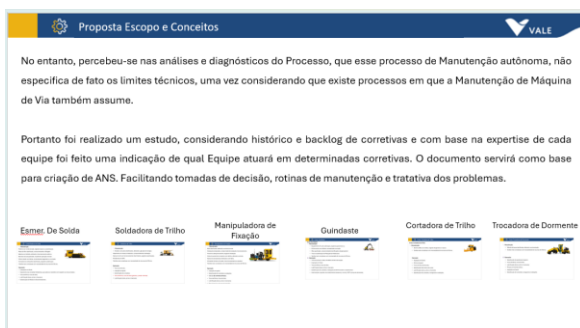


Figura 10: Escopo de Manutenção para os equipamentos - Fonte: O Autor, 2025.

VALE ENGENHARIA DE FERROVIA			
Nota YE: 202501548972			
Documento Técnico			
Elaboradores:		Matrícula:	
Pedro Ataíde Rodrigues		01550957	
Marcos Adriano Carvalho		01084676	
Solicitante:	Área:	Ferrovia:	
Hyndra Lima	Máquinas de Via	EFC	
Finalidade do Arquivo	Segmento:	Área:	
Técnico	Máquinas de Via	Máquinas de Via	
Documento Técnico			
Definição do Escopo Operador Mantenedor e Função da Manutenção no Processo da Tle e Rail Gangs			
São Luís, 05 de outubro de 2025			
EMISSÕES / REVISÕES			
TE: Tle	A - Primeiro	C - Para Comentário	E - Para controle
PM: PM	B - Para aprovação	D - Para Criação	F - Conforme contrato
Rev:	TE	Descrição	Responsável
0	C	Emissão inicial	Pedro Ataíde
			05/10/2025

Figura 21: Documento Técnico Manutenção das Gangs - Fonte: O Autor, 2025.



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do diagnóstico realizado, foram implementadas ações de melhoria que impactaram diretamente os indicadores operacionais das Gangs de Via Permanente. Entre as principais medidas destacam-se:

- Priorização do backlog dos ativos por meio do Diagrama de Jack Knife (Figura 4 e Tabela 1);
- Avaliação da frequência dos planos preventivos, com base em dados de confiabilidade (Tabela 3);
- Definição do modelo de manutenção sincronizada, permitindo que, durante uma parada do comboio, todos os ativos recebam manutenção, otimizando tempo e recursos.

3.1. Frequência dos Planos Preventivos

A análise de confiabilidade indicou que até aproximadamente 18 dias a probabilidade de não ocorrer falhas corretivas é de 80%, reduzindo para cerca de 70% em 30 dias (Tabela 3).

Tabela 3: Confiabilidade no tempo - Fonte: Software Compass Orion, O Autor, 2025.

Confiabilidade	Tempo LI	Tempo	Tempo LS
99,9	0,04	0,08	0,13
99	0,53	0,78	1,14
95	3,05	4,01	5,26
90	6,6	8,27	10,35
80	14,71	17,58	21,01
70	24,22	28,18	32,79
50	48,73	54,96	61,99
5	214,38	239,51	267,58
25	99,55	110,36	122,33
15	136,53	151,29	167,64
10	165,51	183,82	204,15
1	325,3	369,07	418,73

Com base nesses dados, definiu-se a frequência ideal dos planos preventivos (Tabela 4), considerando calendário fixo para otimizar previsibilidade e planejamento das paradas.



Tabela 4: Frequência de Manutenção - Fonte: O Autor, 2025.

Preventiva	Preditiva
3 meses	Coleta de fluidos, vibração + termografia
6 meses	Coleta de fluidos, vibração + termografia
12 meses	Coleta de fluidos, vibração + termografia
24 meses	Coleta de fluidos, vibração + termografia

3.2. Análise de eficácia

O trabalho foi iniciado em maio de 2025, a seguir alguns resultados dos principais indicadores de Qualidade (Disponibilidade Operacional, Falhas, Backlog). Na Figura 12 é possível verificar a evolução da Disponibilidade Operacional desses equipamentos:

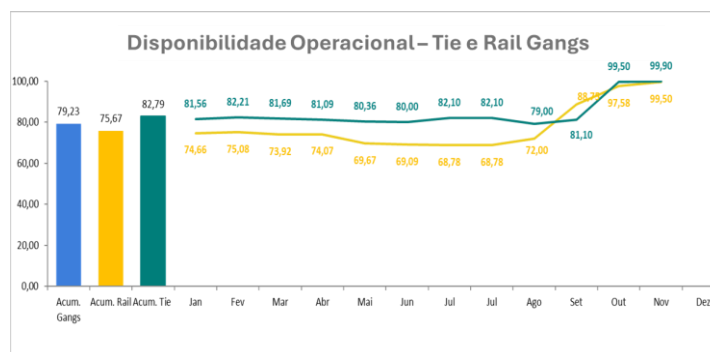


Figura 3: Indicador de Disponibilidade Operacional Tie e Rail Gangs - Fonte: Planejamento Vale, 2025.

Os resultados mostram melhorias significativas na disponibilidade dos ativos após a implementação das ações (principalmente tratativa do backlog). Conforme a Figura 12, a Tie Gang evoluiu de 81,56% em janeiro para 99,50% em outubro, representando um aumento de 22,0%. A Rail Gang apresentou crescimento ainda maior, passando de 74,66% para 97,58%, um incremento de 30,7%. Esses dados refletem maior confiabilidade e redução da indisponibilidade operacional. A seguir a Figura 13, mostra a evolução do indicador de Backlog:

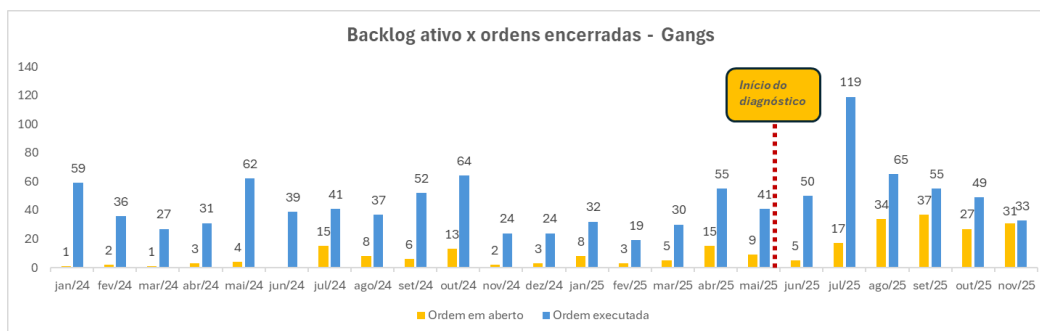


Figura 4: Evolução Indicador Backlog - Fonte: SAP, 2025.

O diagnóstico iniciado em maio/2025 mostrou que o backlog era um dos principais ofensores da disponibilidade. Em maio havia 5 ordens abertas e 41 executadas; após o diagnóstico, a execução aumentou para 119 ordens em julho, ou seja, **2,9 vezes mais** que em maio, enquanto o backlog subiu para 17 ordens, refletindo maior visibilidade das pendências. Com o Diagrama de Jack Knife, foi possível priorizar ativos críticos, direcionando recursos para reduzir o backlog e melhorar a disponibilidade operacional.

Por fim na Figura 14 uma das métricas utilizadas é o indicador de falhas que engloba a Tie e Rail Gangs.

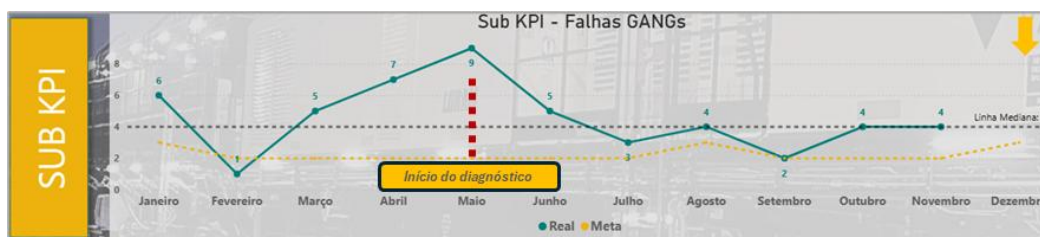


Figura 5: Indicador de Falhas Tie e Rail Gangs - Fonte: Confiabilidade Máquinas de Via, 2025.

A partir de maio, quando ocorreu o início do diagnóstico, o indicador apresentou uma melhora significativa: após atingir o pico de 9 falhas em maio, os valores **caíram para 5** em junho e se mantiveram mais estáveis nos meses seguintes, variando entre 2 e 4 falhas, bem próximo da linha mediana e muito abaixo do comportamento anterior. Isso indica que a ação de diagnóstico contribuiu para reduzir a variabilidade e aproximar o desempenho da meta.

3.3. Análise de custos (Primarização x Terceirização)

A Figura 15 apresenta os custos atuais relacionados aos equipamentos das Gangs, incluindo mão de obra, manutenção preventiva e corretiva, componentes e reformas, totalizando UnM 26.094 (Unidades Monetárias). Até o momento, não foram recebidas propostas de fornecedores para terceirização. Como parâmetro técnico, considera-se que qualquer proposta futura deve manter competitividade frente ao valor vigente, garantindo aderência aos padrões internos de eficiência.

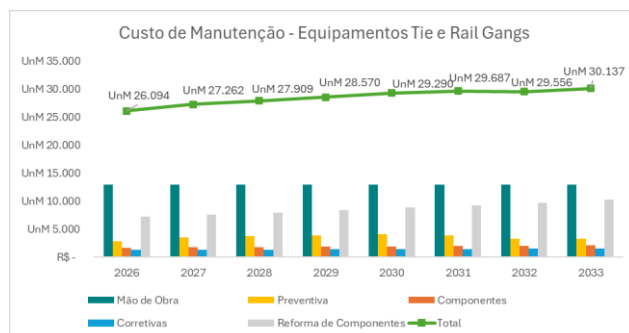


Figura 65: Levantamento de custos em Unidades Monetárias (UnM) do Processo Tie e Rail Gangs - Fonte: Alencar, Fernando, O Autor, 2025.

4. CONCLUSÃO

O estudo confirmou a hipótese inicial de que a integração de ferramentas de análise, métodos de confiabilidade e estratégias de gestão é eficaz para otimizar a manutenção dos equipamentos das Gangs de Via Permanente da Estrada de Ferro Carajás. As ações implementadas — priorização de ativos críticos, diagnóstico das causas e definição de planos preventivos e contingenciais — resultaram em melhorias significativas nos indicadores operacionais.

Os dados comprovam essas conclusões: houve aumento expressivo da disponibilidade dos ativos, redução do backlog e maior previsibilidade nos processos. A padronização das rotinas e aplicação de indicadores específicos consolidaram um modelo mais eficiente, enquanto a reorganização das funções contribuiu para reduzir riscos e falhas por uso inadequado.

Esses resultados demonstram a importância do planejamento integrado e da gestão estruturada para operações ferroviárias, oferecendo um modelo aplicável e sustentável que pode servir de referência para outras operações com desafios semelhantes.

5. AGRADECIMENTOS

Ao time da Engenharia EFC, Via Permanente, Manutenção de Máquinas de Via, Confiabilidade de Máquinas de Via e Planejamento, tanto de Via Permanente quanto de Máquinas de Via, pelo suporte técnico e colaboração contínua;

Aos coordenadores e orientadores do IME, pela contribuição expressiva com conhecimento e orientação ao longo do desenvolvimento do estudo;

Aos líderes da EFC, pelo incentivo e apoio à realização do curso e deste trabalho. Especialmente Vladimir Crisóstomo, Victor Mota, Rafael Pinho;

Aos orientadores Silveira Lopes e Joselma Silva deste trabalho, pelo direcionamento e acompanhamento durante todas as etapas;

Ao RH da Vale, pelo suporte integral durante o processo para realização do curso.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resumos:** NB-88. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.



- BLANK, L.; TARQUIN, A. *Engenharia econômica*. 6. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2012.
- HONESKO, R. *Operador mantenedor: fundamentos e práticas*. São Paulo: Técnica Ferroviária, 2025.
- ISHIKAWA, K. *Guide to quality control*. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1986.
- KARDEC, A. *Gestão da manutenção: função estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.
- RIBEIRO, H. *A Bíblia do TPM: guia completo para implantação do TPM*. São Paulo: Falconi, 2011.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- GRANGEIRO, Jediel Pinheiro. *Um modelo eficiente para troca de dormentes: o modelo Tie Gang*. Instituto Militar de Engenharia – IME, Laboratório de Ensino e Pesquisa em Engenharia Ferroviária, 2021.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção centrada na confiabilidade: da estratégia à operação*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- GIOSA, L. *Terceirização: uma abordagem estratégica*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1994.
- CORRÊA, Rodrigo Fernandes; DIAS, Acires. Modelagem matemática para otimização de periodicidade nos planos de manutenção preventiva. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 23, n. 2, p. 267–278, abr. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/z7FmmnVqCSRvztj3Gthk75p/?format=pdf>. Acesso em: 01 out. 2025.



OPTIMIZATION OF MAINTENANCE FOR LIGHT TRACK EQUIPMENT ON THE CARAJÁS RAILWAY (EFC)

ABSTRACT

This study presents an optimized maintenance model for the equipment of the Permanent Way Gangs of the Carajás Railway, focusing on the Tie and Rail Gang and Rail Gang. The objective was to increase asset availability and reduce backlog by applying diagnostic tools, reliability analysis, and management strategies. The methodology included the Ishikawa Diagram (6M) to identify predominant causes, the Jack Knife Diagram to prioritize critical assets, and Life Data Analysis to define preventive intervals. A detailed cost analysis was also carried out, establishing a technical and economic benchmark of UnM 26,094 as a reference for future outsourcing decisions. The results showed significant improvements: Tie Gang availability increased from 81.56% to 99.50%, while Rail Gang availability rose from 74.66% to 97.58%; the failure indicator dropped from 9 to 2–4 monthly occurrences. Additionally, backlog reduction, standardized routines, and greater operational predictability were achieved. It is concluded that integrating analytical tools and reliability methods, combined with standardized and synchronized maintenance plans, is effective in optimizing railway asset management, promoting greater efficiency, sustainability, and operational reliability.

Keywords: *Railway Maintenance; Permanent Way Gangs; Tie and Rail Gang; Operator-Maintainer; Reliability; Jack Knife; Autonomous Maintenance; Ishikawa Diagram; Asset Management.*