



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



Lara Rodrigues Moraes

Gestão de custos da manutenção ferroviária em ambiente
siderúrgico: um estudo de caso

Ouro Preto

2026

Lara Rodrigues Moraes

Gestão de custos da manutenção ferroviária em ambiente
siderúrgico: um estudo de caso

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao
Curso de Graduação em Engenharia de Produção
da Universidade Federal de Ouro Preto como
requisito parcial para a obtenção do título de
Engenheira de Produção.

Orientadora: Dra. Bruna de F. P. Guedes Flausino

Ouro Preto

2026



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lara Rodrigues Moraes

Gestão de custos da manutenção ferroviária em ambiente siderúrgico: um estudo de caso

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 02 de julho de 2026

Membros da banca

[DSc.] - Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
[DSc.] - Magno Silvério Campos - (Universidade Federal de Ouro Preto)
[DSc.] - Cristiano Luís Turbino de Franca e Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 02/07/2026.



Documento assinado eletronicamente por **Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/07/2026, às 18:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Luís Turbino de Franca e Silva**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/07/2026, às 16:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Magno Silverio Campos**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/07/2026, às 09:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1134121** e o código CRC **D4A79134**.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, Carlos, deixo minha mais profunda gratidão por todo o apoio, cuidado e esforço ao longo da minha trajetória. Sua presença, seu incentivo e tudo o que fez por mim foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. À Ana e Adriana, agradeço pelo carinho, pela presença e pelo apoio em tantos momentos importantes da minha vida, sempre contribuindo com generosidade e afeto para a minha formação pessoal e acadêmica. Aos meus irmãos, Lana, Fernando e Isabella, agradeço por fazerem parte da minha vida e da minha história, cada um à sua maneira, tornando os dias difíceis mais leves e os momentos bons ainda melhores. À minha avó Lia, in memoriam, dedico este trabalho com amor e saudade. Sua memória permanece viva em mim, e sua presença, ainda que agora de outra forma, segue me acalmando e inspirando em cada conquista. Aos meus avós, Isabel e Vândir, agradeço com muito amor por toda a base e afeto que, de diferentes formas, contribuíram para minha formação.

À minha orientadora, Profa. Bruna Flausino, agradeço pela orientação, pela disponibilidade, pela paciência e por toda a contribuição ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua condução foi essencial para a construção deste TCC, não apenas pelo direcionamento acadêmico, mas também pela atenção e seriedade com que acompanhou cada etapa deste processo.

À Universidade Federal de Ouro Preto, à Escola de Minas e a todos os professores e servidores que fizeram parte da minha formação, deixo meu sincero agradecimento pelo ensino público, gratuito e de qualidade, e por todas as oportunidades de aprendizado e crescimento ao longo da graduação. Foi nesse ambiente que construí não apenas minha formação profissional, mas também parte importante da pessoa que me tornei.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta etapa fosse concluída. Cada apoio, palavra de incentivo e gesto de cuidado teve importância ao longo desse percurso e permanecerá marcado em minha trajetória.

RESUMO

Este trabalho analisa o processo de gestão de custos da manutenção ferroviária em ambiente siderúrgico, com foco na melhoria do controle de materiais, serviços e sobressalentes. O estudo parte da compreensão de que, em sistemas ferroviários internos, a manutenção exerce papel estratégico para a continuidade operacional, exigindo controle econômico alinhado à disponibilidade e à confiabilidade dos ativos. Como objetivo geral, buscou-se analisar a gestão de custos da manutenção ferroviária em uma empresa do setor siderúrgico, considerando o planejamento orçamentário, a estrutura de custos, o uso de sistemas de informação e os fatores que influenciam desvios entre valores planejados e realizados. Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa aplicada, de caráter descritivo e exploratório, desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, com abordagem qualitativa e quantitativa complementar. A coleta de dados envolveu observação direta da rotina da manutenção, consulta a registros no SAP e análise de dashboards em Power BI. Os resultados evidenciaram que a gestão de custos está diretamente associada à interação entre aspectos técnicos, organizacionais e operacionais, destacando-se a comparação entre Planejado (PEX), Rolling Forecast (RF) e Real como ferramenta relevante para análise da previsibilidade orçamentária. Verificou-se, ainda, concentração dos gastos em manutenção externa e materiais de manutenção, além da influência de fatores como atrasos de fornecedores, demora na reposição de materiais, reparos repetitivos e envelhecimento dos ativos sobre os desvios de custo, o aumento do tempo de manutenção não planejada e a perda de disponibilidade. Conclui-se que a gestão de custos da manutenção ferroviária demanda uma abordagem integrada entre manutenção, suprimentos, operação e controle gerencial, de modo a ampliar a previsibilidade dos gastos e reduzir impactos operacionais.

Palavras-chave: manutenção ferroviária; gestão de custos; siderurgia; controle orçamentário; SAP.

ABSTRACT

This study analyzes the cost management process of railway maintenance in a steelmaking environment, focusing on optimizing the control of materials, services, and spare parts. The study is based on the understanding that, in internal railway systems, maintenance plays a strategic role in operational continuity, requiring economic control aligned with asset availability and reliability. The general objective was to analyze railway maintenance cost management in a company in the steel sector, considering budget planning, cost structure, the use of information systems, and the factors that influence deviations between planned and actual values. Methodologically, this is an applied, descriptive, and exploratory study, developed through bibliographic research and a case study, with a qualitative approach and complementary quantitative support. Data collection involved direct observation of the maintenance routine, consultation of records in SAP, and analysis of dashboards in Power BI. The results showed that cost management is directly associated with the interaction between technical, organizational, and operational aspects, with the comparison between Planned (PEX), Rolling Forecast (RF), and Actual values standing out as a relevant tool for analyzing budget predictability. It was also found that expenditures are concentrated on external maintenance and maintenance materials, in addition to the influence of factors such as supplier delays, delays in material replenishment, repetitive repairs, and asset aging on cost deviations, increased unplanned maintenance time, and loss of availability. It is concluded that railway maintenance cost management requires an integrated approach involving maintenance, supply, operations, and managerial control to increase cost predictability and reduce operational impacts.

Keywords: railway maintenance; cost management; steel industry; budgetary control; SAP

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparativo anual entre TMNP, Disponibilidade e Consecução (2025).....	31
Figura 2 - Fluxo de organização dos dados da pesquisa.....	38
Figura 3 - Representação esquemática das principais etapas do processo siderúrgico.....	40
Figura 4 - Fluxo simplificado da ordem de manutenção ferroviária na empresa.....	44
Figura 5 - Comparativo anual entre PEX, RF e Real da manutenção ferroviária (2025).....	46
Figura 6 - Distribuição anual dos gastos da manutenção ferroviária por agrupamento de classe de custo (2025).....	48
Figura 7 - Análise SWOT da gestão de custos da manutenção ferroviária.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura de classificação dos custos da manutenção ferroviária.....	45
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMV – Aparelho de Mudança de Via

BI – Business Intelligence

ERP – Enterprise Resource Planning

MTTR – Mean Time To Repair

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção

PEX – Planejado

RCM – Reliability-Centered Maintenance

RF – Rolling Forecast

SAP – Systems, Applications and Products in Data Processing

SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats

TMNP – Tempo de Manutenção Não Planejada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Manutenção Industrial e Ferroviária	15
2.1.1	Tipos e estratégias de manutenção	15
2.1.2	Particularidades da manutenção ferroviária em sistemas siderúrgicos	16
2.1.3	Função estratégica da manutenção e impacto na eficiência operacional	17
2.2	Gestão de Custos de Manutenção	18
2.2.1	Conceitos básicos de custos	18
2.2.2	Estrutura de custos da manutenção ferroviária	20
2.2.3	Planejamento orçamentário e controle de custos	23
2.2.4	Custo, confiabilidade e disponibilidade de ativos	26
2.3	Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)	27
2.3.1	Funções do PCM	28
2.3.2	Indicadores de manutenção	29
2.4	Sistemas e Tecnologias de Apoio à Gestão (SAP e Power BI)	31
2.4.1	Sistemas ERP e módulo de manutenção	32
2.4.2	Business Intelligence e análise de dados	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	Tipo e abordagem da pesquisa	35
3.2	Estratégia de pesquisa: estudo de caso em ambiente siderúrgico	36
3.2.1	Dados secundários	37
3.2.2	Dados primários	37
3.3	Tratamento e análise dos dados	38
3.3.1	Organização dos dados	38

3.3.2	Critérios de análise	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	Caracterização da empresa e do sistema ferroviário	41
4.1.1	Visão geral da usina siderúrgica	41
4.1.2	Sistema ferroviário interno	41
4.2	Processo de manutenção ferroviária na empresa	43
4.2.1	Estrutura organizacional da manutenção ferroviária	43
4.2.2	Fluxo de trabalho	44
4.3	Panorama da gestão de custos de manutenção ferroviária	45
4.3.1	Estrutura de centros de custo e classes de despesa	45
4.3.2	Análise temporal do estudo	46
4.4	Análise de divergências entre custos planejados e realizados	50
4.4.1	Principais fatores que geram desvios	51
4.4.2	Impactos na operação	52
4.5	Análise SWOT da gestão de custos da manutenção ferroviária	53
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A manutenção ferroviária inserida no contexto siderúrgico envolve atividades voltadas à conservação de locomotivas, vagões e sistemas de apoio logístico que asseguram o fluxo de materiais entre as etapas produtivas. Em ambientes industriais dessa natureza, o transporte ferroviário representa um elo fundamental na cadeia de suprimentos, demandando práticas de manutenção planejadas e economicamente equilibradas para sustentar a continuidade das operações.

O gerenciamento dos custos de manutenção nesse cenário exige atenção especial ao controle de materiais, serviços e sobressalentes, considerando o volume de ativos e a criticidade das intervenções. A análise sistematizada desses custos possibilita compreender a relação entre planejamento, execução e desempenho financeiro das atividades, o que se torna particularmente relevante em estruturas produtivas que operam com altos níveis de disponibilidade e precisão. Estudos recentes reforçam a importância de estratégias de manutenção que conciliem confiabilidade e melhoria na gestão de custos em sistemas ferroviários vinculados a processos siderúrgicos. Santana e Nascimento (2024) abordam a influência do planejamento e controle da manutenção preventiva na redução de intervenções corretivas em uma empresa ferroviária localizada em Minas Gerais, destacando a manutenção como elemento essencial para assegurar eficiência operacional e sustentabilidade econômica.

A utilização de sistemas de gestão empresarial, como o SAP, e ferramentas de análise de dados, como o Power BI, tem sido observada em diferentes segmentos industriais como suporte ao acompanhamento de custos planejados e realizados. Esses instrumentos contribuem para o registro e o monitoramento das ordens de manutenção, além de permitirem o rastreamento das despesas associadas a materiais e serviços.

A gestão de sobressalentes, por sua vez, integra o processo de manutenção ao assegurar a disponibilidade de componentes críticos e reduzir atrasos nas execuções planejadas. Em estruturas industriais complexas, o equilíbrio entre o nível de estoque e o custo de armazenagem torna-se um aspecto determinante para o desempenho econômico da manutenção.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Com base nesse contexto, este trabalho tem como objetivo geral analisar o processo de gestão de custos de manutenção ferroviária no ambiente siderúrgico, com foco na melhoria do controle de materiais, serviços e sobressalentes.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos envolvem:

- Apresentar os principais conceitos e metodologias de gestão de custos aplicadas à manutenção ferroviária, destacando suas particularidades e desafios.
- Analisar a importância do planejamento orçamentário e do controle de custos na manutenção ferroviária, relacionando-o à eficiência operacional e à confiabilidade dos ativos.
- Investigar como os sistemas de gestão empresarial, como SAP e Power BI, contribuem para o controle e acompanhamento dos custos planejados e realizados em atividades de manutenção.
- Identificar os principais fatores que influenciam divergências entre custos planejados e executados, considerando aspectos como gestão de materiais, sobressalentes e prazos de execução.
- Propor boas práticas e recomendações teóricas visando aumentar a eficiência operacional e reduzir desperdícios nos processos de compra, reparo e preservação de ativos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manutenção Industrial e Ferroviária

2.1.1 Tipos e estratégias de manutenção

A definição de uma estratégia adequada de manutenção é apontada pela literatura como fator central para garantir disponibilidade, confiabilidade e controle de custos ao longo do ciclo de vida dos ativos. Slack (2000) observa que a manutenção é parte essencial das operações produtivas, pois busca evitar falhas nas instalações físicas, especialmente em processos que dependem fortemente de equipamentos. Nessa perspectiva, a gestão da manutenção deixa de ser apenas uma atividade de suporte e passa a ser tratada como função estratégica, diretamente associada à competitividade e ao desempenho econômico das organizações. Existem diferentes tipos de manutenção, conforme descrito a seguir.

A manutenção corretiva é caracterizada pela intervenção após a ocorrência da falha, quando o equipamento já apresentou defeito ou deixou de operar dentro dos parâmetros esperados. Kardec e Nascif (2001) destacam que esse tipo de manutenção está ligado à correção de falhas de forma aleatória, normalmente implicando interrupções não planejadas, perda de produção e aumento de custos indiretos. Souza (2009) reforça que a manutenção corretiva tende a ser onerosa, pois a parada inesperada do equipamento pode comprometer prazos, qualidade do produto e até gerar perdas contratuais. Freitas e Resende Filho (2005) acrescentam que, quando a correção de falhas ocorre de forma recorrente e sem planejamento, os custos de manutenção tornam-se “inadministráveis”, impactando diretamente o resultado da entidade.

A manutenção preventiva, por sua vez, é realizada de forma programada, antes que a falha ocorra, com base em intervalos de tempo, horas de operação ou ciclos de uso. Freitas e Resende Filho (2005) descrevem a manutenção preventiva como um conjunto de verificações e ajustes planejados, que visa manter máquinas e equipamentos em condições adequadas de funcionamento, reduzindo a probabilidade de falhas e contribuindo para a continuidade da produção.

A manutenção preditiva fundamenta-se no monitoramento periódico ou contínuo da condição dos ativos, utilizando técnicas como análise de vibração, temperatura, ruído, termografia e outras medições de desempenho. Freitas e Resende Filho (2005) sintetizam essa abordagem como o acompanhamento constante das condições reais das máquinas, com o objetivo de aumentar o intervalo entre reparos e assegurar o funcionamento em regime adequado. Silva (2012), em estudo aplicado a locomotivas, destaca que programas de manutenção preditiva podem reduzir significativamente o tempo de parada não planejada e os

custos de manutenção, ao permitir que intervenções sejam realizadas no momento mais oportuno, com base em evidências de desgaste ou degradação.

Além dessas, existem ainda as chamadas estratégias complementares, com destaque para a manutenção detectiva, voltada à identificação de falhas ocultas, especialmente em sistemas de proteção, automação e segurança que não apresentam sintomas evidentes no funcionamento cotidiano. Em um nível metodológico mais amplo, a manutenção centrada em confiabilidade (RCM), proposta por Moubray (2000), busca definir a combinação mais adequada de tipos de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva e detectiva) para cada ativo, considerando criticidade, modos de falha e consequências para segurança, meio ambiente e operação.

A relação entre tipo de manutenção e custos é amplamente discutida na literatura. Mirshawka e Olmedo (1993) comparam os custos de manutenção a um “iceberg”, em que a parte visível corresponde aos gastos diretos com mão de obra, materiais e serviços, enquanto os custos ocultos incluem perdas de produção, retrabalho, atrasos e impactos na imagem da empresa. Freitas e Resende Filho (2005) ressaltam que, em muitos setores, os custos de manutenção representam parcela significativa dos custos operacionais e podem comprometer a competitividade se não forem objeto de controle sistemático. Kardec e Nascif (2001) argumentam que uma gestão predominantemente corretiva tende a elevar os custos totais, ao passo que a combinação equilibrada de ações preventivas e preditivas, aliada a um planejamento estruturado, contribui para reduzir paradas não planejadas e racionalizar o uso de recursos.

Dessa forma, a escolha e a combinação dos tipos de manutenção deixam de ser apenas uma decisão técnica e se convertem em uma decisão econômico-estratégica. Em ambientes com ativos de alta criticidade, como sistemas ferroviários industriais, a definição de uma política de manutenção alinhada à confiabilidade e ao custo do ciclo de vida é determinante para equilibrar disponibilidade operacional e sustentabilidade dos custos de manutenção.

2.1.2 Particularidades da manutenção ferroviária em sistemas siderúrgicos

A manutenção ferroviária em ambientes siderúrgicos apresenta características que a diferenciam de outros contextos industriais devido às especificidades do fluxo produtivo e do conjunto de ativos envolvidos. Nas usinas siderúrgicas, o sistema ferroviário interno desempenha papel central no transporte de materiais como gusa líquido, escória, placas e suprimentos, conectando áreas operacionais essenciais e permitindo o funcionamento contínuo do processo siderúrgico. Esse cenário confere ao modal ferroviário um nível elevado de

criticidade, uma vez que sua indisponibilidade pode comprometer etapas subsequentes da produção e gerar desequilíbrios logísticos.

A diversidade de ativos que compõem o sistema ferroviário interno amplia a complexidade das atividades de manutenção. Além de locomotivas — frequentemente projetadas para operações específicas e caracterizadas por estruturas robustas, como as locomotivas de 72 toneladas — a manutenção envolve carros torpedos utilizados no transporte de gusa, motores estacionários, elementos de via permanente, Aparelho de Mudança de Via (AMV) e passagens de nível. Cada um desses componentes demanda procedimentos próprios de inspeção, preservação e intervenção, implicando a necessidade de equipes técnicas especializadas e de uma gestão estruturada de materiais e sobressalentes.

Outro aspecto relevante refere-se ao comportamento operacional dos ativos ferroviários em siderúrgicas, que operam exclusivamente dentro da planta industrial. Esse ambiente fechado impõe rotas frequentes, ciclos repetitivos e demandas contínuas de transporte, exigindo precisão no planejamento e previsibilidade na execução da manutenção. A ausência de redundância em determinados trechos operacionais ou frotas reduzidas acentua a necessidade de intervenções eficientes, com ênfase na manutenção preventiva e na disponibilidade de conjuntos críticos.

Nesse contexto, as atividades de manutenção ferroviária dependem diretamente da gestão adequada de sobressalentes e do acompanhamento dos tempos de reparo, sejam eles internos ou realizados por fornecedores externos. A falta de componentes essenciais ou atrasos no retorno de reparos afeta o ritmo operacional, podendo resultar em indisponibilidade de ativos e potencializar riscos. Assim, a manutenção ferroviária na siderurgia se caracteriza pela integração entre planejamento técnico, gestão de estoques, controle de fornecedores e monitoramento contínuo das condições de operação dos ativos.

2.1.3 Função estratégica da manutenção e impacto na eficiência operacional

A manutenção industrial, em sua concepção moderna, assume papel estratégico nas organizações ao buscar garantir a disponibilidade, confiabilidade e segurança dos ativos produtivos. No setor siderúrgico, onde a continuidade operacional é essencial e os fluxos logísticos são interdependentes, a manutenção ferroviária torna-se elemento central no desempenho global da planta. A literatura destaca que a manutenção evoluiu de uma função meramente corretiva para uma abordagem orientada ao planejamento, ao controle e à gestão de custos, baseada em indicadores e metodologias estruturadas.

Nos sistemas ferroviários internos, a manutenção atua diretamente na redução de desperdícios, na mitigação de perdas operacionais e no cumprimento dos ritmos produtivos. A eficiência na execução das intervenções contribui para evitar gargalos logísticos, reduzir tempos

de parada e manter a fluidez no transporte de materiais estratégicos. Dessa forma, a manutenção deixa de ser tratada apenas como um centro de custos e passa a ser considerada um vetor de desempenho, influenciando positivamente a produtividade e a estabilidade da operação industrial.

Ao assegurar a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos ferroviários, a manutenção contribui para a eficiência operacional da siderurgia, reforçando a sinergia entre produtividade, segurança e custo. Assim, a função estratégica da manutenção se manifesta não apenas na preservação dos equipamentos, mas na capacidade de sustentar o fluxo produtivo, otimizar recursos e apoiar decisões gerenciais orientadas para resultados sustentáveis.

2.2 Gestão de Custos de Manutenção

A gestão de custos de manutenção, quando integrada ao planejamento estratégico da empresa, possibilita identificar os principais direcionadores de despesas, reconhecer padrões de falhas e estabelecer políticas de reposição e manutenção alinhadas às necessidades reais dos ativos. Esse processo auxilia na definição de prioridades, no controle de sobressalentes e na racionalização dos gastos, evitando intervenções emergenciais que tendem a gerar custos superiores e maiores impactos no processo produtivo.

2.2.1 Conceitos básicos de custos

A compreensão dos conceitos fundamentais de custos é essencial para a análise e a gestão da manutenção em ambientes industriais. Antes de tratar especificamente da manutenção ferroviária, é necessário delimitar como os custos são classificados e reconhecidos na literatura contábil e na engenharia de produção, uma vez que essas categorias servem de base para o planejamento orçamentário, o controle de gastos e a avaliação de desempenho econômico. Autores como Martins (2018), Crepaldi (2010) e Bornia (2010) destacam que a adequada classificação dos custos permite identificar onde os recursos estão sendo consumidos, apoiar decisões sobre alocação de verbas e orientar políticas de redução de desperdícios.

No contexto da manutenção, os custos envolvem materiais, mão de obra, serviços de terceiros, ferramentas, equipamentos de apoio e outros recursos necessários para manter os ativos em condições de operação. A forma como esses custos são classificados (diretos, indiretos, fixos, variáveis) influencia diretamente a elaboração de orçamentos de manutenção, a formação de indicadores e a análise de eficiência.

Uma distinção importante é entre custos diretos e custos indiretos. Custos diretos são aqueles que podem ser atribuídos de maneira objetiva e mensurável a um produto, serviço ou centro de custo específico. Em termos de manutenção, são exemplos de custos diretos: peças e componentes utilizados em uma intervenção claramente identificada (como a substituição de

um rolamento em determinada máquina), horas de mão de obra aplicadas a uma ordem de serviço específica ou contratação de um serviço terceirizado diretamente associado a um equipamento. Nesses casos, é possível saber exatamente “quanto” foi gasto e “onde” o gasto foi aplicado.

Os custos indiretos, por sua vez, são aqueles que não podem ser associados de forma imediata e exclusiva a um produto, serviço ou ativo específico, exigindo critérios de rateio ou alocação. No âmbito da manutenção, entram nessa categoria gastos como energia elétrica do setor de manutenção, salários da equipe de apoio administrativo, ferramentas de uso comum, contratos gerais de suporte técnico, softwares de gestão, entre outros. Esses custos são necessários para que as atividades de manutenção ocorram, mas não são facilmente segregados por equipamento ou por ordem de serviço. A correta identificação e o rateio adequado dos custos indiretos são fundamentais para evitar distorções na análise de desempenho, especialmente quando se comparam diferentes ativos, linhas de produção ou áreas produtivas.

Em organizações industriais, a proporção entre custos diretos e indiretos da manutenção pode variar conforme o nível de automação, a complexidade dos ativos e a forma como os processos são estruturados. Em ambientes com manutenção intensiva e forte estrutura de apoio, os custos indiretos tendem a ganhar relevância, reforçando a necessidade de sistemas de custeio e de centros de custo bem definidos. Isso é particularmente importante para que a gestão consiga identificar quais ativos ou áreas demandam maior volume de recursos e se esses gastos estão coerentes com a criticidade dos equipamentos.

Outra classificação frequentemente utilizada é a distinção entre custos fixos e custos variáveis. Custos fixos são aqueles que, em determinado horizonte de tempo e dentro de uma faixa de atividade, não se alteram proporcionalmente ao volume de produção ou de serviços realizados. No contexto da manutenção, podem ser considerados custos fixos: salários da equipe permanente de manutenção, contratos de manutenção em regime de disponibilidade (quando o valor não varia diretamente com o número de intervenções realizadas), seguros de equipamentos ou de instalações de manutenção, entre outros. Esses custos permanecem relativamente estáveis, mesmo quando há variação no número de ordens de manutenção executadas em um determinado período.

Já os custos variáveis são aqueles que se modificam em função do nível de atividade. Na manutenção, são exemplos de custos variáveis: materiais de reposição consumidos em intervenções (peças, lubrificantes, componentes diversos), serviços de terceiros contratados por demanda, horas extras da equipe em períodos de maior carga de trabalho, insumos específicos

utilizados em determinados tipos de reparo, entre outros. Quanto maior o volume de intervenções, maior tende a ser o consumo desses recursos, o que eleva os custos variáveis.

Para a gestão de custos de manutenção, essa distinção entre fixos e variáveis é relevante por diversos motivos. Em primeiro lugar, ela permite entender qual parcela do orçamento está comprometida independentemente do número de falhas ou intervenções (custos fixos) e qual parcela está diretamente relacionada ao nível de atividade de manutenção (custos variáveis). Em segundo lugar, auxilia na análise de cenários: por exemplo, avaliar o impacto financeiro de um aumento no número de manutenções corretivas ou preventivas, ou de uma mudança na política de estoque de sobressalentes. Finalmente, essa classificação contribui para discussões sobre eficiência: em alguns casos, a adoção de estratégias de manutenção mais estruturadas (como preventivas e preditivas) pode aumentar, em certa medida, alguns custos fixos ou diretos, mas reduzir significativamente custos variáveis associados a falhas, retrabalhos e paradas emergenciais.

Do ponto de vista da engenharia de produção, a gestão de custos de manutenção não se limita a conhecer definições contábeis, mas sim a utilizá-las como base para tomadas de decisão. Ao compreender que determinados custos são diretos, a organização pode analisar com maior clareza quais ativos consomem mais recursos e avaliar, por exemplo, se vale a pena investir em modernização, substituição ou melhoria técnica. Ao reconhecer o peso dos custos indiretos, pode-se propor revisões em contratos, melhoria da estrutura de apoio ou revisão dos critérios de rateio para tornar a informação de custos mais transparente. Ao distinguir custos fixos e variáveis, a gestão passa a enxergar com mais nitidez o efeito das políticas de manutenção sobre o orçamento global e sobre a rentabilidade da operação.

Assim, os conceitos básicos de custos constituem a base para qualquer discussão sobre gestão de custos de manutenção. Eles permitem que os dados extraídos de sistemas como SAP sejam organizados de forma estruturada, viabilizando análises por tipo de gasto, por centro de custo, por ativo ou por tipo de intervenção.

2.2.2 Estrutura de custos da manutenção ferroviária

A estrutura de custos da manutenção ferroviária pode ser compreendida como o conjunto de categorias pelas quais os gastos são registrados, analisados e controlados ao longo das atividades de conservação, reparo e recuperação dos ativos. Do ponto de vista da gestão econômica, essa estrutura é fundamental para que a organização consiga identificar quais elementos consomem mais recursos, quais áreas são mais críticas e onde há oportunidades de racionalização de despesas (MARTINS, 2018; CREPALDI, 2010; BORNIA, 2010).

No contexto da manutenção, a literatura destaca que os custos podem ser agrupados, de forma geral, em materiais, serviços e outros custos associados, como logística, transporte e retrabalho (FREITAS; RESENDE FILHO, 2005; KARDEC; NASCIF, 2001). Embora a composição específica varie conforme o tipo de operação ferroviária, essa classificação fornece uma base conceitual para a análise de custos tanto em ambientes industriais quanto em sistemas de transporte mais amplos.

Materiais: peças, componentes e sobressalentes

Os custos com materiais representam uma parcela significativa da manutenção ferroviária, pois envolvem peças, componentes e sobressalentes necessários para a execução das intervenções. Esses materiais incluem desde itens de desgaste frequente (parafusos, buchas, rolamentos, juntas, óleos, lubrificantes) até componentes de maior valor agregado, como rodas ferroviárias, truques, sistemas de freio, elementos de suspensão, equipamentos auxiliares e componentes eletrônicos de controle.

Do ponto de vista gerencial, a categoria de materiais está diretamente ligada à política de estoques de sobressalentes, à logística de reposição e à criticidade dos ativos. Bornia (2010) destaca que a decisão sobre o nível de estoque de itens críticos influencia tanto o custo de manutenção quanto o risco de paradas prolongadas: estoques muito baixos podem gerar atrasos na execução das ordens de serviço, enquanto estoques excessivos aumentam custos de capital imobilizado e armazenagem.

Em sistemas ferroviários, a gestão de materiais de manutenção exige a padronização de códigos de itens, o registro adequado do consumo em ordens de serviço e o acompanhamento de indicadores, como giro de estoque e tempo de reposição. Quando essas informações são integradas a sistemas de gestão, torna-se possível identificar quais componentes concentram maior volume de gastos, que apresentam maior frequência de substituições e quais podem requerer revisão de especificações, acordos de fornecimento ou ações preventivas para reduzir falhas recorrentes (MARTINS, 2018; CREPALDI, 2010).

Serviços: oficinas externas, prestadores e contratos

A categoria de serviços abrange gastos com atividades de manutenção realizadas por terceiros, oficinas externas ou empresas especializadas, bem como contratos de suporte técnico, inspeções, calibrações e reformas de componentes. Em manutenção ferroviária, é comum que determinados itens, como rodas, eixos, sistemas de freio, equipamentos eletrônicos ou componentes hidráulicos, sejam enviados para oficinas especializadas que dispõem de máquinas, ferramentas e certificações específicas.

Freitas e Resende Filho (2005) ressaltam que os custos de serviços tendem a ser relevantes em organizações que optam por terceirizar parte das atividades de manutenção, seja por questões de capacidade técnica, seja por estratégia de focar internamente em atividades de maior valor agregado. Nesses casos, a gestão de custos passa a depender não apenas do acompanhamento de valores faturados, mas também da qualidade do serviço prestado, dos prazos de entrega e da frequência de retrabalhos.

Além dos serviços pontuais, podem existir contratos de manutenção com escopo e valores pré-definidos, contemplando, por exemplo, inspeções periódicas em determinados conjuntos, calibração de instrumentos ou suporte em situações de emergência. Kardec e Nascif (2001) ressaltam que a avaliação econômica desses contratos deve considerar não só o custo direto, mas também a redução de riscos operacionais e o impacto na disponibilidade dos ativos. Dessa forma, a estrutura de custos de serviços envolve tanto o registro contábil quanto a análise de desempenho dos fornecedores, o que aproxima a gestão de manutenção da gestão de contratos e da gestão de suprimentos.

Outros custos associados: logística, transporte e retrabalho

Além de materiais e serviços, a manutenção ferroviária envolve outros custos associados que, embora nem sempre apareçam de forma explícita nas análises iniciais, podem representar parcela importante do gasto total. Entre esses custos, destacam-se:

Logística e transporte de componentes: movimentação de peças, envio de componentes para oficinas externas, transporte de equipamentos de grande porte ou de difícil acesso. Esses custos podem incluir fretes, seguros e manuseio especializado.

Custos de retrabalho: situações em que uma intervenção precisa ser refeita devido a falha de diagnóstico, aplicação inadequada de procedimentos, problemas de qualidade de peças ou serviços, ou ainda falhas recorrentes não tratadas em sua causa raiz. Freitas e Resende Filho (2005) apontam que o retrabalho é um dos elementos que compõem os chamados “custos ocultos” da manutenção, frequentemente subestimados nas análises tradicionais.

Custos de apoio e infraestrutura: embora muitas vezes classificados como indiretos, podem incluir aluguel ou depreciação de áreas de manutenção, ferramentas especiais, equipamentos de apoio (como guindastes, veículos de serviço, equipamentos de elevação), além de consumíveis de uso geral, como gases industriais, panos de limpeza, EPIs específicos utilizados durante as intervenções (MARTINS, 2018; BORNIA, 2010).

Esses custos associados costumam estar distribuídos em diferentes contas e centros de custo, o que pode dificultar sua visualização de forma consolidada. No entanto, do ponto de vista da gestão, reconhecê-los e mensurá-los é essencial para avaliar o custo real da manutenção

ferroviária. Kardec e Nascif (2001) enfatizam que a competitividade de uma organização depende não apenas da redução de custos diretos visíveis, mas também da identificação e mitigação de perdas relacionadas a ineficiências, retrabalhos, esperas e movimentações desnecessárias.

Ao estruturar os custos de manutenção ferroviária nessas categorias – materiais, serviços e outros custos associados – a organização cria uma base mais clara para desenvolver indicadores, elaborar orçamentos e comparar diferentes estratégias de manutenção. A partir dessa visão estruturada, torna-se possível, por exemplo, analisar se o aumento de investimentos em materiais de melhor qualidade ou em serviços especializados contribui para reduzir custos indiretos e perdas operacionais, ou se há oportunidades de otimizar a logística e reduzir retrabalhos. Essa estrutura conceitual será fundamental para a análise da gestão de custos da manutenção ferroviária desenvolvida nos capítulos seguintes.

2.2.3 Planejamento orçamentário e controle de custos

O planejamento orçamentário e o controle de custos constituem pilares da gestão econômico-financeira da manutenção, pois permitem antecipar necessidades de recursos, estabelecer limites de gasto e monitorar se a execução está coerente com o que foi previsto. Martins (2018) destaca que o orçamento funciona como um plano quantitativo formalizado para determinado período, servindo tanto como instrumento de planejamento quanto de controle, na medida em que possibilita comparar o realizado com o previsto. Bornia (2010) reforça que, sem uma visão estruturada de custos, a empresa tende a reagir às ocorrências de forma pontual, perdendo capacidade de prever, priorizar e alinhar a manutenção com os objetivos estratégicos do negócio.

No contexto da manutenção, o orçamento costuma ser elaborado considerando o histórico de falhas, o plano de intervenções previstas (preventivas e preditivas), os contratos vigentes, os níveis de estoque de sobressalentes e as metas de desempenho dos ativos. Freitas e Resende Filho (2005) assinalam que, em muitos casos, os gastos de manutenção representam parte relevante dos custos operacionais e, por isso, a ausência de planejamento adequado pode comprometer a competitividade da organização. Nesse cenário, sistemas de gestão empresarial, como o SAP, e ferramentas de análise de dados, como o Power BI, assumem papel fundamental no registro, consolidação e acompanhamento de informações sobre custos planejados e realizados.

Custos planejados x realizados

A comparação entre custos planejados e custos realizados é uma das principais formas de controle adotadas na gestão orçamentária. Em termos conceituais, custos planejados

correspondem aos valores previstos no orçamento para determinado período, centro de custo ou categoria de despesa, enquanto custos realizados representam o que de fato foi gasto ao longo da execução das atividades (MARTINS, 2018). Essa comparação permite identificar desvios, positivos ou negativos, e questionar suas causas.

Na manutenção, o custo planejado incorpora estimativas de consumo de materiais, contratações de serviços, reformas programadas, revisões periódicas e demais intervenções previstas no plano anual. Já o custo realizado inclui tanto essas ações programadas quanto gastos decorrentes de eventos imprevistos, como falhas corretivas, emergências, retrabalhos ou mudanças de escopo. Bornia (2010) ressalta que o simples registro da diferença entre planejado e realizado não é suficiente; é necessário interpretar os desvios à luz da operação, dos indicadores de desempenho e das decisões de gestão.

A utilização de sistemas integrados, como o SAP, possibilita associar custos a ordens de manutenção, classes de despesa e centros de custo específicos, facilitando a análise detalhada dos desvios. Em complemento, ferramentas de Business Intelligence, como o Power BI, permitem a construção de painéis que comparam automaticamente valores orçados e executados, por período, categoria ou tipo de intervenção, favorecendo a identificação de padrões recorrentes de estouros de orçamento ou de subutilização de recursos.

Centros de custo e classificação de despesas

Os centros de custo são unidades de acumulação e responsabilização de gastos dentro da organização. Em termos gerenciais, podem ser entendidos como “contas bancárias” de cada célula, área ou setor, nas quais são registrados tanto o orçamento disponível quanto os custos efetivamente realizados ao longo do período. Cada centro de custo possui um planejamento anual, estabelecido com base nas necessidades estimadas de manutenção, e um acompanhamento contínuo dos gastos registrados, que podem ficar acima ou abaixo do previsto (MARTINS, 2018; CREPALDI, 2010).

Na manutenção, a estrutura de centros de custo pode ser definida por área produtiva, por tipo de ativo, por oficina ou por unidade organizacional responsável pelas intervenções. Freitas e Resende Filho (2005) ressaltam que a clareza na definição dos centros de custo é essencial para evitar dispersão de informações e para atribuir responsabilidades de gestão a supervisores, engenheiros ou coordenadores, que passam a responder tanto pelos resultados técnicos quanto pelos resultados econômicos de sua área.

Associada aos centros de custo, a classificação de despesas organiza os gastos por natureza, como materiais, serviços, contratos, fretes, entre outros. Essa classificação permite, por exemplo, identificar se o desvio orçamentário de um determinado centro está concentrado

no aumento de consumo de peças, na dependência de serviços externos, na elevação de custos logísticos ou em retrabalhos. Bornia (2010) destaca que uma estrutura de classificação bem definida facilita a análise de onde e como os recursos estão sendo consumidos, apoiando a tomada de decisão sobre prioridades de redução de custos ou de investimentos em melhorias.

Consequências de desvios: paradas, custos extras e perda de disponibilidade

Os desvios entre custos planejados e realizados não representam apenas uma diferença numérica; em manutenção, eles são frequentemente sintomas de problemas mais amplos de gestão. Quando os gastos reais superam de forma recorrente o orçamento, isso pode indicar subestimação de riscos, falhas na programação de intervenções, aumento de falhas corretivas, ineficiências na gestão de materiais ou dependência excessiva de serviços emergenciais (FREITAS; RESENDE FILHO, 2005). Kardec e Nascif (2001) apontam que a ausência de planejamento adequado tende a deslocar a manutenção para um perfil predominantemente reativo, o que, em geral, eleva os custos totais e compromete a confiabilidade dos ativos.

Entre as principais consequências operacionais dos desvios destacam-se:

- Paradas não planejadas: falhas que não estavam contempladas no plano de manutenção podem exigir paradas emergenciais, interrompendo a produção e gerando perdas de capacidade produtiva.
- Custos extras: intervenções emergenciais costumam demandar uso intensivo de horas extras, contratação urgente de serviços externos, aquisição de peças com prazos reduzidos (frete expressos), além de retrabalhos decorrentes de diagnósticos apressados. Esses elementos se somam aos custos diretos, compondo o que Mirshawka e Olmedo (1993) descrevem como a “parte invisível” do custo de manutenção.
- Perda de disponibilidade: ao aumentar a frequência e a duração das paradas não planejadas, os desvios de custos se refletem na redução da disponibilidade dos ativos, impactando diretamente a eficiência operacional da planta (KARDEC; NASCIF, 2001).

Por outro lado, desvios em que o custo realizado se mantém sistematicamente abaixo do planejamento também merecem análise crítica. Em alguns casos, podem indicar eficiência e boa gestão; em outros, podem representar adiamento de intervenções necessárias, subexecução do plano de manutenção, acúmulo de demandas futuras ou deterioração silenciosa dos ativos.

Assim, o planejamento orçamentário e o controle de custos, apoiados por centros de custo bem definidos, classificação adequada de despesas e uso de sistemas integrados como SAP e ferramentas de análise como Power BI, constituem instrumentos essenciais para aumentar a previsibilidade e a assertividade na gestão da manutenção. Mais do que cumprir um orçamento, trata-se de compreender para onde escoar o dinheiro da manutenção, identificar os

“furos de custo” e relacionar os resultados econômicos às decisões técnicas e estratégicas adotadas na gestão dos ativos.

2.2.4 Custo, confiabilidade e disponibilidade de ativos

A gestão de custos de manutenção está diretamente relacionada ao desempenho dos ativos em termos de confiabilidade e disponibilidade. Em ambientes industriais com alta criticidade operacional, como sistemas ferroviários internos, não basta apenas reduzir gastos imediatos: é necessário analisar como as decisões de manutenção afetam a probabilidade de falhas e o tempo em que os ativos permanecem efetivamente disponíveis para operação. Kardec e Nascif (2001) destacam que a manutenção deve ser tratada como função estratégica justamente por influenciar, ao mesmo tempo, o desempenho técnico dos equipamentos e o resultado econômico da organização.

Do ponto de vista conceitual, confiabilidade pode ser entendida como a probabilidade de um ativo desempenhar sua função requerida, sem falhas, por um intervalo de tempo determinado, sob condições específicas de operação (LAFRAIA, 2001; EBELING, 2004). Em termos práticos, no contexto ferroviário, a confiabilidade de uma locomotiva está associada à sua capacidade de cumprir ciclos de operação (viagens, manobras, transporte interno) sem interrupções inesperadas por falha mecânica, elétrica ou de sistemas de controle. Quanto maior a confiabilidade, menor a frequência de falhas e, conseqüentemente, menor a quantidade de intervenções corretivas emergenciais, que tendem a ser mais caras e gerar impactos significativos na produção.

A disponibilidade está relacionada ao tempo em que o ativo se encontra apto para operação em comparação com o tempo total considerado. Em termos simplificados, a disponibilidade resulta da relação entre o tempo em que o equipamento está disponível para uso e a soma entre esse tempo e os períodos em que ele permanece indisponível devido a falhas, manutenções ou outras paradas. Indicadores como o tempo de manutenção não planejada (TMNP) são utilizados para expressar essa relação de forma objetiva (LAFRAIA, 2001; EBELING, 2004). Em sistemas ferroviários, a disponibilidade de locomotivas, vagões e outros ativos críticos influencia diretamente a capacidade de transporte e o cumprimento dos planos operacionais da planta.

A relação entre custo, confiabilidade e disponibilidade se materializa nas decisões sobre investimentos em manutenção preventiva e preditiva. Estratégias predominantemente reativas tendem a reduzir os gastos aparentes no curto prazo, já que se intervém apenas quando ocorre a falha. No entanto, Mirshawka e Olmedo (1993) lembram que grande parte dos custos de manutenção é “oculta”, aparecendo na forma de perdas de produção, atrasos, retrabalhos, horas

extras, fretes emergenciais e impactos na qualidade. Em sistemas ferroviários, por exemplo, a falha inesperada de uma locomotiva durante a operação pode gerar não apenas o custo do reparo, mas também a necessidade de reorganização da logística interna, aumento de tempos de espera e redução da eficiência global do processo.

Ao contrário, programas bem estruturados de manutenção preventiva e preditiva buscam intervir antes da ocorrência das falhas críticas, com base em planos de inspeção, substituição sistemática de componentes e monitoramento de condições (temperatura, vibração, desgaste, entre outros). Isso tende a aumentar o volume de custos planejados – particularmente na forma de materiais e tempo programado de intervenção – mas, em contrapartida, reduz a frequência e a gravidade de falhas corretivas, melhora a confiabilidade dos ativos e aumenta a disponibilidade operacional (KARDEC; NASCIF, 2001; MOUBRAY, 2000). No caso de locomotivas e sistemas ferroviários, isso significa menos paradas inesperadas, e maior previsibilidade no uso de recursos.

Sob a ótica econômica, há um trade-off claro: investir mais em ações preventivas e preditivas eleva o custo direto de manutenção programada, mas tende a reduzir o custo total ao longo do tempo, ao evitar eventos corretivos de alto impacto e ao minimizar perdas operacionais. Bornia (2010) enfatiza que a análise de custos deve considerar o ciclo de vida do ativo, avaliando não apenas o gasto imediato, mas também as consequências de diferentes políticas de manutenção sobre a confiabilidade e a disponibilidade. Assim, o desafio da gestão de custos de manutenção não é simplesmente gastar menos, mas gastar melhor, alocando recursos de forma que os ativos mantenham níveis adequados de desempenho com o menor custo total possível.

Em síntese, a integração entre custo, confiabilidade e disponibilidade é fundamental para a gestão estratégica da manutenção. Ao relacionar investimentos em manutenção preventiva e preditiva com a redução de falhas corretivas e com a melhora da disponibilidade dos ativos ferroviários, a organização passa a enxergar a manutenção não como centro de custo isolado, mas como função que preserva a capacidade produtiva e sustenta a competitividade do sistema como um todo. Esse olhar será essencial para a análise dos resultados e dos “furos de custo” a serem discutidos nos capítulos posteriores.

2.3 Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)

O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) é frequentemente apontado como o “cérebro” da função manutenção, responsável por transformar necessidades técnicas em planos organizados de intervenção, alocando recursos de forma racional e articulando as demandas dos ativos com as restrições operacionais e orçamentárias. Kardec e Nascif (2001) destacam que o

PCM tem papel central na coordenação das atividades de manutenção, à medida que define o que será feito, quando, como e com quais recursos, reduzindo a improvisação e favorecendo uma atuação mais estratégica. Nessa perspectiva, o PCM atua como elo entre o planejamento de longo prazo, o orçamento de manutenção e a execução diária das ordens de serviço.

Em sistemas ferroviários industriais, o PCM é determinante para garantir que inspeções, revisões e reparos em locomotivas, vagões e via permanente sejam realizados em janelas adequadas, minimizando impactos na operação e evitando paradas inesperadas. A utilização de sistemas integrados de gestão, como o SAP, potencializa esse papel ao permitir o registro, a programação e o acompanhamento das ordens de manutenção, bem como a consolidação de informações de custos e indicadores de desempenho.

2.3.1 Funções do PCM

As funções do PCM podem ser agrupadas em três eixos principais, conforme descrito a seguir.

Programação de intervenções

A programação de intervenções consiste em definir, a partir do plano de manutenção e da demanda corretiva, quando e em que sequência as ordens de serviço serão executadas. Isso envolve analisar janelas de parada disponíveis, capacidade da equipe, disponibilidade de materiais e restrições da operação. Kardec e Nascif (2001) ressaltam que a programação deve buscar o equilíbrio entre evitar paradas não planejadas e não sobrecarregar os ativos com intervenções desnecessárias, alinhando o plano de manutenção preventiva e preditiva com as metas de produção.

No contexto ferroviário, a programação pode contemplar, por exemplo, a consolidação de inspeções periódicas de locomotivas em períodos de menor demanda de transporte interno ou a combinação de diferentes serviços em uma mesma parada programada, reduzindo o número de imobilizações do ativo. Ao programar de forma estruturada, o PCM contribui para reduzir custos de oportunidade (tempo de ativo parado) e custos emergenciais decorrentes de falhas tratadas de forma reativa.

Priorização de ordens

A priorização de ordens diz respeito à definição de quais intervenções devem ser executadas primeiro, considerando critérios como criticidade do ativo, impacto na segurança, risco de falha, exigências legais e consequências econômicas. Freitas e Resende Filho (2005) enfatizam que, em ambientes com recursos limitados, a ausência de critérios claros de priorização tende a conduzir a decisões reativas, baseadas em pressões momentâneas, o que aumenta a probabilidade de falhas graves e de estouros de custos.

Em sistemas ferroviários, ordens de manutenção relacionadas a componentes de segurança (freios, sistemas de comando, via em trechos críticos, passagens de nível) ou a locomotivas essenciais para o fluxo de materiais devem receber priorização elevada em comparação a demandas de menor impacto. O PCM, ao estabelecer níveis de prioridade e critérios de criticidade, direciona a equipe para aquilo que realmente é mais relevante em termos de risco e custo, evitando que recursos sejam consumidos em atividades pouco significativas enquanto problemas críticos se acumulam.

Interface com operação e com almoxarifado

A efetividade do PCM depende, em grande medida, da sua capacidade de atuar como interface entre a manutenção, a operação e o almoxarifado. Com a operação, o PCM negocia janelas de parada, alinha o plano de manutenção com o plano de produção e comunica o cronograma de intervenções, buscando reduzir conflitos e evitar impactos desnecessários na capacidade produtiva (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2000). Com o almoxarifado, o PCM verifica a disponibilidade de materiais e sobressalentes, reserva itens para ordens programadas, identifica necessidades de reposição e acompanha prazos de entrega, reduzindo o risco de atrasos por falta de componentes.

Quando essa interface funciona de maneira deficiente, são comuns situações em que a equipe de manutenção se encontra disponível, mas o material necessário não chegou, ou casos em que a operação libera o ativo para intervenção, mas a ordem ainda não foi planejada com clareza. Essas ineficiências, além de elevarem custos indiretos, aumentam o risco de improvisações e retrabalhos. Ao contrário, um PCM bem estruturado contribui para sincronizar pessoas, materiais e janelas de parada, reduzindo custos e melhorando a confiabilidade do sistema.

2.3.2 Indicadores de manutenção

Para que o PCM cumpra plenamente sua função, é necessário apoiar-se em indicadores de manutenção que permitam acompanhar o desempenho dos ativos e das próprias atividades de manutenção. Esses indicadores fornecem uma visão quantitativa da situação, permitindo identificar tendências, comparar resultados com metas e tomar decisões baseadas em dados. Lafraia (2001) e Ebeling (2004) destacam que indicadores relacionados a confiabilidade, disponibilidade e desempenho de manutenção são fundamentais para avaliar o impacto das políticas adotadas ao longo do ciclo de vida dos ativos.

Entre os indicadores mais utilizados, destacam-se:

MTTR/TMNP (Mean Time To Repair / Tempo Médio Não Programado): corresponde, de forma simplificada, ao tempo médio gasto para restaurar o equipamento à condição de

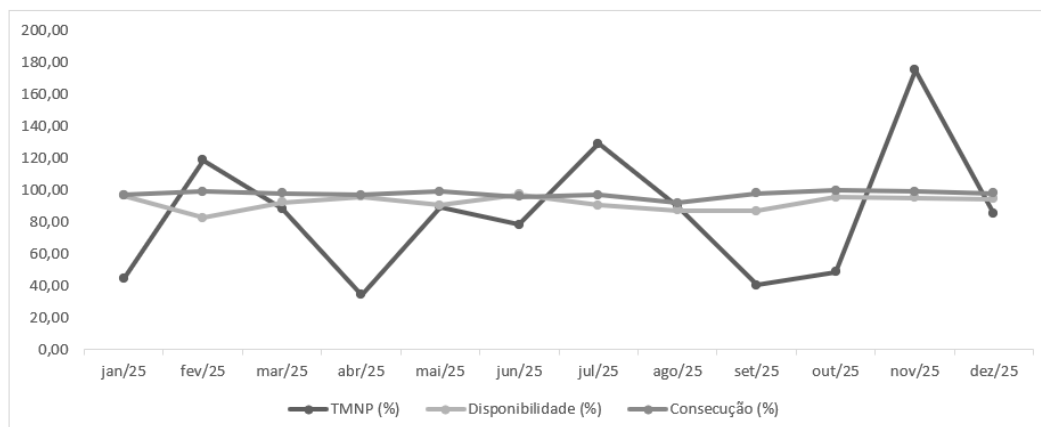
operação após uma falha. Quanto maior o MTTR ou o tempo médio não programado em manutenção, maior o período em que o ativo permanece indisponível, o que implica perda de capacidade produtiva e potencial aumento de custos com horas extras, serviços de terceiros e reorganização da operação (LAFRAIA, 2001).

Disponibilidade: expressa a proporção de tempo em que o equipamento está efetivamente disponível para operar em relação ao tempo total considerado. Disponibilidade baixa, em sistemas ferroviários, se traduz em menos locomotivas e vagões aptos para transporte, maior necessidade de reprogramação de viagens e, muitas vezes, uso intensivo de ativos remanescentes, acelerando seu desgaste. Do ponto de vista de custos, menor disponibilidade implica aumento de custo de oportunidade e, em alguns casos, necessidade de investimentos adicionais para compensar a capacidade perdida.

Consecução da carteira de ordens: refere-se ao nível de cumprimento das ordens de manutenção planejadas dentro do período previsto, indicando a capacidade da equipe em executar a carteira programada conforme o planejado. Quando a consecução da carteira de ordens é baixa, observa-se dificuldade em atender às demandas previstas, o que pode resultar em adiamento de intervenções, acúmulo de ordens pendentes e aumento do risco de falhas. Do ponto de vista dos custos, esse cenário tende a gerar maior pressão sobre a manutenção corretiva, retrabalhos e reprogramações, comprometendo a previsibilidade e a eficiência da gestão da manutenção.

A relação entre MTTR/TMNP, disponibilidade e consecução da carteira de ordens com a gestão de custos é direta, pois esses indicadores evidenciam diferentes impactos da manutenção sobre a operação. O MTTR/TMNP mostra o tempo de recuperação do ativo após a falha, influenciando custos ligados à indisponibilidade e à reprogramação operacional. A disponibilidade reflete o efeito desse desempenho sobre a capacidade de uso dos ativos, enquanto a consecução da carteira de ordens indica o nível de atendimento das demandas previstas e a capacidade de execução da manutenção dentro do planejado. Em conjunto, esses indicadores formam um quadro analítico importante, pois o aumento do MTTR/TMNP tende a reduzir a disponibilidade, e a baixa consecução da carteira de ordens pode comprometer a realização oportuna das intervenções, ampliando impactos operacionais e econômicos, conforme mostra a Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Comparativo anual entre TMNP, Disponibilidade e Consecução (2025)



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Nesse sentido, o PCM, ao acompanhar sistematicamente esses indicadores em sistemas como SAP e consolidá-los em painéis gerenciais por meio de ferramentas como Power BI, consegue relacionar desempenho técnico e desempenho econômico. Isso permite não apenas identificar “onde” e “quanto” se gasta, mas também porque determinados ativos ou áreas demandam mais recursos, contribuindo para decisões mais assertivas sobre priorização de intervenções, revisão de planos de manutenção, gestão de materiais e ajustes no orçamento de manutenção.

2.4 Sistemas e Tecnologias de Apoio à Gestão (SAP e Power BI)

A adoção de sistemas de informação integrados e de ferramentas de análise de dados tem ocupado papel central na gestão moderna da manutenção, especialmente quando se busca maior controle de custos, rastreabilidade de atividades e suporte à tomada de decisão. Sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) e ferramentas de Business Intelligence (BI) permitem registrar, consolidar e visualizar informações de forma estruturada, aproximando a manutenção da lógica de gestão econômico-financeira da organização (LAUDON; LAUDON, 2014; O'BRIEN; MARAKAS, 2013).

No contexto da manutenção ferroviária em ambiente industrial, plataformas como o SAP e o Power BI viabilizam o acompanhamento dos custos planejados e realizados, a análise de consumo de materiais, a visualização de indicadores de desempenho e a identificação de desvios de custo ao longo do tempo. Dessa forma, os dados deixam de estar dispersos em planilhas ou registros isolados e passam a compor uma base integrada de informação, necessária para sustentar uma cultura de decisão orientada por evidências.

2.4.1 Sistemas ERP e módulo de manutenção

Os sistemas ERP podem ser entendidos como sistemas de gestão empresarial que integram, em uma única plataforma, diferentes áreas da organização – como finanças, contabilidade, suprimentos, produção, manutenção e recursos humanos – por meio de uma base de dados única (LAUDON; LAUDON, 2014). O objetivo é reduzir a fragmentação da informação, evitar retrabalho e permitir que os processos de negócio sejam acompanhados de forma integrada, com maior consistência e rastreabilidade.

No caso da manutenção, os módulos específicos de ERP voltados a essa função permitem registrar solicitações, planejar e programar intervenções, emitir ordens de manutenção, associar recursos e contabilizar custos. No SAP, por exemplo, cada ordem de manutenção pode ser vinculada a um centro de custo, a uma classe de custo e a um conjunto de materiais utilizados, possibilitando que os gastos com peças, serviços e outros itens sejam registrados diretamente na ordem de serviço. Além disso, o sistema permite registrar tipos de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva), apontar tempos de execução e encerrar tecnicamente as ordens, gerando histórico de falhas e intervenções para cada ativo.

A utilização de um ERP no processo de manutenção ferroviária traz algumas vantagens relevantes. Em primeiro lugar, a padronização dos registros: todas as ordens de manutenção seguem um modelo comum, com campos de preenchimento definidos, o que facilita a comparação entre diferentes ativos, períodos ou áreas. Em segundo lugar, a integração com o módulo de materiais: o consumo de peças e sobressalentes em cada ordem é automaticamente debitado do estoque e registrado como custo de manutenção, permitindo acompanhar simultaneamente a movimentação física e o impacto financeiro (MARTINS, 2018; CREPALDI, 2010). Em terceiro lugar, a integração com o módulo financeiro: os custos de manutenção alimentam diretamente os relatórios contábeis e gerenciais, apoiando a elaboração de orçamentos, a análise de desvios planejado x realizado e a avaliação da rentabilidade de ativos ou unidades operacionais.

Ao registrar ordens de manutenção, centros de custo, materiais utilizados e demais informações relevantes em um sistema ERP como o SAP, a organização cria uma base de dados estruturada sobre a qual podem ser construídas análises mais detalhadas em termos de custo, confiabilidade e disponibilidade de ativos. Essa base é o insumo primário para as ferramentas de Business Intelligence, que transformam os dados operacionais em informações gerenciais de fácil interpretação.

2.4.2 Business Intelligence e análise de dados

O conceito de Business Intelligence (BI) refere-se ao conjunto de processos, tecnologias e ferramentas voltados à coleta, organização, análise e apresentação de dados, de modo a apoiar a tomada de decisões organizacionais (TURBAN et al., 2010). No contexto da manutenção, o BI permite transformar grandes volumes de dados operacionais – como ordens de serviço, registros de falhas, consumos de materiais e custos – em painéis, relatórios e indicadores que auxiliam gestores e equipes técnicas a compreenderem o comportamento dos ativos e a eficácia das políticas de manutenção adotadas.

O Power BI, desenvolvido pela Microsoft, é uma das ferramentas de BI amplamente utilizadas para consolidar dados provenientes de sistemas ERP, como o SAP, e apresentá-los em forma de dashboards interativos. Por meio de conexões diretas ou extração periódica de dados, é possível construir painéis que reúnem, em um único ambiente visual:

- Custos de manutenção por centro de custo, tipo de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva) ou classe de custo (materiais, serviços, outros);
- Comparativos entre custos planejados e realizados, por período, área ou ativo;
- Indicadores de manutenção, como MTTR/TMNP, disponibilidade de locomotivas, consecução da carteira de ordens;
- Tendências de consumo de sobressalentes e de utilização de serviços de terceiros.

Tais dashboards permitem que o gestor de manutenção e as demais áreas envolvidas (operação, suprimentos, finanças) tenham uma visão rápida e integrada da situação, facilitando a identificação de desvios relevantes, picos de custo, concentrações de falhas ou gargalos de execução. Turban et al. (2010) destacam que a principal contribuição do BI não está apenas na geração de relatórios, mas na capacidade de exploração interativa dos dados, permitindo que diferentes recortes sejam feitos em tempo real conforme as perguntas que surgem durante a análise.

No caso específico da manutenção ferroviária, o uso combinado de SAP e Power BI pode, por exemplo, evidenciar quais tipos de falha em locomotivas ou em componentes de via estão gerando maior custo, quais centros de custo apresentam maior divergência entre orçamento e execução, ou quais períodos concentram maior volume de intervenções corretivas. Essa visibilidade favorece a identificação de desvios de custo, isto é, pontos em que o gasto é elevado sem que haja, necessariamente, um ganho proporcional em confiabilidade ou disponibilidade de ativos.

Além da função técnica, ferramentas como o Power BI contribuem para fortalecer uma cultura de dados na manutenção. Ao tornar a informação mais acessível e visual, os dashboards

deixam de ser usados apenas por analistas especializados e passam a integrar rotinas de reuniões, discussões de prioridades e revisões de planos de manutenção. Isso favorece a transparência na gestão de custos, amplia o envolvimento das equipes com os resultados e permite que decisões sobre investimentos, mudanças de estratégia (por exemplo, aumento de preventivas em determinado sistema) e ajustes de orçamento sejam tomadas com base em evidências concretas.

Assim, os sistemas ERP e as ferramentas de Business Intelligence não são apenas recursos tecnológicos, mas componentes estruturantes da gestão moderna da manutenção. Ao integrar registro, consolidação e visualização de dados, SAP e Power BI viabilizam uma abordagem mais analítica da gestão de custos de manutenção ferroviária, alinhando o controle econômico com os objetivos de confiabilidade e disponibilidade dos ativos.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo e abordagem da pesquisa

Quanto à natureza, a pesquisa é aplicada. Quanto à abordagem, caracteriza-se como qualitativa, com apoio quantitativo complementar, pois busca gerar conhecimentos voltados à compreensão de uma situação prática específica, com potencial de contribuir para o aprimoramento da gestão de custos da manutenção ferroviária em ambiente siderúrgico. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa aplicada tem como característica principal o interesse na utilização prática do conhecimento, direcionando-se à solução de problemas concretos.

Quanto aos objetivos, a pesquisa possui caráter descritivo e exploratório. É descritiva porque busca expor e organizar informações sobre os procedimentos relacionados à manutenção ferroviária, especialmente no que se refere à manutenção preventiva e corretiva, ao fluxo das atividades da equipe e aos elementos que compõem a gestão de custos nesse contexto. Segundo Gil (2002), a pesquisa exploratória é adequada quando o objetivo é proporcionar maior entendimento sobre determinado fenômeno, tornando-o mais explícito e passível de investigação sistemática.

No que se refere aos procedimentos técnicos, a pesquisa caracteriza-se como estudo de caso, desenvolvido a partir da observação de uma empresa específica inserida no contexto da manutenção ferroviária em ambiente siderúrgico. Yin (2015) define o estudo de caso como uma estratégia metodológica apropriada para investigar fenômenos contemporâneos em profundidade, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Essa escolha se mostra adequada ao presente trabalho, uma vez que a análise da gestão de custos da manutenção ferroviária depende da compreensão articulada entre processos operacionais, práticas de manutenção, uso de sistemas de apoio e dinâmica organizacional.

Conforme Vergara (2016), a abordagem qualitativa busca compreender fenômenos em profundidade, considerando suas particularidades, relações e significados no ambiente em que ocorrem. Já a dimensão quantitativa aparece de maneira complementar, por meio do uso pontual de informações numéricas extraídas de registros disponíveis, especialmente consultas ao SAP, com a finalidade de apoiar a descrição dos processos e reforçar a análise desenvolvida, sem constituir o eixo central da metodologia.

3.2 Estratégia de pesquisa: estudo de caso em ambiente siderúrgico

A estratégia metodológica adotada neste trabalho foi o estudo de caso, desenvolvido a partir da observação e análise de uma empresa do setor siderúrgico que utiliza sistema ferroviário interno como apoio às suas operações.

A opção pelo estudo de caso justifica-se, ainda, por três razões principais. A primeira refere-se à possibilidade de realizar uma análise aprofundada de uma realidade específica, permitindo compreender de forma mais detalhada os procedimentos envolvidos na manutenção ferroviária e sua relação com a gestão de custos. A segunda razão está relacionada à inserção da pesquisadora no contexto estudado, o que possibilitou contato direto com os processos observados e favoreceu uma compreensão mais detalhada do fluxo de trabalho da equipe de manutenção, assim como dos elementos que interferem na execução das atividades preventivas e corretivas. A terceira razão diz respeito à possibilidade de articular teoria e prática, relacionando os conceitos discutidos no referencial teórico à realidade observada no ambiente organizacional estudado.

No caso em análise, o foco recai sobre o sistema ferroviário interno da empresa, entendido de forma geral como parte da estrutura de apoio logístico utilizada para atender às necessidades operacionais da usina. Esse sistema envolve ativos essenciais à movimentação interna e ao suporte das atividades produtivas, destacando-se, neste estudo, as locomotivas. A escolha desses ativos está relacionada à sua relevância para o funcionamento do sistema ferroviário interno e à sua inserção no conjunto de atividades de manutenção observadas ao longo do período analisado.

O recorte temporal considerado compreende o ano de 2025, definido como período efetivamente analisado para fins de observação dos procedimentos de manutenção e consulta pontual a registros disponíveis no sistema de gestão utilizado pela empresa. Embora o trabalho não tenha como eixo central a exploração extensiva de indicadores ou grande volume de dados, esse período serve como base para contextualizar a análise e apoiar, quando necessário, a descrição de aspectos relacionados às ordens de manutenção, aos custos e às atividades desenvolvidas pela equipe.

Quanto aos limites do estudo, é importante destacar que a pesquisa se restringe à manutenção ferroviária, não abrangendo a totalidade das atividades de manutenção da usina, sem aprofundar todos os indicadores de manutenção existentes, utilizando apenas as informações estritamente necessárias para sustentar a análise proposta.

Por fim, destaca-se que a realização deste estudo de caso foi favorecida pela observação direta da rotina da manutenção, o que permitiu maior proximidade com os procedimentos

analisados e maior aderência entre a discussão teórica e a prática organizacional observada. Essa característica reforça a pertinência do estudo de caso como estratégia metodológica para o desenvolvimento deste trabalho.

3.2.1 Dados secundários

Os dados secundários utilizados na pesquisa foram obtidos a partir de fontes internas de apoio à gestão da manutenção, empregadas com finalidade de contextualização e suporte à análise desenvolvida. Entre essas fontes, destacam-se os registros consultados no SAP, especialmente relacionados a ordens de manutenção, centros de custo e classes de custo, utilizados como base para compreender a organização das atividades e a forma como determinados gastos e intervenções são registrados no sistema.

Também foram utilizados relatórios administrativos e dashboards em Power BI, principalmente para fins de visualização das informações e de comparação entre valores planejados e realizados, contribuindo para a compreensão geral dos custos e do acompanhamento gerencial da manutenção. Além disso, foram considerados, de forma complementar, procedimentos internos, plano de manutenção e padrões de operação, empregados como apoio à caracterização dos processos observados.

Cabe destacar que o uso desses dados secundários ocorreu de forma pontual e orientada pelos objetivos do trabalho, sem aprofundamento em bases extensas ou tratamento estatístico complexo, uma vez que a proposta metodológica privilegia a compreensão dos processos e da gestão de custos em uma realidade organizacional específica.

3.2.2 Dados primários

Além dos dados secundários, a pesquisa apoiou-se na observação direta do processo de manutenção no dia a dia, realizada pela própria autora no contexto de sua vivência profissional. Essa observação permitiu acompanhar o fluxo das atividades de manutenção ferroviária, identificar a dinâmica entre manutenção preventiva e corretiva, perceber dificuldades práticas da rotina e compreender a interação entre manutenção, operação e áreas de apoio.

De forma complementar, a pesquisa previu a coleta de percepções de profissionais da área, com o objetivo de reunir visões sucintas sobre a manutenção ferroviária, seus principais problemas e possibilidades de melhoria. Para isso, foi elaborado um conjunto breve de perguntas orientadoras, apresentado a seguir:

1. Como você percebe a rotina da manutenção ferroviária no contexto da empresa?
2. Quais são os principais problemas que você identifica na execução da manutenção, especialmente em atividades preventivas e corretivas?

3. Na sua visão, quais fatores mais impactam os custos e a eficiência da manutenção ferroviária?

4. Quais melhorias você considera mais importantes para reduzir problemas e aprimorar os resultados da manutenção?

As respostas obtidas a partir dessas percepções não são discutidas neste item metodológico, sendo consideradas posteriormente no estudo de caso, em articulação com a observação direta e com os referenciais teóricos adotados.

3.3 Tratamento e análise dos dados

3.3.1 Organização dos dados

A organização dos dados foi realizada de forma simples e orientada pelos objetivos do estudo, buscando estruturar as informações necessárias para compreender os procedimentos da manutenção ferroviária e sua relação com a gestão de custos. Considerando o recorte metodológico adotado, não se pretendeu desenvolver tratamento estatístico aprofundado, mas sim consolidar e interpretar dados de maneira funcional, de modo a apoiar a análise qualitativa e quantitativa proposta.

Inicialmente, as informações consultadas foram organizadas a partir de registros disponíveis nos sistemas SAP e Power BI, utilizados como fontes de apoio para identificação e leitura dos dados relacionados à manutenção ferroviária. Essa organização teve como foco principal a consolidação das ordens de manutenção por tipo de intervenção, com ênfase nas manutenções preventiva e corretiva, por serem as modalidades mais diretamente relacionadas à proposta do trabalho e à rotina observada no contexto estudado.

Além disso, os dados foram agrupados segundo classes gerais de gasto, buscando facilitar a visualização dos principais componentes da manutenção. Para essa finalidade, consideraram-se três agrupamentos principais: manutenção externa, materiais de manutenção e outros gastos de manutenção. Essa categorização teve como objetivo permitir uma leitura mais clara da composição dos custos, sem aprofundar excessivamente o detalhamento contábil ou a estrutura interna das bases consultadas.

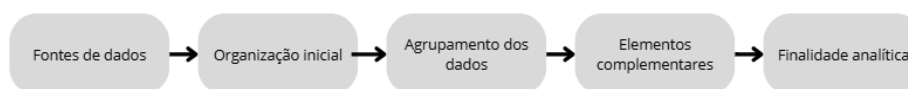
A categoria de manutenção externa contempla reparos realizados fora da estrutura interna da usina, normalmente associados a fornecedores especializados ou oficinas externas. Já os materiais de manutenção compreendem os itens consumidos nas intervenções, vinculados à execução dos reparos. Por fim, os outros gastos de manutenção reúnem despesas complementares que, embora não se enquadrem diretamente nas duas classes anteriores, participam da composição do custo total das intervenções.

Também foram considerados, de forma complementar, alguns elementos de apoio à análise, como o custo por tipo de manutenção e o TMNP (tempo de manutenção não planejada), utilizados como referências para compreender a relação entre a ocorrência de intervenções corretivas, o tempo de indisponibilidade e os impactos sobre a gestão de custos. Esses dados não foram tratados como eixo central do trabalho, mas sim como suporte à interpretação dos procedimentos observados e das dificuldades identificadas na rotina da manutenção ferroviária.

A organização dos dados, portanto, não teve finalidade meramente numérica, mas serviu como base para a articulação entre os registros disponíveis nos sistemas e a observação direta da rotina da manutenção. Dessa forma, os dados estruturados contribuíram para identificar padrões gerais, apoiar a descrição do processo de manutenção preventiva e corretiva e fornecer subsídios para a análise dos problemas, gargalos e impactos percebidos na gestão de custos da manutenção ferroviária.

Para facilitar a compreensão das etapas de tratamento dos dados, a Figura 2 apresenta, de forma sintética, o fluxo de organização das informações utilizadas na pesquisa, desde as fontes consultadas até sua utilização como suporte à análise.

Figura 2 - Fluxo de organização dos dados da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

3.3.2 Critérios de análise

Foram definidos dois eixos principais de análise: a comparação entre valores planejados e realizados (identificação de divergências) e a análise SWOT da gestão de custos da manutenção ferroviária.

O primeiro critério considerou a comparação entre custos planejados e realizados, com o objetivo de verificar como os gastos efetivos se comportaram em relação ao que havia sido previsto. Essa comparação foi utilizada não apenas em nível geral, mas também de forma mais detalhada, observando a distribuição dos custos por tipo de manutenção e por categorias de gasto, a fim de identificar em quais pontos ocorreram os principais desvios. Conforme Martins (2018) e Bornia (2010), a análise entre valores orçados e executados constitui um instrumento importante de controle gerencial, pois permite avaliar a aderência entre planejamento e execução e fornece subsídios para revisão de práticas de gestão.

Como segundo critério, foi adotada a análise SWOT como ferramenta auxiliar de interpretação da gestão de custos da manutenção ferroviária. Segundo Kotler e Keller (2012), a análise SWOT permite examinar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças relacionadas a determinado processo ou contexto organizacional, contribuindo para uma leitura estruturada dos fatores internos e externos que influenciam seu desempenho. Neste trabalho, a SWOT foi empregada de forma geral, com a finalidade de sintetizar aspectos positivos e limitações da gestão de custos observada, bem como identificar possibilidades de melhoria e riscos associados à manutenção ferroviária no ambiente estudado.

A aplicação desses critérios ocorreu com base nas informações consultadas nos sistemas SAP e Power BI, que forneceram suporte para a observação dos registros de manutenção, dos agrupamentos de custos e das comparações entre planejado e realizado. Dessa forma, os critérios definidos contribuíram para orientar a análise de maneira coerente com os objetivos da pesquisa, permitindo relacionar os dados disponíveis aos problemas práticos da manutenção ferroviária e às discussões teóricas apresentadas no referencial do trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização da empresa e do sistema ferroviário

4.1.1 Visão geral da usina siderúrgica

O presente estudo foi desenvolvido em uma empresa de grande porte do setor siderúrgico, cuja operação conta com estrutura logística interna apoiada por malha ferroviária própria, com aproximadamente 107 km de extensão. Em termos gerais, trata-se de um ambiente industrial no qual a movimentação de materiais entre diferentes áreas operacionais é parte essencial do funcionamento da planta, exigindo articulação entre produção, transporte interno e manutenção.

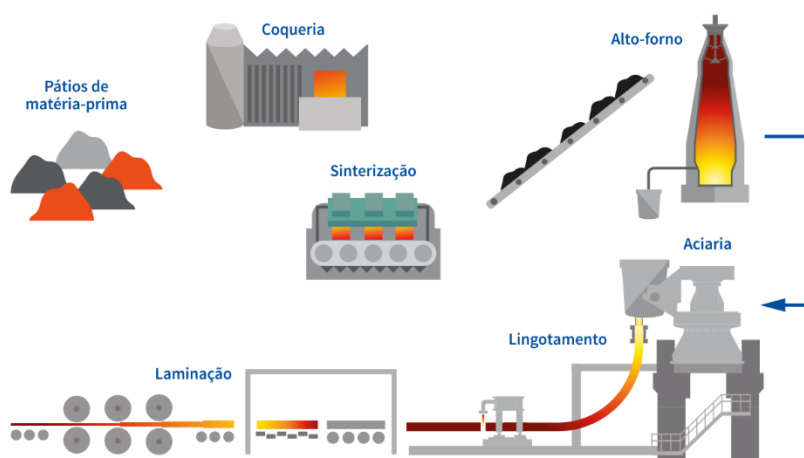
De forma ampla, o processo produtivo envolve a circulação de materiais e insumos vinculados à atividade siderúrgica, com destaque para produtos como tiras a quente, bobinas a quente, perfis, fio-máquina e chapas grossas, além de outros elementos necessários ao fluxo operacional da usina. Nesse contexto, a logística interna assume papel relevante para assegurar a continuidade das atividades e o atendimento às demandas das diferentes etapas do processo produtivo.

Embora este trabalho não tenha como objetivo detalhar tecnicamente a operação produtiva da empresa, é importante destacar que a existência de um sistema ferroviário interno está diretamente relacionada à necessidade de conexão entre áreas operacionais e à movimentação segura e contínua de materiais. Assim, a análise da manutenção ferroviária e de seus custos deve ser compreendida dentro dessa dinâmica, em que o desempenho dos ativos impacta o suporte logístico da usina.

4.1.2 Sistema ferroviário interno

O sistema ferroviário interno da empresa é composto, neste estudo, principalmente por locomotivas, carros torpedos, passagens de nível e via permanente, ativos que desempenham funções relevantes na movimentação e no suporte à operação interna da usina. As principais etapas do processo siderúrgico, que demandam suporte logístico interno, estão representadas na Figura 3.

Figura 3 – Representação esquemática das principais etapas do processo siderúrgico



Fonte: Vika Controls (2026).

As locomotivas são utilizadas de forma geral nas atividades de deslocamento e apoio ao fluxo ferroviário interno, contribuindo para a movimentação entre diferentes pontos da planta. Os carros torpedos, por sua vez, são empregados no transporte interno de materiais em alta temperatura, desempenhando papel específico dentro da dinâmica siderúrgica. Já as passagens de nível integram a infraestrutura de circulação e representam elementos importantes para a interação entre o tráfego ferroviário e outras áreas de circulação interna. A via permanente, por sua vez, corresponde à infraestrutura fixa de circulação ferroviária, abrangendo trilhos e demais componentes associados ao seu funcionamento. Sua manutenção envolve, de forma geral, atividades de inspeção, limpeza, lubrificação e conservação, contribuindo para a segurança da circulação e para o adequado desempenho do sistema ferroviário interno.

De maneira geral, esse sistema ferroviário exerce função de conexão entre áreas operacionais, permitindo que materiais, insumos e cargas associadas ao processo produtivo sejam movimentados de forma compatível com as necessidades da usina. Por essa razão, a disponibilidade e o adequado funcionamento desses ativos são fatores relevantes para a continuidade da logística interna.

Nesse cenário, a manutenção ferroviária assume importância estratégica, uma vez que falhas, atrasos ou indisponibilidades podem afetar o fluxo operacional e ampliar impactos sobre custos, tempo de resposta e suporte à produção. Dessa forma, a caracterização da empresa e de

seu sistema ferroviário constitui ponto de partida para a análise dos resultados e discussões desenvolvidos nos tópicos seguintes.

4.2 Processo de manutenção ferroviária na empresa

4.2.1 Estrutura organizacional da manutenção ferroviária

A manutenção ferroviária na empresa estudada está estruturada a partir da atuação de equipes de execução em campo e da oficina de locomotivas, contemplando atividades relacionadas à manutenção mecânica e elétrica. Essa organização permite atender diferentes tipos de demanda associados aos ativos ferroviários, considerando tanto intervenções corretivas quanto preventivas, de acordo com a natureza da falha, a criticidade do equipamento e a disponibilidade operacional.

No plano organizacional, a execução das atividades de manutenção depende da articulação entre a equipe técnica responsável pelas intervenções e os agentes envolvidos no planejamento e controle das ordens. Nesse contexto, destaca-se a participação do PCM, cujo papel na manutenção ferroviária se manifesta principalmente na gestão das ordens de reparo interno, realizadas dentro da oficina central da usina, e das ordens de reparo externo, conduzidas com fornecedores externos. Além disso, o PCM também apoia o processo ao informar o momento em que os custos das ordens serão debitados, contribuindo para a visibilidade dos impactos financeiros das intervenções realizadas.

A interação com a operação representa outro elemento relevante da estrutura organizacional observada. De forma geral, a operação participa ativamente do processo ao abrir demandas, sinalizar falhas e negociar janelas de parada para que as intervenções possam ser executadas. Essa relação é importante porque a manutenção ferroviária está inserida em um sistema logístico interno que depende da disponibilidade dos ativos para sustentar a movimentação entre áreas operacionais da usina. Assim, a definição do momento de parada e a priorização das atividades precisam considerar não apenas a necessidade técnica do reparo, mas também os impactos sobre o fluxo operacional.

Também integram essa estrutura os fornecedores externos, que assumem papel relevante em situações de manutenção externa, reparo de componentes e fornecimento de peças e sobressalentes. A participação desses agentes amplia a complexidade da gestão da manutenção, uma vez que adiciona variáveis relacionadas a prazo, qualidade de serviço, disponibilidade de material e custo. Nesse sentido, a estrutura organizacional da manutenção ferroviária observada não se restringe à equipe interna de execução, mas envolve uma rede de interação entre

manutenção, operação, planejamento e fornecedores, cuja coordenação influencia diretamente o desempenho técnico e econômico do processo.

4.2.2 Fluxo de trabalho

O fluxo de trabalho da manutenção ferroviária na empresa inicia-se a partir do surgimento de uma necessidade de intervenção, que pode decorrer de falha identificada na operação, de demanda corretiva observada em inspeção ou de necessidade previamente reconhecida no contexto da manutenção. A partir dessa identificação, é aberta uma ordem ou notificação, que formaliza a demanda e permite o registro inicial da ocorrência no sistema utilizado pela empresa.

Após a abertura, o processo passa por uma etapa de verificação e programação. Nesse ponto, o inspetor avalia a situação identificada, enquanto o programador insere a atividade na programação, considerando a natureza da intervenção, a prioridade da demanda e a viabilidade operacional da execução. Essa etapa é importante porque representa o momento em que a necessidade técnica passa a ser tratada de forma organizada, articulando recursos, tempo e disponibilidade do ativo.

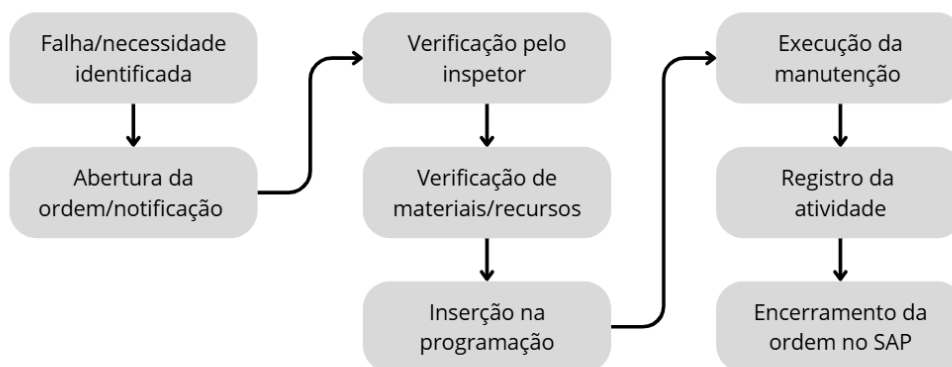
Na sequência, verifica-se a disponibilidade de materiais e recursos necessários para a realização da manutenção. Essa etapa é especialmente relevante em um contexto no qual parte das intervenções depende de peças, componentes ou até mesmo de reparos externos. A indisponibilidade de materiais ou sobressalentes pode impactar diretamente o prazo de execução, ampliar o tempo de manutenção não planejada e contribuir para o aumento de custos.

Superada essa verificação, a manutenção é então executada pela equipe responsável, conforme a natureza da intervenção e o tipo de ativo envolvido. Após a execução, registra-se no sistema o que foi realizado, contemplando informações associadas ao tipo de manutenção, centro de custo, classe de custo, materiais utilizados, serviços externos eventualmente mobilizados, descrição da atividade executada, tempo ou parada associada e status da ordem. Por fim, no caso das manutenções corretivas, a ordem é encerrada no SAP, concluindo formalmente o fluxo da intervenção.

Nesse processo, o SAP exerce função relevante como ferramenta de registro e controle, além de apoiar a rastreabilidade das ordens e dos custos. Ao permitir o acompanhamento das etapas da manutenção e o vínculo entre ordens, centros de custo e classes de despesa, o sistema contribui para a organização das informações e para a posterior análise gerencial. Sob uma perspectiva analítica, observa-se que o fluxo de trabalho da manutenção ferroviária não envolve

apenas a execução técnica do reparo, mas também um conjunto de decisões e registros que influenciam diretamente a previsibilidade, a disponibilidade dos ativos e a qualidade do controle de custos, conforme demonstrado na Figura 4 abaixo.

Figura 4 - Fluxo simplificado da ordem de manutenção ferroviária na empresa



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.3 Panorama da gestão de custos de manutenção ferroviária

4.3.1 Estrutura de centros de custo e classes de despesa

A gestão de custos da manutenção ferroviária na empresa está organizada a partir de uma estrutura formal de centros de custo e classes de despesa, que permite registrar, acompanhar e interpretar os gastos associados às intervenções realizadas. Em termos gerenciais, os centros de custo funcionam como unidades de acumulação e controle, às quais os valores das atividades executadas são vinculados, possibilitando a comparação entre o planejamento orçamentário e os gastos efetivamente realizados ao longo do período.

No contexto estudado, os custos de manutenção são registrados por meio das ordens de manutenção, que se vinculam a centros de custo e classes de custo no SAP. Essa estrutura favorece a rastreabilidade dos gastos e permite que as intervenções sejam analisadas não apenas sob a ótica técnica, mas também sob a ótica econômico-financeira. A utilização dessa lógica de registro é importante porque fornece maior visibilidade sobre onde os recursos estão sendo consumidos e em que tipo de despesa eles se concentram.

Para fins de análise neste trabalho, conforme apresentado na metodologia, as classes de custo foram agrupadas em três categorias principais: manutenção externa, materiais de manutenção e outros gastos de manutenção.

Do ponto de vista analítico, essa estrutura de centros de custo e classes de custo permite identificar com maior clareza a origem dos gastos e os pontos em que o processo de manutenção pode apresentar maior pressão financeira. Além disso, o registro dessas informações no SAP favorece a comparação entre ordens, tipos de manutenção e ativos, servindo como base para a análise dos desvios, dos custos planejados e realizados e dos chamados “furos de custo” discutidos posteriormente. Abaixo, apresenta-se o Quadro 1 que reúne estas informações.

Quadro 1 - Estrutura de classificação dos custos da manutenção ferroviária

Classe de custo	Descrição	Exemplo de aplicação
Manutenção externa	Reparos executados por fornecedores/oficinas externas	Recuperação de componente fora da usina
Materiais de manutenção	Materiais consumidos nas intervenções	Peças, insumos e itens aplicados no reparo
Outros gastos de manutenção	Demais despesas associadas à manutenção	Gastos complementares vinculados à ordem

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

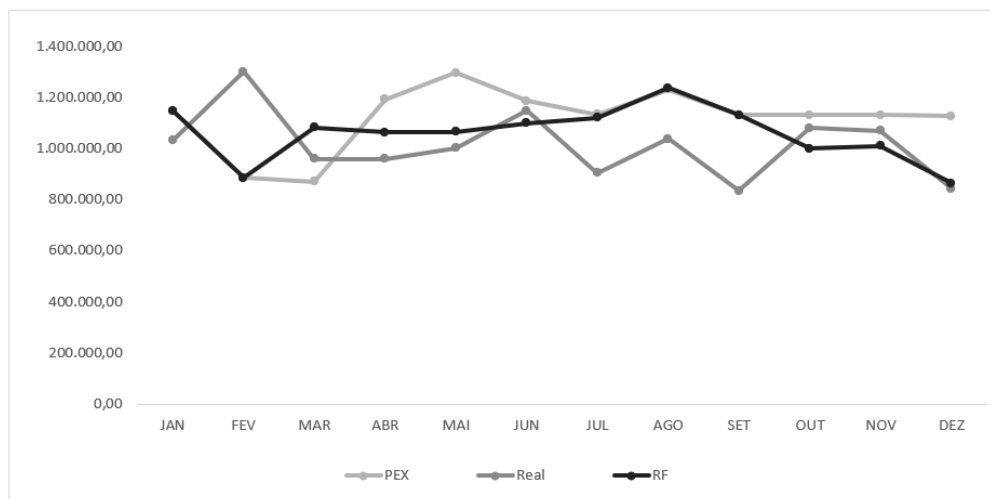
4.3.2 Análise temporal do estudo

Para a análise do perfil histórico dos gastos da manutenção ferroviária no ano de 2025, adotaram-se dois recortes principais, alinhados à forma como o acompanhamento é realizado no contexto estudado. O primeiro refere-se à comparação entre Planejado (PEX), Rolling Forecast (RF) e Real, permitindo observar a evolução do comportamento orçamentário ao longo do ano. O segundo considera o agrupamento por classe de custo, com o objetivo de identificar como os gastos se distribuem entre as principais naturezas de despesa da manutenção ferroviária.

O PEX representa o valor inicialmente planejado para o período, funcionando como base orçamentária de referência. O Rolling Forecast (RF) corresponde à revisão dessa previsão ao longo da execução, incorporando mudanças de cenário e ajustes decorrentes do comportamento efetivo dos custos. Já o valor Real expressa o gasto efetivamente realizado no período. A comparação entre esses três elementos é relevante porque permite analisar não apenas o desvio final entre o previsto e o executado, mas também a capacidade de adaptação do planejamento diante das necessidades que surgem ao longo da operação.

Nesse sentido, a leitura conjunta de PEX, RF e Real permite verificar se o orçamento inicial se mostrou aderente à realidade da manutenção ferroviária, se houve necessidade de revisão significativa ao longo do ano e se o custo efetivamente realizado acompanhou ou superou as expectativas anteriormente estabelecidas. Mais do que uma simples comparação numérica, esse recorte oferece uma visão sobre o nível de previsibilidade da gestão de custos e sobre a necessidade de ajustes no processo orçamentário da manutenção, conforme Figura 5, a seguir.

Figura 5 - Comparativo anual entre PEX, RF e Real da manutenção ferroviária (2025)



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Observa-se que o valor real apresentou comportamento oscilante ao longo de 2025, alternando meses em que ficou acima, abaixo ou próximo do valor inicialmente planejado (PEX). Em alguns períodos, como fevereiro, março e dezembro, o custo real se distanciou de forma mais evidente do planejado, enquanto em outros meses, como junho, outubro e novembro, houve maior proximidade entre os valores. Esse comportamento mostra que o

planejamento inicial não se manteve totalmente aderente à execução ao longo de todo o ano, evidenciando variações importantes no custo da manutenção ferroviária.

Em relação ao Rolling Forecast (RF), verifica-se que, em boa parte dos meses, ele representou uma aproximação mais realista em relação ao custo final quando comparado ao PEX, sobretudo por incorporar revisões ao longo da execução orçamentária. Em alguns momentos, como janeiro, junho, julho, agosto e setembro, o RF se posicionou mais próximo do valor real, sugerindo maior capacidade de ajuste frente às oscilações observadas. Ainda assim, essa aderência não ocorreu de forma uniforme em todo o período, o que indica que, embora o forecast tenha contribuído para refinar a leitura dos custos, ele também esteve sujeito a limitações de precisão em determinados meses.

A Figura 5 também sugere que houve necessidade de ajustes expressivos ao longo do ano, especialmente nos meses em que a distância entre o PEX e o RF se ampliou. Esse movimento indica que o orçamento inicial precisou ser revisto para refletir melhor o comportamento efetivo dos gastos, o que pode estar relacionado à ocorrência de eventos não previstos, alterações na demanda de manutenção ou mudanças nas condições operacionais da área ferroviária.

De modo geral, esse comportamento sugere que a previsibilidade dos custos da manutenção ferroviária é moderada, isto é, existe algum grau de capacidade de planejamento, mas também uma influência relevante de fatores que provocam variações ao longo do período. A necessidade de revisões no forecast e a oscilação do custo real em relação ao planejado indicam que a gestão da manutenção ferroviária convive com certo nível de instabilidade orçamentária, o que reforça a importância do acompanhamento contínuo dos custos e da atualização das previsões ao longo do ano.

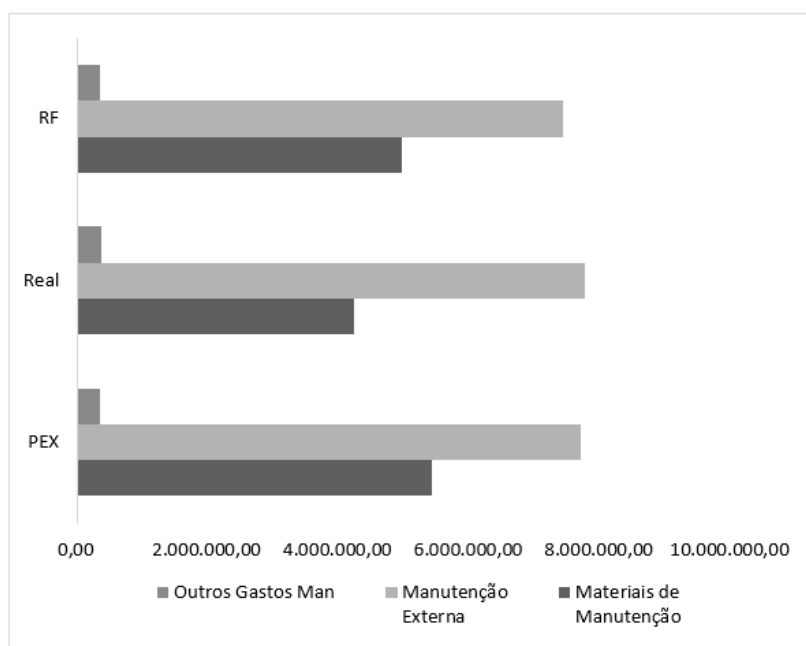
Além da leitura orçamentária geral, o perfil histórico dos gastos também foi analisado a partir do agrupamento por classe de custo, considerando as categorias de manutenção externa, materiais de manutenção e outros gastos de manutenção. Esse recorte permite identificar como o custo total da manutenção ferroviária se distribui entre diferentes naturezas de despesa, oferecendo maior clareza sobre os pontos de maior concentração de gasto no período analisado.

A categoria de manutenção externa compreende os custos associados a reparos realizados fora da estrutura interna da empresa, geralmente vinculados à atuação de fornecedores especializados. Já os materiais de manutenção abrangem os itens consumidos nas intervenções realizadas. Por sua vez, os outros gastos de manutenção reúnem despesas

complementares relacionadas ao processo de manutenção, compondo de forma agregada a estrutura de custos observada no período.

A análise por agrupamento de classe de custo, como mostra a Figura 6, é importante porque permite compreender de forma mais precisa a composição dos gastos anuais da manutenção ferroviária. Sob a ótica gerencial, esse tipo de visualização contribui para identificar quais categorias exercem maior pressão sobre o orçamento e quais podem demandar maior atenção em termos de controle, acompanhamento e revisão de planejamento.

Figura 6 - Distribuição anual dos gastos da manutenção ferroviária por agrupamento de classe de custo (2025)



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Observa-se que o agrupamento Manutenção Externa concentrou a maior parcela do gasto nos três cenários apresentados (PEX, Real e Rolling), configurando-se como o principal componente do custo da manutenção ferroviária no período analisado. Em seguida, aparecem os Materiais de Manutenção, com participação também relevante, porém inferior àquela observada para os gastos com manutenção externa. Já a categoria Outros Gastos de Manutenção apresenta participação bastante reduzida em comparação às demais, funcionando como parcela complementar da composição total dos custos.

Esse comportamento evidencia uma predominância de custos externos, em detrimento do consumo de materiais e, principalmente, das despesas complementares. Tal configuração sugere que a dinâmica da manutenção ferroviária no período esteve fortemente associada à necessidade de serviços realizados fora da estrutura interna da empresa, o que pode estar relacionado à dependência de fornecedores especializados, ao envio de componentes para reparo externo ou à contratação de serviços específicos que não são integralmente absorvidos pela estrutura própria da manutenção.

A participação também expressiva dos Materiais de Manutenção indica que o consumo de peças, componentes e insumos representa parcela importante da composição do custo total, ainda que em menor magnitude que a manutenção externa. Isso reforça que a manutenção ferroviária, além de depender de serviços especializados, exige suporte constante de materiais para execução das intervenções e recomposição da condição operacional dos ativos.

Do ponto de vista analítico, esse perfil de distribuição pode indicar que a manutenção ferroviária no período apresentou uma dinâmica marcada por forte dependência de recursos externos, possivelmente associada à complexidade dos reparos, à necessidade de suporte técnico especializado ou à limitação de execução integral de determinadas intervenções dentro da própria empresa. Também sugere que os custos não estão concentrados apenas na execução interna da manutenção, mas em uma combinação entre serviços contratados e consumo de materiais, o que amplia a necessidade de coordenação entre planejamento, suprimentos e controle de ordens.

Em termos de previsibilidade e controle, as classes que parecem demandar maior atenção são, principalmente, Manutenção Externa e Materiais de Manutenção. A primeira, por representar a maior fatia do custo total e por estar mais sujeita a variações de prazo, escopo e valores relacionados a fornecedores. A segunda, por envolver consumo recorrente de itens necessários às intervenções e depender de gestão adequada de estoque, reposição e planejamento de uso. Já a categoria Outros Gastos de Manutenção, embora menos representativa em valor, também merece acompanhamento, sobretudo para evitar que despesas agregadas e pouco detalhadas dificultem a leitura gerencial da composição dos custos.

4.4 Análise de divergências entre custos planejados e realizados

A análise das divergências entre custos planejados e realizados na manutenção ferroviária permite compreender que os desvios orçamentários não decorrem apenas de diferenças numéricas entre previsão e execução, mas de condições operacionais e

organizacionais que interferem diretamente no comportamento do custo ao longo do período. À luz dos gráficos anteriormente apresentados, a necessidade de revisão entre PEX, Rolling Forecast e Real, bem como a concentração dos gastos em determinadas classes de custo, sugere que o processo de manutenção ferroviária está exposto a fatores que reduzem a previsibilidade e exigem ajustes contínuos no acompanhamento orçamentário.

No contexto analisado, observou-se que essas divergências se associam principalmente a limitações de abastecimento de materiais, atrasos vinculados a fornecedores, ocorrência de reparos repetitivos e tempos de parada superiores ao inicialmente previsto. Tais fatores não atuam de forma isolada; ao contrário, tendem a se reforçar mutuamente, ampliando impactos sobre custos, disponibilidade dos ativos e suporte logístico à operação da usina.

4.4.1 Principais fatores que geram desvios

Entre os fatores efetivamente observados, destaca-se a falta de materiais e de itens em estoque, associada, sobretudo, ao atraso de reposição por parte de suprimentos. Ainda que a necessidade de manutenção seja identificada e a ordem seja formalmente aberta, a indisponibilidade de materiais pode retardar a execução da intervenção e prolongar o tempo de permanência do ativo em condição de espera. Esse aspecto se mostra particularmente relevante quando se trata de itens importantes para a manutenção ferroviária, como filtros de locomotivas, carcaças, retentores, chapas especiais, compressores, geradores e motores diesel, por exemplo. A ausência ou demora na reposição desses componentes tende a comprometer o andamento da manutenção e a gerar repercussões diretas sobre custo e prazo.

Outro fator de grande relevância refere-se aos atrasos de fornecedores, apontados no contexto estudado como o elemento de maior peso entre os geradores de desvio. Esses atrasos afetam tanto a entrega de peças e sobressalentes quanto o retorno de componentes enviados para reparo externo, impactando a continuidade do fluxo de manutenção. Quando a execução de determinada intervenção depende da chegada de material ou da devolução de um componente reparado, a manutenção deixa de seguir o ritmo originalmente previsto e passa a depender de variáveis externas à equipe interna. Esse comportamento tende a ampliar a distância entre o valor planejado e o realizado, sobretudo quando a postergação da atividade provoca reprogramações, aumento de tempo parado ou necessidade de soluções alternativas.

Também se observam reparos repetitivos como fator de pressão sobre os custos. Nesse caso, os desvios não decorrem apenas da repetição da intervenção em si, mas da combinação entre falhas recorrentes no mesmo ativo, soluções paliativas, dificuldade de atuação sobre a

causa raiz, qualidade variável dos reparos e, adicionalmente, da presença de maquinário muito antigo, que tende a demandar maior frequência de intervenção. Esse conjunto de fatores reduz a efetividade do gasto em manutenção, pois recursos são mobilizados reiteradamente para lidar com problemas que não são eliminados de forma definitiva. Sob a ótica gerencial, esse comportamento compromete a previsibilidade do orçamento e pode contribuir para o aumento de custos corretivos e da dependência de manutenção externa.

Além disso, os tempos de parada maiores que o previsto configuram outro fator importante de desvio. No caso analisado, esse prolongamento está associado principalmente à espera por material, ao atraso de fornecedor e à necessidade de reprogramação com a operação. Em termos práticos, isso significa que uma intervenção originalmente pensada para determinado intervalo pode se estender devido à indisponibilidade de recursos, à postergação de etapas ou à dificuldade de conciliar a manutenção com a dinâmica operacional da usina. Como consequência, o custo deixa de refletir apenas a atividade técnica executada e passa a incorporar também ineficiências de tempo, espera e reorganização do processo.

A partir dessa leitura, percebe-se que os desvios entre planejado e realizado não podem ser atribuídos exclusivamente a falhas no orçamento inicial. Em muitos casos, eles refletem condicionantes práticas da manutenção ferroviária, relacionadas à articulação entre suprimentos, fornecedores, operação e execução técnica. Isso ajuda a explicar por que, nos gráficos anteriores, houve necessidade de revisão do forecast ao longo do ano e porque determinadas classes de custo apresentaram comportamento de maior pressão sobre o orçamento.

4.4.2 Impactos na operação

Os fatores que geram divergências entre custos planejados e realizados também produzem impactos relevantes sobre a operação, especialmente no que se refere à disponibilidade dos ativos ferroviários, ao aumento do TMNP e à repercussão sobre outras áreas da usina. No contexto analisado, esses efeitos se manifestam de forma mais evidente sobre locomotivas e carros torpedos, ativos cuja indisponibilidade tende a comprometer o funcionamento do sistema ferroviário interno e, conseqüentemente, a dinâmica logística da planta.

A perda de disponibilidade constitui um dos efeitos mais imediatos desse processo. Quando a manutenção é retardada por falta de material, atraso de fornecedor ou prolongamento da parada, o ativo permanece mais tempo fora de condição operacional. Em termos práticos,

isso reduz a capacidade de resposta da manutenção e limita a disponibilidade de locomotivas e carros torpedos para atender às demandas da operação. Esse cenário pode sugerir que parte dos desvios de custo observados está associada não apenas ao valor direto da manutenção, mas também ao impacto indireto da indisponibilidade sobre o sistema como um todo.

Nesse mesmo sentido, o TMNP (tempo de manutenção não planejada) aparece simultaneamente como indicador relevante de indisponibilidade e como consequência direta dos desvios observados. Quando falhas corretivas se acumulam, materiais não chegam no prazo ou a reprogramação com a operação se prolonga, o tempo não planejado de manutenção tende a aumentar. Assim, o TMNP não apenas evidencia o impacto operacional da falha, mas também ajuda a traduzir, em termos de tempo, parte da dificuldade de previsibilidade e controle dos custos da manutenção ferroviária.

As repercussões desses desvios não se restringem ao ativo individualmente considerado. Observa-se que eles podem gerar atraso na movimentação interna, necessidade de reprogramação operacional, espera entre áreas e impactos sobre o fluxo logístico da usina. Em um ambiente siderúrgico com logística interna apoiada por ferrovia, a indisponibilidade de ativos ou o prolongamento das manutenções pode afetar a conexão entre áreas operacionais e exigir rearranjos para manter a continuidade do processo. Dessa forma, o custo da manutenção deixa de ser apenas uma questão do setor responsável pela intervenção e passa a produzir efeitos sobre a organização mais ampla da operação.

Sob uma perspectiva analítica, esses impactos reforçam a ideia de que os desvios entre planejado e realizado na manutenção ferroviária não devem ser interpretados apenas como variações orçamentárias isoladas. Eles refletem limitações de previsibilidade, dependência de recursos e condicionantes operacionais que influenciam simultaneamente custo, tempo e disponibilidade. Por isso, a compreensão desses fatores e de seus efeitos operacionais é fundamental para identificar os principais pontos de fragilidade da gestão de custos da manutenção ferroviária e para sustentar a discussão sobre melhorias apresentada nos tópicos seguintes.

4.5 Análise SWOT da gestão de custos da manutenção ferroviária

Com o objetivo de sintetizar os principais achados do capítulo e favorecer uma visualização mais estruturada dos aspectos positivos, limitações e riscos associados à gestão de custos da manutenção ferroviária, foi realizada uma análise SWOT. Essa ferramenta permite organizar os resultados a partir de quatro dimensões – forças, fraquezas, oportunidades e

ameaças – contribuindo para uma interpretação integrada do cenário observado ao longo de 2025. No contexto deste trabalho, sua aplicação não tem finalidade meramente estratégica em sentido amplo, mas funciona como recurso analítico para reunir, de forma sintética, elementos que se mostraram relevantes na relação entre manutenção ferroviária, controle de custos e impactos operacionais.

De forma geral, a análise SWOT evidencia que a gestão de custos da manutenção ferroviária, no contexto estudado em 2025, apresenta uma base relevante de controle e visibilidade das informações, mas ainda convive com limitações operacionais e estruturais que restringem sua previsibilidade. Ao mesmo tempo, revela que há espaço para melhorias ligadas à integração entre áreas, ao tratamento das corretivas recorrentes e à revisão da dependência de serviços externos. Assim, a SWOT contribui para consolidar os resultados deste capítulo e para preparar a discussão final do trabalho, ao mostrar que a gestão de custos da manutenção ferroviária depende tanto da qualidade dos instrumentos de controle quanto da capacidade de responder aos fatores que pressionam o sistema no cotidiano operacional, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 - Análise SWOT da gestão de custos da manutenção ferroviária



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar o processo de gestão de custos da manutenção ferroviária em ambiente siderúrgico, com foco na melhoria do controle de materiais, serviços e sobressalentes. A partir desse recorte, buscou-se compreender como o controle de custos se articula com a rotina da manutenção ferroviária, considerando os instrumentos de registro e acompanhamento utilizados, bem como os fatores operacionais que interferem na execução das intervenções. Nesse sentido, o estudo permitiu examinar, de forma aplicada, a relação entre planejamento, execução e comportamento dos custos no contexto organizacional analisado.

Entre os principais resultados, observou-se que a gestão de custos da manutenção ferroviária, no caso estudado, está associada à interação entre aspectos técnicos, organizacionais e operacionais. Verificou-se que o acompanhamento entre Planejado (PEX), Rolling Forecast (RF) e Real constitui um recurso relevante para a leitura da previsibilidade orçamentária e para a identificação da necessidade de ajustes ao longo do período analisado. Da mesma forma, a análise por agrupamento de classe de custo indicou maior concentração dos gastos em manutenção externa e materiais de manutenção, evidenciando pontos de maior pressão financeira no contexto observado.

Também se constatou que fatores como atrasos de fornecedores, demora na reposição de materiais, reparos repetitivos e envelhecimento dos ativos estiveram associados aos desvios entre custos planejados e realizados no período estudado, além de produzirem impactos sobre a disponibilidade dos ativos e sobre a logística interna da usina. Esses achados reforçam, para o caso analisado, a importância do alinhamento entre manutenção, suprimentos, operação e controle de custos. No entanto, é importante destacar que tais resultados se referem a uma realidade específica, observada em um recorte temporal delimitado, e não devem ser generalizados de forma direta. Embora outras empresas também possam enfrentar problemas semelhantes, pode ser que apresentem cenários diferentes, em função de características próprias de sua estrutura, de seus ativos, de seus processos de manutenção e de seu modelo de gestão.

No que se refere às contribuições do trabalho, destaca-se, em primeiro lugar, sua contribuição prática, ao oferecer uma leitura estruturada sobre elementos que influenciam a gestão de custos da manutenção ferroviária em um ambiente siderúrgico específico. Ao organizar a análise em torno do fluxo da manutenção, da estrutura de custos, do acompanhamento entre PEX, RF e Real, dos fatores geradores de desvio e da análise SWOT, o estudo fornece subsídios que podem apoiar reflexões gerenciais sobre previsibilidade de custos, dependência de manutenção externa, controle de materiais e tratamento de falhas recorrentes.

Em termos acadêmicos, o trabalho contribui ao aproximar conceitos de gestão de custos, planejamento da manutenção e uso de sistemas de informação de uma realidade concreta de manutenção ferroviária industrial, ainda pouco explorada de forma articulada na literatura.

Apesar dos resultados alcançados, é necessário reconhecer as limitações da pesquisa. O estudo foi realizado com base em uma realidade organizacional específica, o que restringe a generalização direta dos achados para outros contextos empresariais. Além disso, a análise concentrou-se no ano de 2025, o que não permite afirmar, com segurança, mudanças de comportamento ao longo do tempo nem identificar tendências mais duradouras da gestão de custos da manutenção. Soma-se a isso o uso pontual dos dados disponíveis, sem exploração extensiva de bases internas ou de um conjunto amplo de indicadores, o que limitou a profundidade quantitativa da investigação. Também se destaca a limitação imposta pelo sigilo das informações organizacionais, que exigiu a anonimização da empresa e a não exposição de determinados detalhes operacionais e estruturais. Essas restrições não invalidam o estudo, mas delimitam seu alcance e reforçam seu caráter aplicado, exploratório e contextual.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se o aprofundamento da análise em diferentes direções, de modo a ampliar a compreensão sobre a gestão de custos da manutenção ferroviária em ambientes industriais. Uma possibilidade importante consiste na realização de estudos com recorte multianual, capazes de observar se os comportamentos identificados se mantêm, se se alteram ou se representam apenas oscilações pontuais de determinado período. Também se mostra pertinente a comparação entre diferentes plantas industriais ou entre distintas estruturas de manutenção ferroviária, buscando identificar semelhanças, diferenças e boas práticas replicáveis, sempre considerando que contextos distintos podem produzir resultados distintos. Além disso, futuras pesquisas podem integrar de forma mais aprofundada a análise de custos com indicadores de confiabilidade, disponibilidade e TMNP, bem como explorar modelos de melhoria aplicados à definição de estratégias de manutenção, ao controle de sobressalentes e à redução da dependência de serviços externos. Dessa forma, novas investigações poderão complementar os resultados aqui obtidos e contribuir para uma compreensão mais ampla e consistente da gestão de custos da manutenção ferroviária.

REFERÊNCIAS

- BORNIA, A. C. *Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- CREPALDI, S. A. *Contabilidade de custos*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- EBELING, C. E. *An introduction to reliability and maintainability engineering*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- FREITAS, M. J. de S.; RESENDE FILHO, N. de S. Custos de manutenção: competência e racionalidade na gestão de recursos objetivando maior competitividade. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS, 9., 2005, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 2005.
- GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. A. *Manutenção: função estratégica*. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- KOTLER, Philip; KELLER, Kevin Lane. *Administração de marketing*. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.
- LAFRAIA, J. R. B. *Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. *Sistemas de informação gerenciais*. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2014.
- MARTINS, E. *Contabilidade de custos*. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L. *Manutenção – combate aos custos na não-eficácia: a vez do Brasil*. São Paulo: McGraw-Hill, 1993.
- MOUBRAY, J. *Manutenção centrada em confiabilidade (Reliability-Centered Maintenance – RCM)*. Trad. Kleber Siqueira. São Paulo: Aladon, 2000.
- O'BRIEN, J. A.; MARAKAS, G. M. *Administração de sistemas de informação*. 15. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.
- PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SANTANA, Julia Graziela; NASCIMENTO, Débora Rosa. Estratégias de manutenção: otimizando custos e aumentando a eficiência operacional. *Revista Foco*, v. 17, n. 10, p. 1–21, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n10-014.

SILVA, M. P. T. Aplicação de técnicas de manutenção preditiva para o aumento da confiabilidade de locomotivas diesel-elétrica: manutenção preditiva. 2012. 71 f. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

SOUZA, V. C. *Organização e gerência da manutenção: planejamento, programação e controle da manutenção*. 3. ed. rev. São Paulo: All Print, 2009.

TURBAN, E. et al. *Business Intelligence: um enfoque gerencial*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

VERGARA, Sylvia Constant. *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. 16. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

VIKA CONTROLS. Soluções em medição e controle para a indústria siderúrgica. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <<https://www.vikacontrols.com.br/industrias/medicao-controle-siderurgia/>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

YIN, Robert K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.