

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
MINAS GERAIS - *CAMPUS* BETIM  
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Thiago Henrique Almeida Silva

**EFICIÊNCIA DO PCM EM AMBIENTES INDUSTRIAIS E SEUS  
IMPACTOS NOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO**

Betim  
2026

THIAGO HENRIQUE ALMEIDA SILVA

**EFICIÊNCIA DO PCM EM AMBIENTES INDUSTRIAIS E SEUS  
IMPACTOS NOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

**Orientador:** Prof. Me. Virgil Del Duca Almeida

Betim  
2026

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586e Silva, Thiago Henrique Almeida

Eficiência do PCM em ambientes industriais e seus impactos nos indicadores de manutenção / Thiago Henrique Almeida Silva – 2026.

61 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2026.

Orientação: Prof. Me. Virgil Del Duca Almeida

1. Manutenção industrial. 2. Confiabilidade (Engenharia). 3. Sistemas industriais. 4. Manutenção Produtiva Total. 5. Engenharia de Controle e Automação. I. Silva, Thiago Henrique Almeida. II. Título.

CDU: 658.58



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
**Campus Betim**  
**Diretoria de Ensino**  
**Docentes Automação Industrial e Tecnologia da Informação**  
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG  
3135976360 - www.ifmg.edu.br

## **ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aos cinco dias do mês de fevereiro do ano de 2026, às dezessete horas e trinta minutos, nas dependências do IFMG - *Campus* Betim, reuniu-se a banca examinadora presidida por mim, Virgil Del Duca Almeida e demais membros, Bruno de Souza Baptista e Rogério Eustáquio de Souza. Nesta ocasião o discente **Thiago Henrique Almeida Silva** do curso de Bacharelado em Engenharia de Controle Automação, com registro acadêmico de número **0056236** do IFMG - *Campus* Betim, defendeu seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**E FICIÊNCIA DO PCM EM AMBIENTES INDUSTRIAIS E SEUS IMPACTOS NOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO**” e foi **APROVADO**, com **89** (Oitenta e nove) pontos.

Este resultado reflete o cumprimento parcial dos critérios de avaliação estabelecidos pelo curso e reconhece os esforços e a dedicação do discente e seu orientador no desenvolvimento do seu TCC. O lançamento da nota e o conseqüente encerramento do respectivo processo está condicionado ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa conforme previstos nos regulamentos vigentes. Tais procedimentos pós-defesa devem ser finalizados dentro do prazo limite de dez dias, a contar da data desta ata. O descumprimento destes procedimentos até a data estipulada implicará em atribuição de nota 0 (zero) e conseqüente reprovação.

A sessão foi encerrada às dezoito horas e quarenta e cinco minutos. Para constar, eu, Virgil Del Duca Almeida, redigi a presente ata que foi aprovada e assinada pelos membros da banca examinadora.

Betim, 09 de fevereiro de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Virgil Del Duca Almeida, Professor**, em 09/02/2026, às 22:10, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno de Souza Baptista, Professor**, em 10/02/2026, às 16:52, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Eustaquio de Souza, Professor**, em 13/02/2026, às 09:25, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2616219** e o código CRC **780A3B6D**.

23792.000149/2026-62

2616219v1

Dedico este trabalho à minha esposa, pela compreensão e força ao longo de toda esta caminhada. Aos meus pais, por serem meus maiores exemplos de vida, caráter e perseverança. Ao meu irmão e a toda a minha família, pelo apoio, incentivo e confiança depositados em mim, fundamentais para a conclusão desta etapa tão importante.

## RESUMO

A crescente complexidade dos sistemas industriais automatizados exige estratégias de manutenção cada vez mais estruturadas, capazes de garantir elevada disponibilidade, confiabilidade e eficiência operacional dos ativos. Nesse contexto, o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) assume papel estratégico, uma vez que sua atuação impacta diretamente os principais indicadores de desempenho da manutenção industrial. Este trabalho tem como objetivo analisar a eficiência do PCM em ambientes industriais e avaliar seus impactos sobre indicadores como downtime, tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio para reparo (MTTR) e disponibilidade técnica.

A metodologia adotada baseia-se em um estudo de caso realizado em uma planta industrial do setor automotivo, especializada na usinagem de discos e tambores de freio, considerando dados históricos de manutenção e produção no período de 2021 a 2025. Foram analisadas as estratégias de manutenção corretiva, preventiva e preditiva, bem como a aplicação de conceitos da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e dos pilares da Manutenção Produtiva Total (TPM). O estudo contemplou ainda o uso de sistemas de gestão da manutenção (CMMS), dashboards de indicadores e ferramentas de análise de falhas.

Os resultados obtidos evidenciam que a estruturação e o fortalecimento do PCM contribuíram significativamente para a redução de paradas não planejadas, aumento do MTBF, diminuição do MTTR e melhoria da disponibilidade dos equipamentos. Observou-se também maior maturidade na gestão da manutenção, com padronização de processos, melhor tomada de decisão baseada em dados e maior integração entre manutenção, produção e áreas administrativas. Conclui-se que a eficiência do PCM é fundamental para a robustez operacional dos sistemas industriais, impactando positivamente a confiabilidade dos ativos e a competitividade das organizações.

**Palavras-chave:** Planejamento e Controle da Manutenção; Manutenção Industrial; Indicadores de Manutenção; Confiabilidade.

## ABSTRACT

The increasing complexity of automated industrial systems demands increasingly structured maintenance strategies capable of ensuring high availability, reliability, and operational efficiency of assets. In this context, Maintenance Planning and Control (MPC) assumes a strategic role, since its performance directly impacts the main performance indicators of industrial maintenance. This work aims to analyze the efficiency of MPC in industrial environments and evaluate its impacts on indicators such as downtime, mean time between failures (MTBF), mean time to repair (MTTR), and technical availability.

The methodology adopted is based on a case study conducted in an industrial plant in the automotive sector, specializing in the machining of brake discs and drums, considering historical maintenance and production data from 2021 to 2025. Corrective, preventive, and predictive maintenance strategies were analyzed, as well as the application of Reliability-Centered Maintenance (RCM) concepts and the pillars of Total Productive Maintenance (TPM). The study also included the use of maintenance management systems (CMMS), indicator dashboards, and failure analysis tools.

The results obtained show that the structuring and strengthening of PCM (Production Control Management) significantly contributed to the reduction of unplanned downtime, increased MTBF (Mean Time Between Failures), decreased MTTR (Mean Time To Repair), and improved equipment availability. Greater maturity in maintenance management was also observed, with standardized processes, better data-driven decision-making, and greater integration between maintenance, production, and administrative areas. It is concluded that the efficiency of PCM is fundamental to the operational robustness of industrial systems, positively impacting asset reliability and the competitiveness of organizations.

**Keywords:** Maintenance Planning and Control; Industrial Maintenance; Maintenance Indicators; Reliability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Revolução Industrial. . . . .                         | 13 |
| Figura 2 – Fluxo deste trabalho. . . . .                         | 16 |
| Figura 3 – Evolução da manutenção. . . . .                       | 18 |
| Figura 4 – Evolução das técnicas de manutenção. . . . .          | 24 |
| Figura 5 – Pilares do TPM. . . . .                               | 27 |
| Figura 6 – Downtime 2021 a 2025. . . . .                         | 35 |
| Figura 7 – MTBF 2021 a 2025. . . . .                             | 37 |
| Figura 8 – MTTR 2021 a 2025. . . . .                             | 38 |
| Figura 9 – Funcionalidades importantes do novo software. . . . . | 39 |
| Figura 10 – Exemplo de análise por meio de Dashboard. . . . .    | 40 |
| Figura 11 – Cronograma preventivo. . . . .                       | 46 |
| Figura 12 – Check list de equipamento na preventiva. . . . .     | 47 |
| Figura 13 – Cabeçalho de um EWO. . . . .                         | 48 |
| Figura 14 – Análise de 5W e 1H. . . . .                          | 48 |
| Figura 15 – Tratamento das possíveis causas. . . . .             | 49 |
| Figura 16 – Cartão AM. . . . .                                   | 50 |
| Figura 17 – Lista de verificações - tornos CNC. . . . .          | 54 |
| Figura 18 – SharePoint - fluxo de aprovações. . . . .            | 55 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Critérios para classificação. . . . .                                      | 42 |
| Tabela 2 – Demonstração de preenchimento da matriz. . . . .                           | 42 |
| Tabela 3 – Decomposição de máquinas - buscado as possíveis falhas funcionais. . . . . | 43 |
| Tabela 4 – Relatório de controle dos motores. . . . .                                 | 44 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|       |   |
|-------|---|
| AM    | Autonomous Maintenance                                  |
| CMMS  | Sistema de Gerenciamento de Manutenção Computadorizado. |
| EWO   | <i>Emergency Work Order.</i>                            |
| FMEA  | <i>Failure Mode and Effects Analysis.</i>               |
| GUT   | Gravidade, Urgência e Tendência.                        |
| KPI'S | <i>Key Performance Indicators.</i>                      |
| MA    | Manutenção Autônoma                                     |
| MCC   | Manutenção centrada na confiabilidade.                  |
| MPT   | Manutenção produtiva total.                             |
| MTBF  | <i>Mean Time Between Failures.</i>                      |
| MTTR  | <i>Mean Time To Repair.</i>                             |
| OEE   | <i>Overall Equipment Effectiveness.</i>                 |
| PCM   | Planejamento e Controle da Manutenção.                  |
| PCP   | Planejamento e Controle da Produção.                    |
| PM    | Manutenção Planejada.                                   |
| RCM   | <i>Reliability-Centered Maintenance.</i>                |
| TCC   | Trabalho de Conclusão de Curso.                         |
| TFC   | Trabalho Final de Curso.                                |
| TPM   | <i>Total Productive Maintenance.</i>                    |
| WCM   | <i>World Class Manufacturing.</i>                       |

## SUMÁRIO

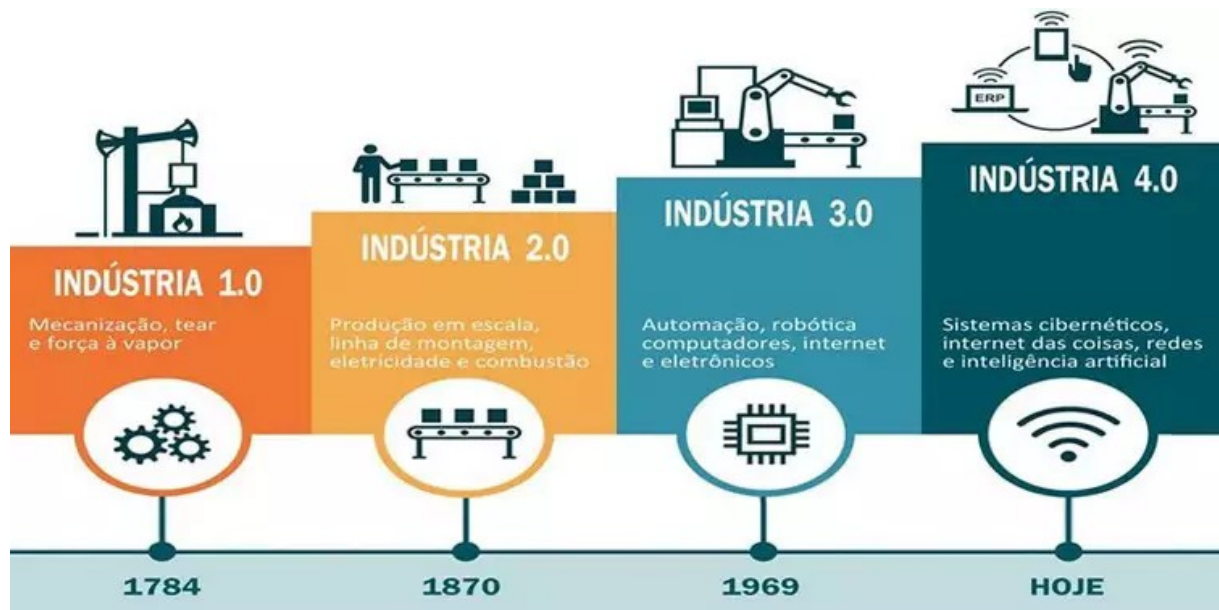
|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b>   | <b>13</b> |
| <b>1.1</b>   | <b>Objetivos</b>  | <b>15</b> |
| <i>1.1.1</i> | <i>Objetivo Geral</i>   | <b>15</b> |
| <i>1.1.2</i> | <i>Objetivos Específicos</i>  | <b>15</b> |
| <b>1.2</b>   | <b>Justificativa</b>  | <b>15</b> |
| <b>1.3</b>   | <b>Organização do Texto</b>   | <b>16</b> |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>Evolução das Estratégias e Práticas de Manutenção Industrial</b>                   | <b>18</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>Robustez Operacional e Garantia de Qualidade</b>                                   | <b>21</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>A manutenção centrada na confiabilidade - RCM/MCC</b>                              | <b>22</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>Planejamento e controle da manutenção - PCM</b>                                    | <b>25</b> |
| <b>2.5</b>   | <b>Os Pilares da Manutenção Produtiva Total - TPM</b>                                 | <b>26</b> |
| <i>2.5.1</i> | <i>Manutenção autônoma</i>  | <b>27</b> |
| <i>2.5.2</i> | <i>Manutenção Planejada:</i>  | <b>28</b> |
| <i>2.5.3</i> | <i>Melhoria específica</i>  | <b>28</b> |
| <i>2.5.4</i> | <i>Educação e treinamento</i>   | <b>28</b> |
| <i>2.5.5</i> | <i>Controle inicial</i>   | <b>29</b> |
| <i>2.5.6</i> | <i>Manutenção da qualidade</i>  | <b>29</b> |
| <i>2.5.7</i> | <i>Áreas administrativas - integração</i>   | <b>29</b> |
| <i>2.5.8</i> | <i>Segurança e meio ambiente</i>  | <b>30</b> |
| <b>3</b>     | <b>METODOLOGIA</b>  | <b>31</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Paralelo da manutenção em uma planta de usinagem de discos e tambores de freio</b> | <b>31</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Coleta e compilação de dados para a confiabilidade</b>                             | <b>32</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>Aplicação do MCC no Setor de Usinagem</b>  | <b>32</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>O PCM em prática</b>   | <b>33</b> |
| <b>3.5</b>   | <b>TPM em busca da parada zero</b>  | <b>33</b> |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS</b>   | <b>35</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Evolução da manutenção da planta em Betim</b>                                      | <b>35</b> |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>4.2</b>   | <b>Análise de dados - aumentando a robustez da manutenção</b> . . . . . | <b>38</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>Integração do MCC à Realidade da Planta</b> . . . . .                | <b>41</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>Melhoria focada do PCM</b> . . . . .                                 | <b>45</b> |
| <b>4.5</b>   | <b>Uso de pilares TPM</b> . . . . .                                     | <b>49</b> |
| <b>4.5.1</b> | <i>Manutenção autônoma:</i> . . . . .                                   | <b>49</b> |
| <b>4.5.2</b> | <i>Manutenção Planejada:</i> . . . . .                                  | <b>50</b> |
| <b>4.5.3</b> | <i>Melhoria específica:</i> . . . . .                                   | <b>51</b> |
| <b>4.5.4</b> | <i>Educação e treinamento:</i> . . . . .                                | <b>51</b> |
| <b>4.5.5</b> | <i>Controle inicial:</i> . . . . .                                      | <b>52</b> |
| <b>4.5.6</b> | <i>Manutenção da qualidade:</i> . . . . .                               | <b>53</b> |
| <b>4.5.7</b> | <i>Áreas administrativas:</i> . . . . .                                 | <b>54</b> |
| <b>4.5.8</b> | <i>Segurança e meio ambiente:</i> . . . . .                             | <b>56</b> |
| <b>5</b>     | <b>CONCLUSÃO</b> . . . . .  | <b>57</b> |
| <b>6</b>     | <b>TRABALHOS FUTUROS</b> . . . . .                                      | <b>58</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .  | <b>59</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

A trajetória da indústria ao longo dos séculos foi marcada por constantes transformações impulsionadas pela busca por eficiência, produtividade e qualidade. Conforme ilustrado na Figura 1 essas transformações ocorreram de forma progressiva, caracterizando diferentes revoluções industriais, cada uma associada a avanços tecnológicos, mudanças nos modelos produtivos e novas formas de organização do trabalho.

Figura 1 – Revolução Industrial.



Fonte: GONÇALVES, 2015.

Desde a Primeira Revolução Industrial, no século XVIII (1760 a 1840), quando a mecanização dos processos começou a substituir o trabalho manual, a relação entre o homem e as máquinas nos processos produtivos aumentou, sendo grande parte das invenções máquinas a vapor movidas por combustíveis fósseis, em sua maioria carvão mineral. O uso de carvão impulsionou a produção de aço e proporcionou o crescimento da indústria de construção civil, com o aumento das populações dos centros industriais.

A segunda revolução (1850-1945) ocorre com o desenvolvimento de indústrias química, elétrica, de petróleo e aço, além do progresso dos meios de transporte e comunicação. Surgiram novas formas de organizar o trabalho, culminando no modelo de produção em série que a caracterizou.

No século XX (1950 – 2010), a terceira revolução Industrial trouxe à tona a automação dos processos produtivos com o uso da eletrônica, da informática e dos primeiros sistemas de controle automatizado, microcomputadores e criação da internet (1969). O período também foi caracterizado pela incorporação de novas fontes de energia, como a energia nuclear, solar e eólica, além dos avanços nas áreas de engenharia genética e biotecnologia. Paralelamente, observaram-se

transformações significativas nos métodos agrícolas, impulsionadas pela informatização dos processos produtivos e pela automação das atividades no campo.

Segundo Ribeiro (2011) nesse contexto de avanço tecnológico, destaca-se a invenção do telefone celular por Martin Cooper, em 1973, dispositivo que passou por sucessivos ciclos de evolução tecnológica. Tal inovação pode ser considerada um dos marcos fundamentais que contribuíram para o surgimento e a consolidação da revolução tecnológica subsequente.

Já na atual quarta revolução industrial, que iniciou em 2011, segundo dados de Schwab, presidente do Fórum Econômico Mundial, e autor do livro “A Quarta Revolução Industrial”. Segundo ele, o conceito desta revolução está ligado ao de Indústria 4.0, modelo empresarial que já tinha como objetivo utilizar todas as tecnologias atualmente disponíveis para gerar conhecimento e produtividade. Observamos a integração dos sistemas, com tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, big data e monitoramento em tempo real sendo incorporadas ao chão de fábrica. Esse avanço trouxe consigo não apenas ganhos operacionais, mas também novos desafios na gestão dos ativos industriais.

A manutenção industrial, ao longo das revoluções, passou a exercer um papel estratégico nas organizações. Inicialmente reativa e voltada apenas para corrigir falhas, a manutenção evoluiu para modelos preventivos, preditivos e, mais recentemente, proativos. Essa evolução culminou na necessidade de um setor capaz de planejar, controlar e otimizar as ações de manutenção: o planejamento e controle da manutenção.

O PCM surge, então, como um pilar essencial para garantir a disponibilidade, confiabilidade e eficiência dos ativos produtivos. A sua atuação eficiente reflete diretamente nos indicadores de desempenho da manutenção. Equipamentos mantidos de forma planejada tendem a apresentar maior estabilidade operacional, contribuindo para a uniformidade da produção, a redução de falhas, o aumento da segurança e a otimização de recursos. Além disso, a confiabilidade dos sistemas automatizados depende fortemente do bom funcionamento dos componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos, cujas falhas podem comprometer não apenas a produtividade, mas também a qualidade final dos produtos.

Neste cenário, este trabalho busca analisar a eficiência do PCM em ambientes industriais e seus impactos nos principais indicadores de manutenção. A proposta deste estudo de caso é compreender como uma gestão estruturada da manutenção pode contribuir para a melhoria contínua dos processos, aumentar a confiabilidade dos ativos, reduzir custos operacionais e impulsionar a competitividade das organizações no atual panorama tecnológico-industrial analisando dados de uma planta de produção de discos e tambores de freio considerando um período de análise de 01/2021 a 06/2025.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo de caso é analisar a eficiência do Planejamento e Controle da Manutenção em ambientes industriais e seus impactos nos indicadores de desempenho da manutenção industrial. O período de análise sera de 01/2021 a 06/2025.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Levantar os principais conceitos e práticas associados ao PCM e sua evolução histórica nas indústrias;
- Identificar os principais indicadores de desempenho da manutenção;
- Avaliar como diferentes estratégias de PCM influenciam a disponibilidade, confiabilidade e produtividade dos sistemas automatizados;
- Investigar, por meio de estudo de caso, os impactos da manutenção bem planejada na redução de falhas e paradas não programadas;

## 1.2 Justificativa

Em um cenário industrial cada vez mais competitivo e automatizado, a eficiência operacional tornou-se um dos principais fatores de diferenciação entre empresas. A busca por altos níveis de produtividade, qualidade e confiabilidade exige que os ativos industriais estejam continuamente disponíveis e operando dentro de padrões técnicos bem definidos. Nesse contexto, falhas inesperadas e intervenções não planejadas podem gerar impactos significativos, como atrasos na produção, perdas de matéria-prima, retrabalho e aumento de custos.

O Planejamento e Controle da Manutenção surge como uma ferramenta essencial para mitigar esses riscos, ao propor uma gestão estruturada das ações de manutenção com foco em previsibilidade, organização e melhoria contínua. A aplicação de boas práticas de PCM contribui diretamente para o desempenho dos sistemas automatizados, cujos indicadores — como disponibilidade, confiabilidade, MTBF e MTTR estão diretamente relacionados à eficiência das estratégias de manutenção adotadas.

Diante disso, é relevante estudar como a eficiência do PCM impacta os indicadores de manutenção em ambientes industriais, promovendo não apenas o bom funcionamento dos ativos, mas também uma operação mais segura, econômica e sustentável. Tal estudo se justifica, ainda, pela necessidade de integrar conhecimentos das áreas de manutenção, controle e automação em prol de soluções mais inteligentes e alinhadas aos princípios da Indústria 4.0.

Diante do cenário apresentado, este trabalho parte do seguinte questionamento: É possível alcançar uma manutenção atuante, efetiva e confiável, com indicadores de desempenho dentro dos padrões esperados para a saúde organizacional, sem que as bases do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) estejam bem estruturadas, consolidadas e tratadas como prioridade?

### 1.3 Organização do Texto

Este trabalho foi estruturado de forma a estabelecer uma relação direta e contínua entre a fundamentação teórica, a metodologia adotada e a análise dos resultados, construindo uma narrativa linear e integrada ao longo dos capítulos conforme a Figura 2.

Figura 2 – Fluxo deste trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os conceitos, definições e abordagens apresentados no capítulo 2 servem como base conceitual necessária para a compreensão do PCM, bem como das estratégias de manutenção e dos indicadores de desempenho analisados ao longo do estudo.

No capítulo 3, é apresentada a metodologia utilizada, detalhando os procedimentos adotados para a coleta, tratamento e análise dos dados, bem como a caracterização do estudo de caso desenvolvido em uma planta industrial do setor automotivo. Esse capítulo descreve as etapas do trabalho, as métricas avaliadas e as ferramentas utilizadas para a análise da eficiência do PCM.

O capítulo 4 é dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos, onde os dados analisados são interpretados com base na fundamentação teórica, permitindo avaliar os impactos da estruturação do PCM sobre os indicadores de desempenho da manutenção industrial.

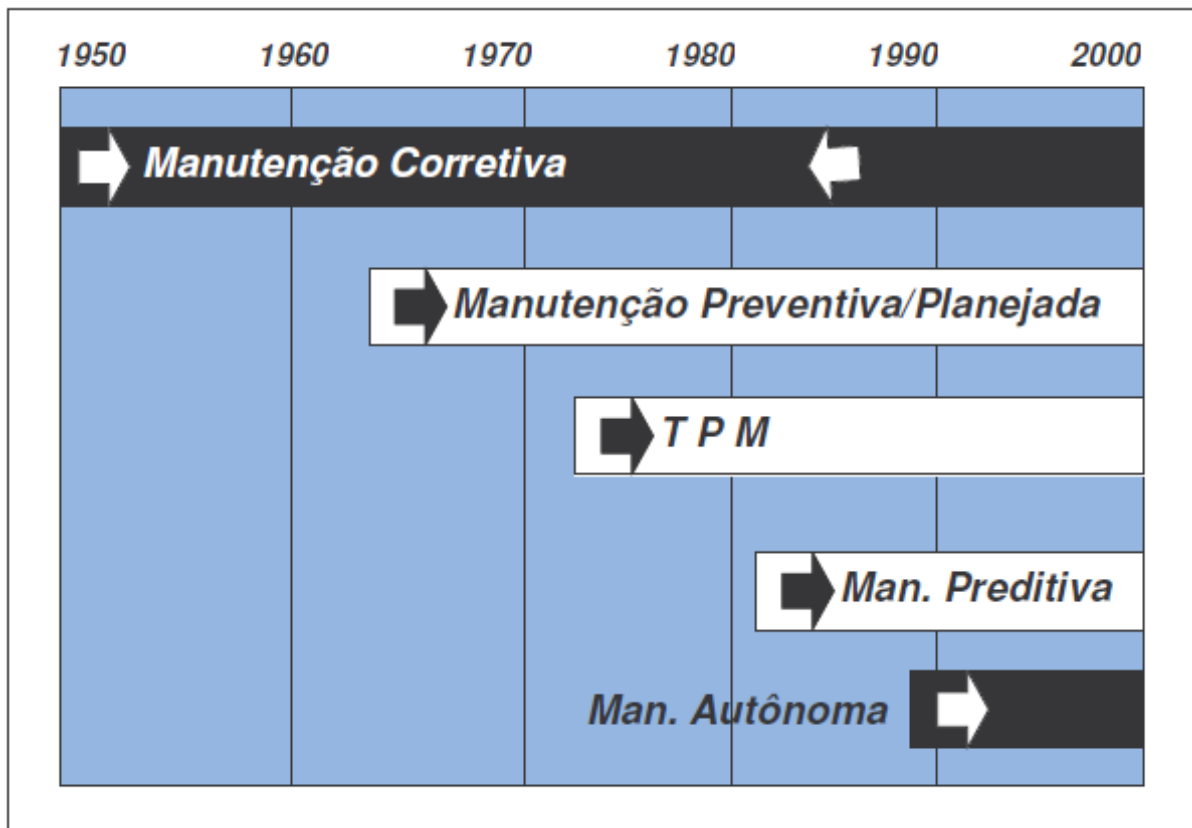
Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho, trazendo os principais achados e respondendo aos objetivos propostos, enquanto o Capítulo 6 discute sugestões para trabalhos futuros, indicando possíveis aprofundamentos e aplicações complementares do estudo desenvolvido.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Evolução das Estratégias e Práticas de Manutenção Industrial

A Figura 3 apresenta a evolução histórica das estratégias de manutenção industrial ao longo das décadas, evidenciando a transição gradual de abordagens reativas para métodos mais planejados e estratégicos.

Figura 3 – Evolução da manutenção.



Fonte: ROSÁRIO JUNIOR, 2009

A manutenção industrial era vista como uma atividade corretiva e reativa, cujo papel se limitava à intervenção apenas após a falha do equipamento. Essa visão tradicional, amplamente disseminada no período pós-Segunda Guerra Mundial, tratava a manutenção como um "mal necessário", cujo investimento era considerado um custo a ser evitado sempre que possível (ROSÁRIO JUNIOR, 2009).

A manutenção corretiva está entre os principais fatores responsáveis por paradas não planejadas em ambientes industriais, o que implica perdas de produção e aumento dos custos operacionais (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2012).

Segundo Rosário Junior (2009) com o tempo, e diante das crescentes demandas por confiabilidade, produtividade e segurança, a manutenção passou a ser reconhecida como uma

atividade estratégica para a competitividade industrial. Essa mudança de pensamento levou ao surgimento de novas abordagens, estruturadas sob diferentes gerações de práticas de manutenção. Inicialmente, predominava a manutenção corretiva, centrada na substituição de componentes apenas após a ocorrência de falhas. Em seguida, consolidou-se a manutenção preventiva como tentativa de evitar paradas inesperadas.

O novo modelo de manutenção realiza a substituição de peças e componentes, com base na expectativa de vida útil, ou seja, de acordo com as horas trabalhadas, define-se quando a ocorrerá a troca. Sua base está no cálculo de vida útil e histórico de funcionamento dos equipamentos.

A manutenção preventiva se mostrou com um custo elevado devido à substituição antecipada de componentes ainda funcionais, mas representa economia no contexto geral da produção ao evitar falhas inesperadas e permitir melhor planejamento (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2012).

Com o avanço da instrumentação e das tecnologias de monitoramento, emergiu a manutenção preditiva, também conhecida como baseada em condição. Essa prática permite prever falhas por meio de análises periódicas, aumentando a disponibilidade dos ativos e otimizando os recursos aplicados (ROSÁRIO JUNIOR, 2009).

Esse modelo de manutenção considera a técnica para definir o estado futuro de um equipamento, sistema ou componente, através da coleta de dados ao longo do tempo, ou seja, um método de manutenção para prever danos e falhas futuras.

Segundo o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2012) a manutenção preditiva utiliza o monitoramento das condições reais dos componentes das máquinas para prever o momento ideal de intervenção, reduzindo custos e aumentando a confiabilidade do sistema.

A manutenção preditiva pode ser entendida como uma evolução da manutenção preventiva, porém sua aplicação não ocorre de forma generalizada, uma vez que demanda elevado investimento inicial, recursos humanos altamente qualificados e apresenta restrições para utilização em sistemas industriais mais complexos (DAMAS, 2018).

Na sequência, a indústria absorveu filosofias mais abrangentes, como a TPM (*Total Productive Maintenance*), que já existia paralela aos outros modelos e que é uma abordagem sistemática de gestão de manutenção que visa otimizar a eficiência dos equipamentos industriais.

O TPM fundamenta-se em um conceito de origem japonesa e envolve todos os níveis da organização, desde os operadores até a alta administração. Essa abordagem visa estabelecer uma cultura organizacional na qual a responsabilidade pela manutenção dos ativos seja compartilhada por todos os colaboradores, e não restrita apenas à equipe de manutenção.

Segundo Tractian (2025) seu principal objetivo é eliminar perdas e maximizar a eficácia dos ativos produtivos. De forma prática, as ações da TPM na indústria são orientadas por três princípios fundamentais:

- Quebra zero, que busca aumentar a confiabilidade e o desempenho dos equipamentos;
- Defeito zero, voltado à garantia da qualidade total dos produtos;
- Acidente zero, com foco na segurança das pessoas e na preservação do meio ambiente.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2011, p. 233):

A Manutenção produtiva total surgiu no Japão, onde é considerada como a evolução natural da manutenção corretiva (reativa) para a manutenção preventiva (pró-ativa). A MPT expandiu os conceitos tradicionais da manutenção, incorporando esforços para evitar defeitos de qualidade provocados pelo desgaste e mau funcionamento dos equipamentos. A MPT entende que as pessoas que utilizam o equipamento são aquelas que possuem os maiores conhecimentos referentes a ele.

A manutenção autônoma (MA), também conhecida como *Autonomous Maintenance* (AM), segundo a Abecon (2023), é caracterizada como uma metodologia voltada ao aumento da eficiência da manutenção e à melhoria da segurança no ambiente de trabalho, ao permitir que os operadores realizem pequenas intervenções nos equipamentos sob sua responsabilidade. Essa abordagem busca, ainda, promover o senso de responsabilidade dos operadores em relação aos ativos produtivos, incentivando a execução rotineira e voluntária de atividades como limpeza, lubrificação e pequenos ajustes, fundamentais para a conservação e o desempenho dos equipamentos.

Essa trajetória de evolução refletiu diretamente as transformações tecnológicas e organizacionais enfrentadas pela indústria ao longo das últimas décadas. A busca por confiabilidade, disponibilidade e redução de custos operacionais motivou a consolidação de práticas que integram manutenção com planejamento estratégico e gestão de ativos. Atualmente, conceitos como manutenção por melhoria, manutenção detectiva e a integração com sistemas informatizados reforçam a importância do PCM como base de sustentação de qualquer sistema produtivo eficiente.

Segundo Rosário Junior (2009), essas mudanças exigiram novas competências das equipes, maior rigor na definição de políticas de manutenção e a implantação de sistemas de informação que viabilizem o controle e o aprendizado contínuo a partir de falhas. Com isso, a manutenção passou de uma função reativa para um pilar fundamental da gestão industrial moderna, contribuindo diretamente para a competitividade e sustentabilidade das organizações.

A manutenção, começa a ter mais participação ativa a medida que percebe a necessidade de evitar falhas, segundo Gonçalves (2015, p. 4):

A manutenção tornou-se como um núcleo a atividade de prevenção da deterioração dos seus equipamentos e componentes, aumentando assim a necessidade da função básica de profissionais que não apenas corrigissem as respectivas falhas, mas também, pudessem evitar que elas ocorressem.

O impacto em disponibilidade ocorre quando uma falha ocasiona a interrupção da produção, comprometendo as metas previamente estabelecidas para assegurar a saúde operacional da

organização (TELES, 2019). Nesse sentido, percebe-se que as evoluções dos tipos de manutenção têm como principal objetivo evitar tais interrupções, que podem ser descritas pelo termo *downtime*.

Conforme (RIBEIRO, 2016) A Manutenção é a Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

## 2.2 Robustez Operacional e Garantia de Qualidade

A robustez operacional em sistemas industriais está fortemente associada à capacidade dos equipamentos de manterem seu desempenho funcional mesmo diante de variações nos processos, ambientes ou desgaste ao longo do tempo. Este conceito se articula diretamente com a confiabilidade, que, por sua vez, representa a probabilidade de um item desempenhar sua função especificada, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predefinidas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

A confiabilidade, diferentemente da qualidade, incorpora a dimensão temporal ao desempenho do item. Enquanto a qualidade pode ser compreendida como uma fotografia instantânea da conformidade com as especificações de projeto e manufatura, a confiabilidade analisa o comportamento do item ao longo de sua vida útil. Assim, segundo Fogliatto e Ribeiro (2011) “uma alta confiabilidade implica alta qualidade; o contrário é que pode não ser verdade”.

Para que se alcance robustez operacional, torna-se necessário atuar sobre as principais fontes de variabilidade que impactam o desempenho dos equipamentos: (i) processos de manufatura, (ii) ambiente de operação e (iii) deterioração natural dos componentes. Segundo Lewis (apud FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011), estas fontes estão correlacionadas com falhas precoces, aleatórias e por desgaste, respectivamente, e podem ser mitigadas por meio de ações como controle de processo, projeto robusto e manutenção preventiva.

A garantia de qualidade, por sua vez, deve ser compreendida não apenas como a adequação inicial do produto às especificações, mas também como a capacidade de manter tal adequação ao longo do tempo. Nesse sentido, a integração entre qualidade e confiabilidade é essencial. Ações de melhoria contínua, que visem reduzir as fontes de variabilidade mencionadas, contribuem diretamente para a confiabilidade e, conseqüentemente, para a robustez do sistema produtivo. É possível ver que a qualidade, quando compreendida como a redução da variabilidade no desempenho, deve ser garantida em três estágios principais do desenvolvimento de produtos: projeto do produto, projeto do processo e manufatura.

A integração eficaz desses estágios permite não apenas a estabilidade operacional, mas também a manutenção de indicadores de desempenho no PCM como:

MTBF - Segundo Damas (2018) avaliado nos principais ativos da produção, representando a capacidade dos equipamentos de manter seu desempenho ao longo do tempo sem falhas. Esse

indicador foi utilizado como métrica prática para verificar a robustez operacional no contexto estudado.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo Total de Operação (min)}}{\text{Número de Falhas (min)}}$$

MTTR - Segundo Teles(2019) avaliado nos principais ativos da produção, representando a eficiência da manutenção em restabelecer a operação dos equipamentos após a ocorrência de falhas. Esse indicador foi utilizado como métrica prática para analisar a agilidade das intervenções corretivas e sua influência sobre a disponibilidade operacional no contexto estudado.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de Reparo (min)}}{\text{Número de Reparos (min)}}$$

Disponibilidade Técnica - Segundo Gonçalves (2012) é medida pela proporção entre o tempo efetivamente produtivo e o tempo total disponível, refletindo tanto a qualidade da gestão da manutenção preventiva quanto a capacidade do PCM de reduzir paradas não planejadas.

$$A = \frac{\text{Tempo Operacional (min)}}{\text{Tempo Total (Operacional + Paradas) (min)}}$$

Portanto, no contexto da manutenção industrial, a robustez operacional e a garantia de qualidade são elementos fundamentais para a eficiência do Planejamento e Controle da Manutenção. Ambos impactam diretamente os principais indicadores de desempenho, e a sua adequada gestão representa uma vantagem competitiva em ambientes industriais que demandam alta produtividade e baixo índice de falhas.

O *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) é um indicador chave, sendo um dos principais *Key Performance Indicators* (KPI's) utilizado para medir a efetividade global de um equipamento ou processo produtivo, considerando simultaneamente três dimensões fundamentais: disponibilidade, desempenho e qualidade. Seu objetivo é demonstrar, de forma objetiva, o quanto um equipamento está sendo efetivamente utilizado em relação à sua capacidade máxima teórica, evidenciando perdas ao longo do processo produtivo.

O indicador surgiu no contexto da metodologia TPM, como uma ferramenta para identificar, quantificar e compreender as principais perdas que afetam a eficiência dos ativos industriais.

Para este estudo, teremos um foco maior no downtime de manutenção que é um indicador específico e que reflete no OEE. O downtime representa o tempo em que o equipamento permanece indisponível, geralmente devido a falhas, manutenções corretivas ou intervenções não planejadas.

### 2.3 A manutenção centrada na confiabilidade - RCM/MCC

A metodologia *Reliability Centered Maintenance* (RCM) também chamada de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) segundo Rosário Junior (2009), começou a ser utilizada

nos Estados Unidos da América a partir da década de 60, sendo que seu uso inicial visava baratear os custos de manutenção de aeronaves que ainda entrariam em operação no modelo Boeing 747.

MCC pode ser definida como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas. Devido a sua abordagem racional e sistemática, os programas de MCC têm sido reconhecidos como a forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção. Eles permitem que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo custos associados a acidentes, defeitos, reparos e substituições. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011. p. 217)

De acordo com Moubray, a Manutenção Centrada na Confiabilidade pode ser compreendida como a evolução histórica das práticas de manutenção, dividida em três principais gerações. A primeira geração, que abrange até meados da Segunda Guerra Mundial, refere-se a uma indústria ainda pouco mecanizada, com equipamentos simples e superdimensionados. Nessa fase, a manutenção era pontual e corretiva, realizada apenas quando ocorriam falhas. Não havia necessidade de práticas sistemáticas nem de habilidades técnicas mais sofisticadas (MOUBRAY, 2000).

Na segunda geração, durante e após a Segunda Guerra Mundial, o aumento da demanda industrial, aliado à escassez de mão de obra e materiais, impulsionou a mecanização e aumentou a complexidade dos equipamentos. Isso trouxe como consequência paradas mais longas e custosas. Nesse contexto, surgem os conceitos de manutenção preventiva e sistemas de planejamento da manutenção, com o objetivo de reduzir a frequência e o impacto dessas paradas.

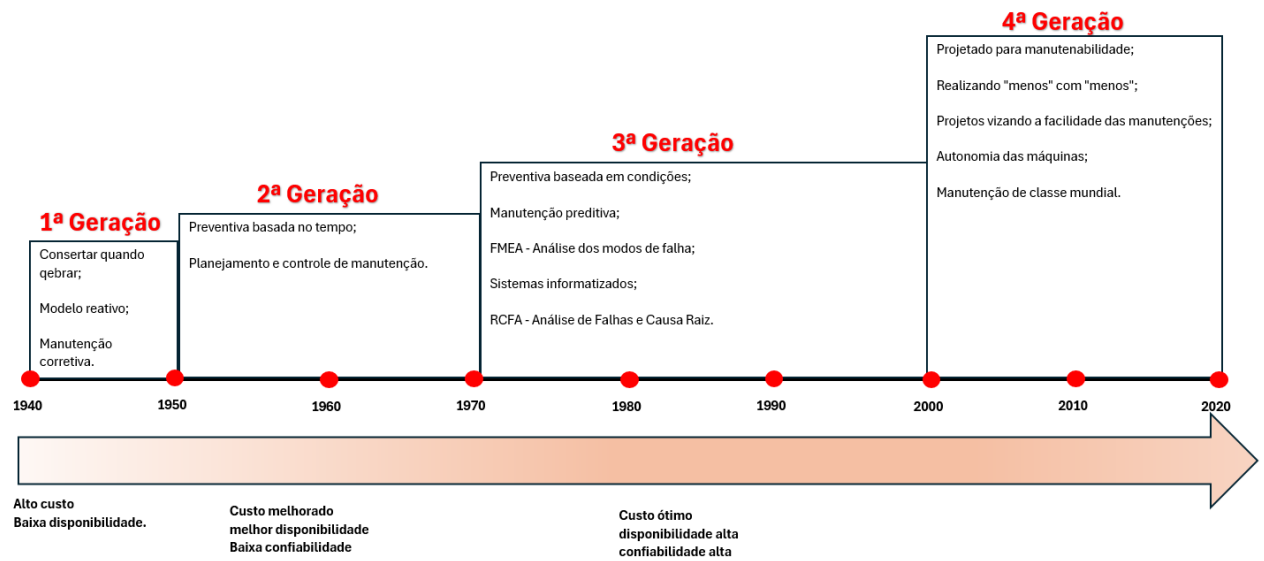
A partir dos anos 1970, Segundo Moubray (2000), com a chamada terceira geração, novas exigências produtivas e mercadológicas, como a adoção do sistema just-in-time, impuseram maior rigor à confiabilidade e disponibilidade dos ativos. Pequenas falhas passaram a ter grande impacto na cadeia produtiva, exigindo abordagens mais integradas, como o RCM, para assegurar continuidade operacional, redução de custos e competitividade.

Existe ainda a chamada nova geração, conforme dito por Teles:

A Quarta Geração da Manutenção, com nascimento nos anos 2000, fica marcada principalmente pela elevação da Mantenabilidade dos ativos por parte dos fabricantes, pelos seus níveis de autonomia e pela adoção de estratégias de se realizar mais com menos na busca por índices de Manutenção de Classe Mundial. (TELES, 2019. p. 4).

A Figura 4 mostra como essas gerações estão divididas e os principais focos de cada.

Figura 4 – Evolução das técnicas de manutenção.



Fonte: Adaptado pelo autor com base em TELES, 2019

Para o funcionamento dessa metodologia, MCC/RCM, existem perguntas e respostas que são fundamentais para a implementação segundo Rosário Junior (2009, p. 27).

- Que bens a empresa possui e opera, e para quais deles a MCC / RCM deveria ser aplicado?
- Quais são as funções e expectativas de desempenho de um bem escolhido?
- De que forma ele pode falhar ao cumprir suas funções?
- O que leva a falha?
- Quais são as consequências de cada falha?
- O que deveria ser feito para prevenir cada falha e que passos deveriam ser assumidos se medidas preventivas não puderem ser encontradas?

Estas questões devem ser respondidas por um processo que segundo Junor (2009), foi denominada de passos. O processo de implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade se estrutura em sete passos principais, que guiam a definição e otimização de estratégias de manutenção com foco na confiabilidade dos ativos.

- Passo A: Inicia-se o processo com a seleção das áreas prioritárias, identificando os recursos físicos que impactam significativamente o desempenho organizacional.
- Passo B: Envolve a determinação das falhas funcionais possíveis, considerando tanto perdas totais quanto parciais de função, o que exige colaboração entre áreas técnicas para avaliar os diferentes níveis de impacto.

- Passo C: Definição dos modos de falha e seus efeitos, com base em registros históricos, práticas atuais e recomendações dos fabricantes.
- Passo D: Escolha da estratégia de manutenção mais adequada, levando em conta fatores como indicadores de desempenho, risco da falha, tempo de resposta e viabilidade econômica.
- Passo E: Trata da implementação das estratégias selecionadas, revisando cronogramas, ajustando estoques, adquirindo equipamentos necessários e capacitando a equipe para novos procedimentos.
- Passo F<sup>1</sup>: Corresponde à otimização contínua e consolidação do programa RCM/MCC. Isso envolve o monitoramento sistemático dos resultados.
- Passo G: Revisões periódicas frente a mudanças operacionais, e o reforço do comprometimento gerencial. O sucesso do RCM depende de metas claras, treinamento adequado, documentação acessível e aplicação piloto, assegurando que a confiabilidade seja integrada de forma sustentável à estratégia de manutenção da empresa

Os resultados desejados após a aplicação da metodologia RCM, de acordo com Moubray (2000), envolvem o aumento do desempenho operacional em qualidade e quantidade, maior proteção ambiental e segurança, elevação da efetividade dos custos de manutenção, prolongamento da vida útil dos ativos, desenvolvimento de um banco de dados completo, além de ganhos motivacionais nas equipes e melhorias no trabalho colaborativo.

## 2.4 Planejamento e controle da manutenção - PCM

O setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) deve ser considerado a parte mais importante da manutenção, pois é dele que se originam as atividades, os controles e os processos de gerenciamento (DUTRA, 2019).

A implantação do PCM busca atender às necessidades da empresa em termos de disponibilidade, confiabilidade, custo e segurança dos ativos. O desafio inicial está em definir o momento e a forma ideais de implantação, especialmente em empresas já em operação, que precisam de resultados rápidos (ROSÁRIO JUNIOR, 2009).

Para gerir todo esse plano, que é bem complexo, a maior parte das grandes empresas tem, além de um bom software, um setor ou uma estrutura de pessoas que compõe o PCM (Planejamento e Controle de Manutenção). Esses profissionais apoiam o gestor de manutenção na criação e no controle desse plano de manutenção, gerando e analisando os indicadores pertinentes à área de manutenção – normalmente são técnicos de manutenção com muita experiência e habilidades administrativas. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2012. p. 48)

Das atividades do PCM, são diversos resultados que são colhidos, porém são muitas atribuições extremamente necessárias.

Segundo Dutra (2019, p. 55):

---

<sup>1</sup> Os passos F e G podem ser feitos de forma simultânea.

- A definição de metas e dos indicadores de desempenho das atividades de manutenção;
- Criação de padrões e procedimentos de trabalho para a manutenção;
- O detalhamento dos planos de ação para atingimento das metas;
- Gerenciar os planos de Inspeção, Manutenção Preventiva, Preditiva e Lubrificação;
- Incorporar novas tecnologias de Inspeção e Manutenção Preditiva;
- Representar a Manutenção na interface com a engenharia de Novos Projetos;
- Gerenciar o programa sistemático de capacitação do pessoal da Manutenção;
- Controlar a documentação técnica da manutenção;
- Coordenar o programa de análise de falhas;
- Controlar os padrões e procedimentos de trabalho da manutenção;
- Responsabilizar-se pelos projetos de manutenibilidade da manutenção;
- Controlar a contratação de serviços de terceiros;
- Controlar e gerenciar os custos da manutenção;

O uso de software ou CMMS é de extrema importância. Segundo o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2012), esses sistemas devem permitir cadastramento dos ativos, criação de nota de manutenção, criação de ordens de manutenção e gestão das ordens após a execução.

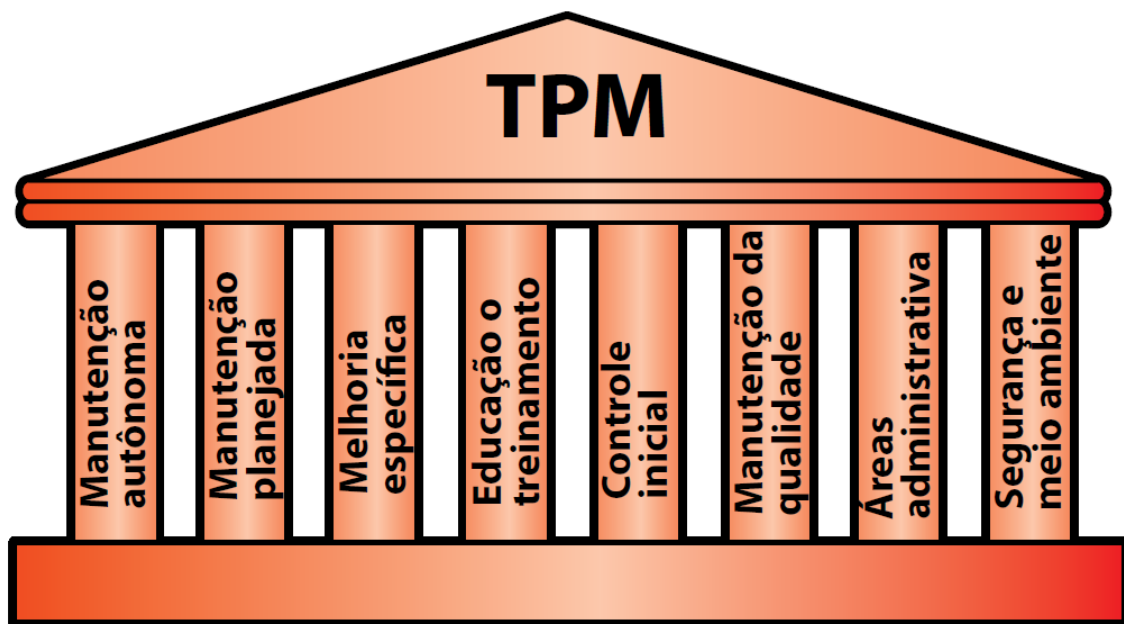
O PCM utiliza a análise de dados históricos e a identificação de falhas que são arquivados pelo CMMS para melhorar a confiabilidade, disponibilidade e o desempenho dos ativos industriais. Através disso conseguimos realizar as análises das falhas e chegar na raiz dos problemas.

Segundo Cyrino (2020), a ferramenta *Emergency Work Order* (EWO), utilizada na metodologia *World Class Manufacturing* (WCM), tem como propósito principal o registro detalhado de falhas, apoiando o processo de identificação da causa raiz por meio de técnicas como 5W-1H e os 5 porquês. Essa abordagem sistemática contribui para uma manutenção mais eficaz e orientada à melhoria contínua.

## 2.5 Os Pilares da Manutenção Produtiva Total - TPM

A Figura 5 mostra os pilares que sustentam o TPM, uma filosofia de gestão industrial focada na maximização da eficiência dos equipamentos e da produção, através da prevenção de falhas e perdas, envolvendo todos os colaboradores.

Figura 5 – Pilares do TPM.



Fonte: SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2012

O TPM busca a parada zero por meio da eliminação de perdas relacionadas a quebras, setups, ajustes, microparadas, ociosidades, baixa velocidade, início de produção e retrabalhos (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2012).

Para conseguir alcançar o objetivo principal, foi descrito de forma separada cada um dos pilares dessa metodologia conforme veremos a seguir:

### 2.5.1 *Manutenção autônoma*

A manutenção autônoma tem como objetivo envolver os operadores diretamente nos cuidados básicos com os equipamentos, promovendo o senso de responsabilidade sobre sua conservação e funcionamento, por meio de metas e práticas definidas para alcançar esse nível de autonomia (Gonçalves, 2015).

Destaca como cuidados básicos e senso de responsabilidade as atividades como limpeza onde deve remover sujeira e resíduos, o que ajuda a inspecionar o equipamento. Pequenas inspeções buscando identificar pequenas anomalias (vazamentos, parafusos soltos, ruídos estranhos) antes que se tornem quebras. Ajustes e apertos pequenos que podem ser realizados mediante instrução.

O objetivo deste pilar é a melhoria da eficiência dos equipamentos desenvolvendo a capacidade dos operadores para execução de pequenos reparos e inspeções, mantendo o processo de acordo com padrões estabelecidos antecipando-se aos problemas potenciais. (GONÇALVES, 2015. p. 42)

### **2.5.2 Manutenção Planejada:**

A manutenção planejada dentro do TPM, segundo Gonçalves (2012), busca romper com a cultura tradicional de separação entre produção e manutenção, promovendo a conscientização das perdas causadas por falhas nos equipamentos. O objetivo é desenvolver uma atuação integrada entre operadores e mantenedores, onde ambos compartilham responsabilidades na eliminação de falhas e na redução de custos operacionais.

Foca em eliminar paradas não planejadas e aumentar a confiabilidade dos equipamentos através de um planejamento sistemático, utilizando métodos como manutenção preventiva e preditiva visando reduzir custos e maximizar a disponibilidade da produção.

Este pilar define como as manutenções que são previamente agendadas deverão funcionar, tanto as de intervenção quanto as de medição e inspeção, estabelecendo critérios de prioridade (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2012).

### **2.5.3 Melhoria específica**

Segundo o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2012), este pilar a partir da análise de falhas existentes que impactam perdas produtivas e desempenho, busca desenvolver melhorias e estruturar os caminhos para sua execução.

Foco em eliminar as grandes perdas de equipamentos e processos para aumentar o OEE. utilizando equipes multidisciplinares, análise de causa raiz e ferramentas como 5W2H, Ishikawa e 5 Porquês, visando ganhos de produtividade e redução de custos através de ações. Em nosso estudo de caso veremos estas ferramentas englobadas no EWO de forma adaptada.

Melhoria individual (*Kobetsu-Kaizen*), atividade que serve para erradicar, de forma concreta, as grandes perdas que reduzem o OEE do equipamento. Através da eliminação dessas perdas, melhora-se a eficiência global do equipamento. OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) = Eficiência Operacional Máxima tem como objetivo a eliminação das perdas existentes no processo produtivo, obtendo a eficiência máxima dos equipamentos. (GONÇALVES, 2015. p. 42).

### **2.5.4 Educação e treinamento**

É fundamental no TPM capacitar colaboradores, desenvolvendo conhecimentos técnicos e comportamentais, garantindo que todos entendam e executem suas funções no programa, usando ferramentas como a matriz de habilidades para identificar lacunas e criar planos de desenvolvimento que apoiam os outros pilares da TPM, visando eficiência e melhoria contínua.

Para que todos esses pilares sejam implantados adequadamente, é fundamental que a equipe seja treinada e preparada; para isso, há um pilar específico, que define como as pessoas serão preparadas para o TPM. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2012. p. 65).

Segundo Gonçalves (2015) no TPM, o pilar de Educação e Treinamento busca desenvolver as competências dos colaboradores por meio de um processo contínuo de capacitação. O objetivo é permitir que os profissionais compreendam os fenômenos operacionais e atuem com autonomia e segurança na execução de suas atividades. Isso se dá por meio de treinamentos, palestras e práticas que fortalecem o

conhecimento técnico e reduzem a ocorrência de falhas operacionais, contribuindo para um ambiente de trabalho mais eficiente, seguro e produtivo.

### **2.5.5 Controle inicial**

Com a produção voltada para lotes menores devido a produção puxada, as trocas de produtos se tornam mais frequentes, o que aumenta as perdas com *setup*. Esse pilar do TPM tem como foco minimizar essas perdas e otimizar o tempo de parada necessário para realizar os *setups* (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2012).

O pilar de controle inicial também foca em planejar e projetar novos equipamentos e processos para que sejam fáceis de operar, manter e tenham alta confiabilidade, tendo em vista as possíveis dificuldades de produção e manutenção do ativo e corrigir ainda nas fases iniciais.

Trata-se de consolidar toda a sistemática para levantamento das inconveniências, imperfeições e incorporação de melhorias, mesmo em máquinas novas e através dos conhecimentos adquiridos, tornar-se apto a elaborar novos projetos onde vigorem os conceitos PM (Prevenção da Manutenção), o que resultará em máquinas com quebra falha zero. (GONÇALVES, 2015. p. 42).

### **2.5.6 Manutenção da qualidade**

Conforme dito por SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (2012, p. 65) "Este pilar define práticas que levarão as empresas a ter zero defeito e zero retrabalho em seus produtos".

Foco em garantir a qualidade do produto e assegurar que os equipamentos e processos mantenham condições ideais, prevenindo defeitos e não conformidades de produtos e processos desde o início, através de análise de falhas, padronização de entradas, procedimentos e outros métodos.

Na metodologia TPM, o objetivo principal é eliminar as causas de defeitos por meio da definição de condições ideais para os equipamentos. Essa abordagem preventiva é baseada no conceito de manutenção que assegura a qualidade dos produtos. As condições operacionais dos equipamentos são constantemente verificadas e medidas, com o intuito de garantir que permaneçam dentro dos padrões aceitáveis. Dessa forma, é possível antecipar falhas e adotar ações corretivas antes que defeitos ocorram (GONÇALVES, 2012).

### **2.5.7 Áreas administrativas - integração**

Esse pilar orienta como os setores administrativos devem alinhar seus processos com os objetivos da produção, contribuindo de forma integrada com a implantação do TPM (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2012).

Como foco a aplicação dos princípios da manutenção produtiva total nas áreas administrativas, com o intuito de eliminar perdas, otimizar processos indiretos e tornar mais eficiente a atuação dos setores de apoio, como planejamento, recursos humanos, compras e financeiro. A proposta é ampliar o alcance da metodologia, promovendo uma gestão mais integrada e contribuindo diretamente para os resultados da produção (GONÇALVES, 2012).

O objetivo base deste pilar é aproximar os setores com a metodologia do TPM evitando processos demorados ou perda de informações devido a fluxos desnecessários.

### **2.5.8 *Segurança e meio ambiente***

Segundo o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2012) como o próprio nome diz o TPM também tem um pilar para segurança no trabalho e meio ambiente que define as práticas que devem ser utilizadas em relação a este assunto.

Foco na proteção de pessoas e do planeta, visando eliminar acidentes de trabalho, doenças ocupacionais e danos ambientais através da identificação de riscos, cumprimento de leis, uso de EPIs, gerenciamento de resíduos, eficiência energética e conscientização.

Segundo Gonçalves (2012), apresenta objetivo de cuidado com os colaboradores, reduzindo as faltas por motivos de doenças relacionadas ao meio de trabalho. Busca as reduções visando a meta de zero acidentes, doenças ocupacionais e danos ao meio ambiente.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do presente trabalho, descrevendo a abordagem utilizada, os métodos de coleta e análise dos dados, bem como os critérios empregados para a interpretação dos resultados.

Para alcançar os objetivos estabelecidos, foram utilizados dados relacionados às atividades de manutenção industrial, com ênfase nos indicadores de desempenho, MTBF, MTTR e especialmente o downtime de manutenção, devido à sua relação direta com a disponibilidade dos equipamentos e com as práticas de PCM.

Os dados analisados foram obtidos por meio de registros operacionais e sistemas de gestão da manutenção, permitindo uma avaliação estruturada do impacto das estratégias de manutenção sobre o desempenho dos ativos industriais.

#### 3.1 Paralelo da manutenção em uma planta de usinagem de discos e tambores de freio

Para esta etapa, foi realizado um levantamento de dados históricos de uma planta de usinagem de discos e tambores de freio, de modo a traçar um paralelo com a evolução das estratégias de manutenção descritas na fundamentação teórica conforme foi apresentado no tópico 2.1 deste trabalho. A análise contemplou a análise quantitativa das manutenções corretivas, o surgimento e consolidação das práticas preditivas, bem como o aumento da participação das manutenções preventivas no plano global. Esses indicadores refletem diretamente a maior disponibilidade técnica dos ativos e evidenciam a maturidade do Planejamento e Controle da Manutenção na organização estudada. Para tanto, foram extraídos e analisados registros de manutenção e produção referentes ao período de 01/2021 a 06/2025

Estes foram os passos utilizados para análise:

- Instalação de um novo software para manutenção.
- Extração de dados: Exportação de ordens de serviço, informações de paradas, relatórios de produção e registros de produção para o período definido.
- Métricas de downtime considerando o impacto gerado no OEE.
- Análise temporal: séries temporais e gráficos de área/coluna serão usados para evidenciar a transição entre estratégias por exemplo: de corretiva para preventiva/preditiva e o impacto dessa transição em indicadores operacionais.

A abordagem apresentada estabelece, a base para a análise dos resultados desenvolvida no item 4.1. Em um momento posterior, os dados reais da planta de usinagem serão apresentados e discutidos de forma detalhada, possibilitando a avaliação prática da evolução das estratégias de manutenção ao longo do período analisado.

## 3.2 Coleta e compilação de dados para a confiabilidade

A fundamentação teórica deste trabalho destacou que a robustez operacional e a garantia de qualidade são elementos fundamentais para a eficiência do PCM, conforme foi apresentado no tópico 2.2 deste trabalho, pois impactam diretamente os indicadores de desempenho, como o MTBF, MTTR e downtime (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Na indústria escolhida, esses conceitos foram incorporados à metodologia de estudo por meio da avaliação de indicadores que refletem a confiabilidade e a estabilidade operacional dos equipamentos críticos, tais como tornos e furadeiras CNC (mais conhecidos como centros de usinagem) balanceadoras, gravadoras, bancos de medição e outros.

- Coleta por meio de software CMMS eMaint<sup>1</sup> as informações necessárias para criação do indicador MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo Total de Operação (min)}}{\text{Número de Falhas (min)}}$$

- Coleta por meio de software CMMS as informações necessárias para criação do indicador MTTR.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de Reparo (min)}}{\text{Número de Reparos (min)}}$$

- Coleta por meio de software CMMS e folhas de produção as informações necessárias para criação do indicador downtime.

$$Downtime = \frac{\text{Tempo em Manutenção Não Programada (min)}}{\text{Tempo Total (Operacional + Paradas)(min)}}$$

- Cumprimento do Plano Preventivo: analisado como forma de verificar a eficácia das práticas de PCM na preservação da confiabilidade e da qualidade dos ativos ao longo de sua vida útil.

Dessa forma, os conceitos teóricos de robustez operacional e garantia de qualidade foram operacionalizados na metodologia como critérios de avaliação da eficiência do PCM dentro da empresa estudada. Essa integração permite verificar se a gestão da manutenção, além de atender aos requisitos produtivos, também assegura padrões elevados de desempenho e qualidade, alinhados às exigências de competitividade da indústria automotiva conforme veremos no item 4.2 deste trabalho.

## 3.3 Aplicação do MCC no Setor de Usinagem

Para avaliar a eficiência do PCM, aplicou-se parte da metodologia MCC, conforme discutido na fundamentação teórica Seção 2.3 deste trabalho. Essa abordagem permite priorizar ativos críticos e compreender a relação entre falhas, funções e consequências.

Foram selecionadas máquinas representativas do processo produtivo e para cada uma delas elaborou-se uma análise que contempla:

<sup>1</sup> Software de gerenciamento de manutenção feito pela empresa Fluke.

- Funções e expectativas de desempenho;
- Elencar notas para cada equipamento com base em uma matriz GUT adaptada a realidade da empresa;
- Seleção e priorização de ativos: elaboração de matriz de criticidade com critérios e pesos. Ativos com maior pontuação foram selecionados como prioritários para análise MCC;
- Modos de falha potenciais e seus meios de controle;
- Ações preventivas possíveis e planos de contingência quando medidas não puderem ser aplicadas de forma imediata.

Para estruturar a análise, utilizaram-se tabelas de priorização de ativos e quadros de modos de falha que tem a ideia analoga ao FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), uma ferramenta usada para identificar falhas potenciais em processos, sistemas ou produtos, analisando suas causas e consequências, e priorizando ações para evitar as falhas e assim aumentar a confiabilidade e a segurança, minimizando riscos antes que ocorram, que servem como base para o plano de ação proposto no PCM da empresa conforme sera demonstrado no tópico 4.3 deste trabalho.

### 3.4 O PCM em prática

Mapeamento do fluxo de trabalho da manutenção, geração de ordens de serviço, e gestão dos sistemas de gerenciamento CMMS, criação de planilhas do gerenciamento de indicadores e monitoramento de dashboards conforme já levantado no tópico 2.4 deste trabalho.

Para isso, os elementos avaliados foram:

- Padrões e procedimentos: existência e adesão as instruções de trabalho e roteiros de manutenção;
- Planejamento x programação: análise do cronograma mensal x execução real mostrando o percentual de atividades programadas cumpridas no prazo;
- Indicadores de desempenho - gestão dos dados.

Os aspectos descritos neste tópico têm como objetivo a análise apresentada no item 4.4 deste trabalho. Nessa etapa, os dados e evidências coletados a partir do mapeamento da estrutura do PCM, do fluxo de ordens de serviço e do uso dos sistemas de suporte à manutenção serão apresentados e discutidos junto dos indicadores de desempenho observados na planta analisada.

### 3.5 TPM em busca da parada zero

Avaliação do TPM - item 2.5 - na planta será feita por pilar, com evidências e métricas para cada um dos subitens: manutenção autônoma, manutenção planejada, melhoria específica, educação e treinamento, controle inicial, manutenção da qualidade, áreas administrativas, segurança e meio ambiente.

- Instrumento: Estratégias aplicadas a cada pilar.
- Evidência qualitativa: Informações com operadores e líderes sobre práticas de manutenção autônoma e exemplos de melhoria.

Os procedimentos descritos neste tópico estabelecem a base para a análise apresentada no item 4.5 deste trabalho. Nessa etapa, serão discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação dos pilares do TPM na planta analisada, considerando as evidências coletadas e as métricas associadas a cada pilar. A análise permitirá avaliar, de forma prática, como as estratégias adotadas contribuíram para a redução de falhas, o aumento da confiabilidade dos equipamentos e a busca pela meta de parada zero, em concordância com os conceitos teóricos apresentados na Seção 2.5.

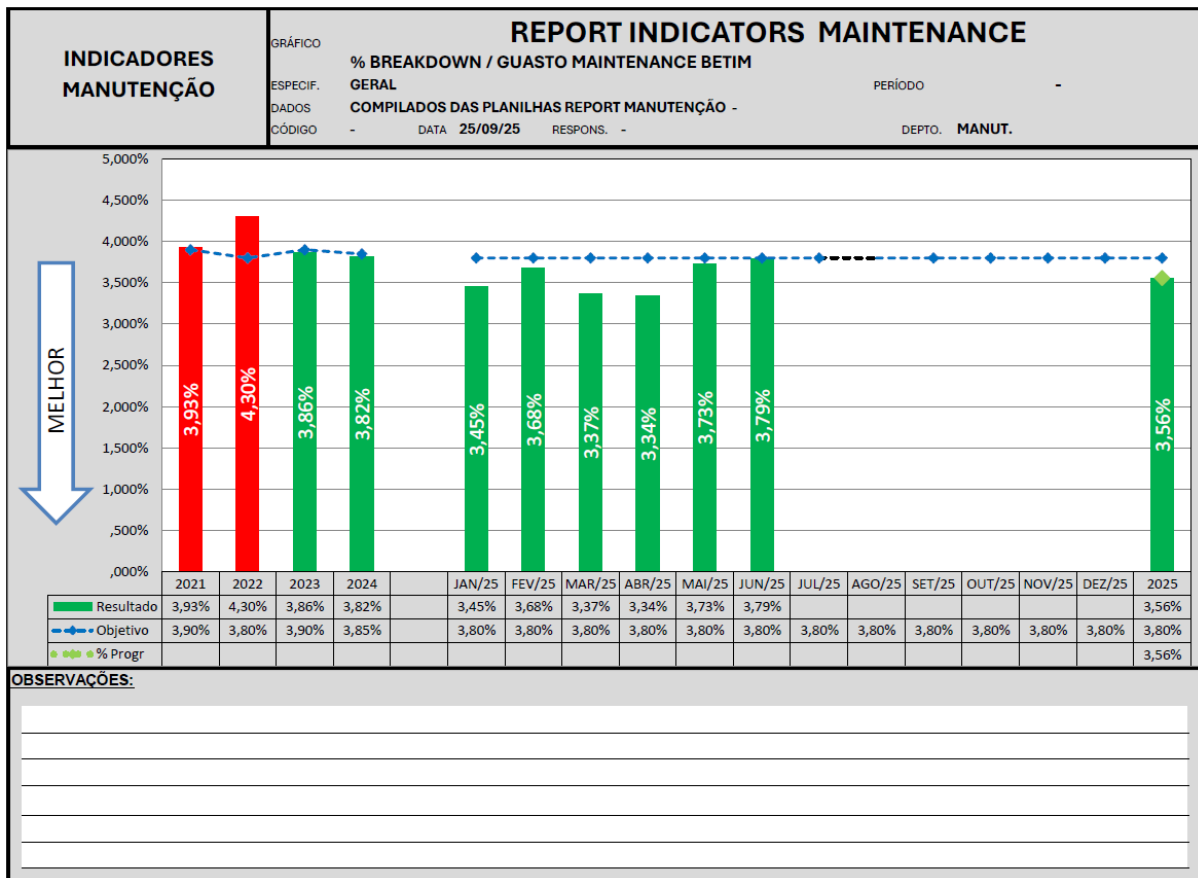
## 4 RESULTADOS

### 4.1 Evolução da manutenção da planta em Betim

A análise da linha do tempo das manutenções realizadas na planta escolhida permitiu observar a transição gradual das estratégias de manutenção ao longo do período de janeiro de 2021 a junho de 2025. Os dados extraídos das ordens de serviço, relatórios de produção e registros de parada foram organizados em séries temporais, evidenciando a evolução da participação relativa das manutenções corretivas, preventivas e preditivas. Esses dados coletados estão em acordo com a fundamentação apresentada por TELES (2019) de que as evoluções dos tipos de manutenção têm como principal objetivo evitar tais interrupções, que podem ser descritas pelo termo downtime.

Conforme a figura 6, percebemos que o indicador de downtime nos anos de 2021 e 2022 apresentaram uma alta significativa com relação ao budget, que é o parâmetro definido para este indicador. Essa constatação evidenciou a necessidade de reestruturar os processos de manutenção e, conseqüentemente, os indicadores que medem sua eficácia. Foi realizada uma avaliação detalhada dos principais indicadores de desempenho da manutenção - KPIs, como downtime, MTBF e MTTR.

Figura 6 – Downtime 2021 a 2025.



Fonte : Elaborado pelo autor, 2021.

A análise demonstrou falhas recorrentes em equipamentos críticos, baixa adesão ao plano de manutenção preventiva e ausência de um sistema estruturado de gestão das ordens de serviço com

lançamento em papel e de difícil gestão.

Para identificar os fatores que contribuíram para o aumento do downtime, foi aplicada a ferramenta para análise, a escolhida foi o EWO que é proveniente da metodologia do WCM implementada pela empresa no segundo semestre de 2022. Este modelo integra um conjunto estruturado de ferramentas de análise de falhas, de modo a garantir precisão diagnóstica e direcionamento eficaz das ações corretivas. O procedimento combina elementos do 5W1H, da análise de fenômeno, da análise de causa raiz e da técnica dos 5 Porquês, formando um fluxo investigativo sistemático. A análise EWO tem um caráter não apenas reativo, mas também propositivo, orientando a definição de ações corretivas e preventivas que eliminem a recorrência, aumentem a confiabilidade dos ativos e fortaleçam o sistema de gestão da manutenção. Esta análise mescla os conceitos que permitiram mapear possíveis causas relacionadas a:

- Falta de planejamento de manutenção preventiva;
- Capacitação técnica insuficiente da equipe;
- Ausência de controle eficaz de peças sobressalentes (almoxarifado);
- Manutenção ineficiente na resolução dos problemas na causa raiz;
- Perdas devido ao sistema de gerenciamento CMMS manual, sendo esse software o Engeman<sup>1</sup>.

Após o período de implementação, os indicadores passaram a apresentar melhorias consistentes. O downtime reduziu progressivamente, e a adesão ao plano de manutenção preventivo aumentou. Os processos que demonstraram bons resultados foram documentados e padronizados, com o objetivo de garantir a continuidade e a sustentabilidade das melhorias alcançadas.

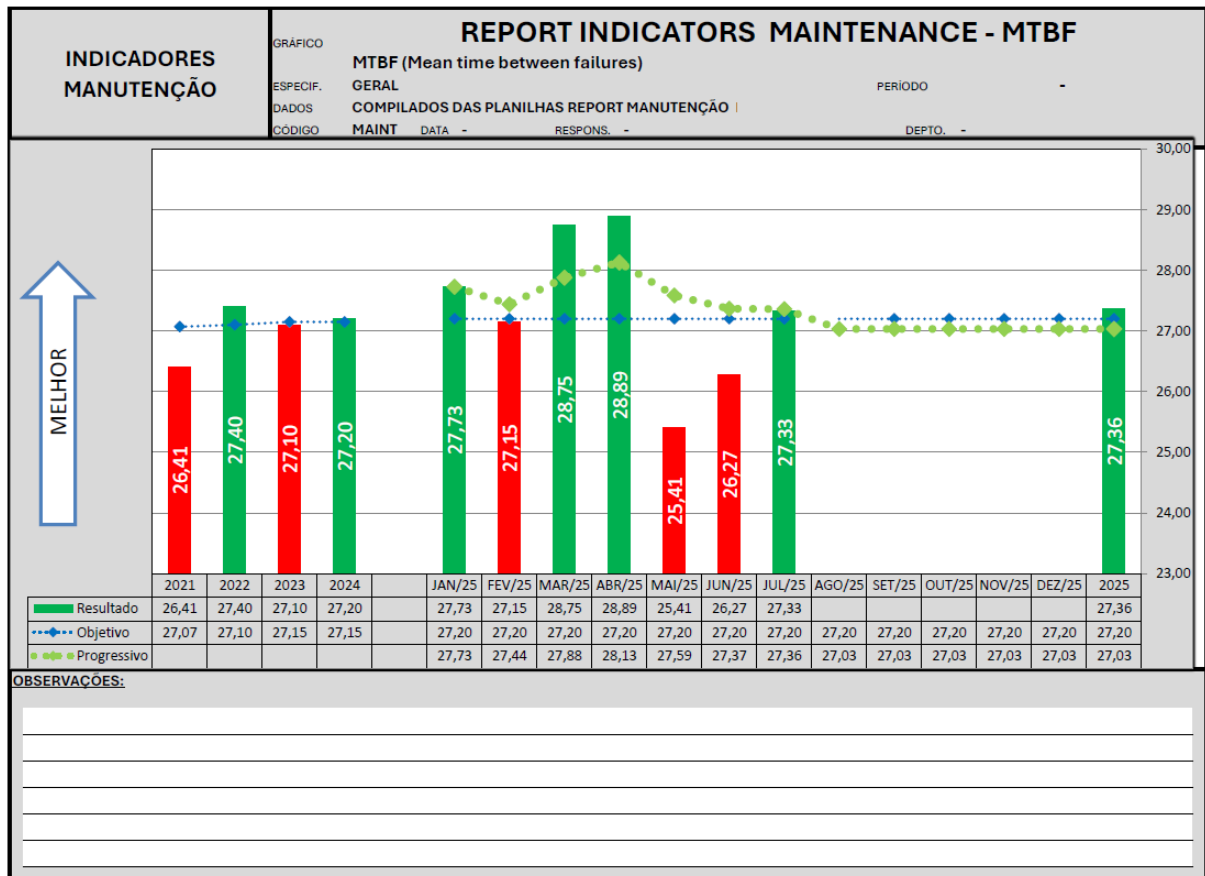
Conforme a figura 6, podemos dividir em períodos de análise para acompanhar as evoluções e estratégias do setor de manutenção ao longo destes anos.

- 2021–2022: Houve desvio negativo, principalmente em 2022 (4,30% com relação ao impacto no OEE), indicando excesso de paradas não planejadas. Neste ponto a equipe observa a necessidade de um plano de reação para os anos seguintes, aprofundando nas atividades de programação, PCM, troca de um sistema CMMS com todas as ordens digitais via eMaint pois até o momento, era utilizado o ENGEMAN como software de gerenciamento que nos permitia apenas ordens impressas e com gestão manual e criação de planos estratégicos para máquinas especiais (devido a licença de software utilizada).
- 2023–2024: Recuperação, com resultados próximos ou ligeiramente melhores que a meta (3,86% e 3,82% com relação ao impacto no OEE). Mostra maior equilíbrio das práticas de manutenção preventiva/preditiva. Implementação do pilar de manutenção profissional (PM) da metodologia WCM. Planos de investimentos, criação de budgets de treinamentos específicos.
- 2025: Consolidação da melhoria, com o menor downtime da série (3,56% com relação ao impacto no OEE), resultado abaixo da meta.

<sup>1</sup> Software nacional de gerenciamento de manutenção utilizado antes do Emaint.

A análise dos indicadores de MTBF e MTTR evidencia o impacto direto da ampliação das manutenções preventivas, da implantação de planos estruturados e da melhoria dos procedimentos de intervenção. Conforme apresentado na Figura 7, o MTBF apresentou elevação progressiva em relação a 2021, atingindo em 2025 valores próximos e até superiores às metas estabelecidas (27,36 horas). Esse resultado demonstra maior confiabilidade dos ativos e está associado à redução de falhas recorrentes, alcançada pela execução sistemática de planos preventivos e pela padronização de rotinas de inspeção.

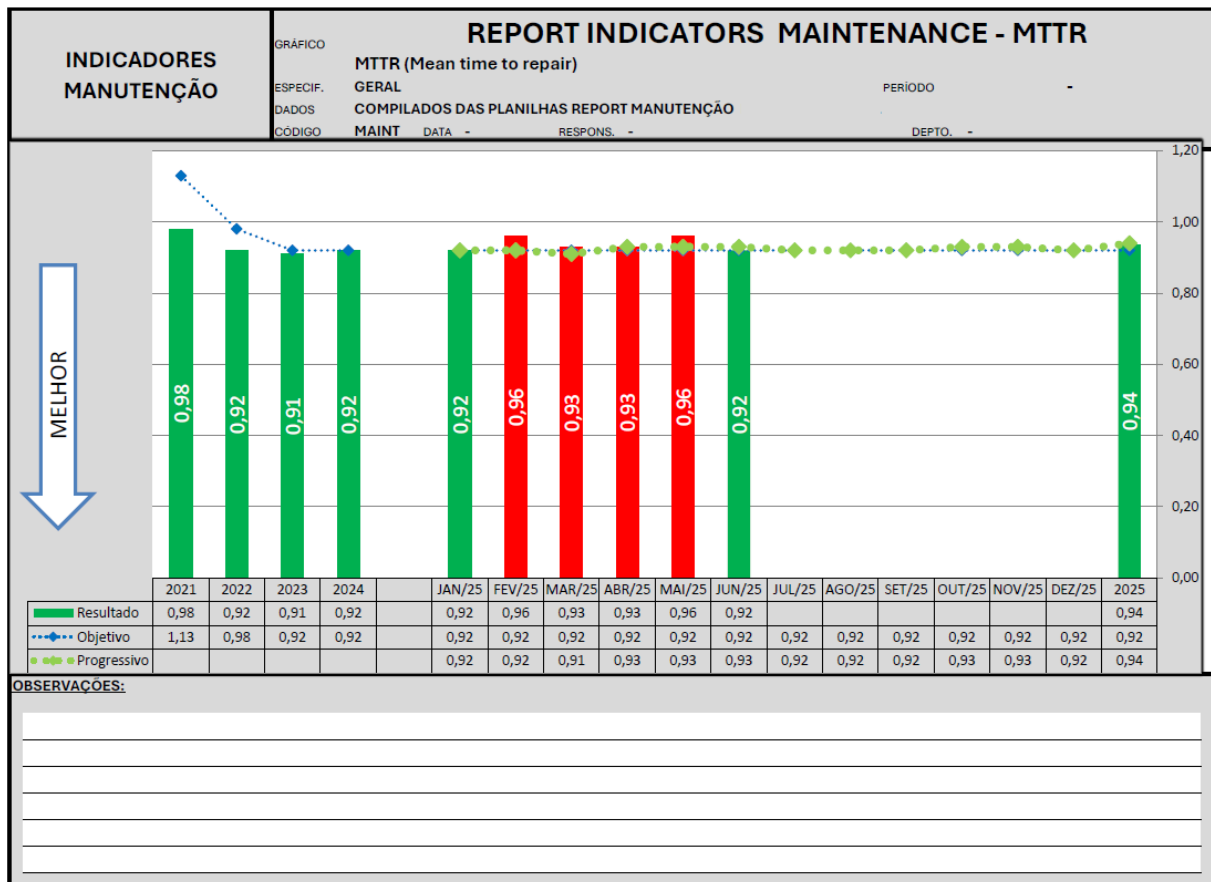
Figura 7 – MTBF 2021 a 2025.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Seguindo pela mesma linha, a Figura 8 mostra que o MTTR manteve-se consistentemente abaixo das metas em quase todo o período, evidenciando maior agilidade no tempo médio de reparo. Essa melhoria está relacionada tanto à capacitação da equipe quanto à formalização de procedimentos de manutenção, o que possibilitou maior rapidez e eficácia nas intervenções. Esses resultados confirmam a relação apontada por Fogliatto e Ribeiro (2011), segundo a qual o fortalecimento do PCM, aliado a práticas preventivas bem estruturadas, contribui para maior robustez operacional e ganhos significativos de confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

Figura 8 – MTTR 2021 a 2025.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os indicadores de MTBF e MTTR utilizados neste estudo foram consolidados para toda a planta, oferecendo uma visão global do desempenho da manutenção. Esse formato é válido para análises estratégicas e para comparações históricas, conforme indicado por Fogliatto e Ribeiro (2011). Entretanto, reconhece-se que tal abordagem pode mascarar comportamentos específicos de determinadas linhas ou equipamentos, motivo pelo qual, em práticas avançadas de PCM, recomenda-se o desdobramento desses indicadores por linha de produção

## 4.2 Análise de dados - aumentando a robustez da manutenção

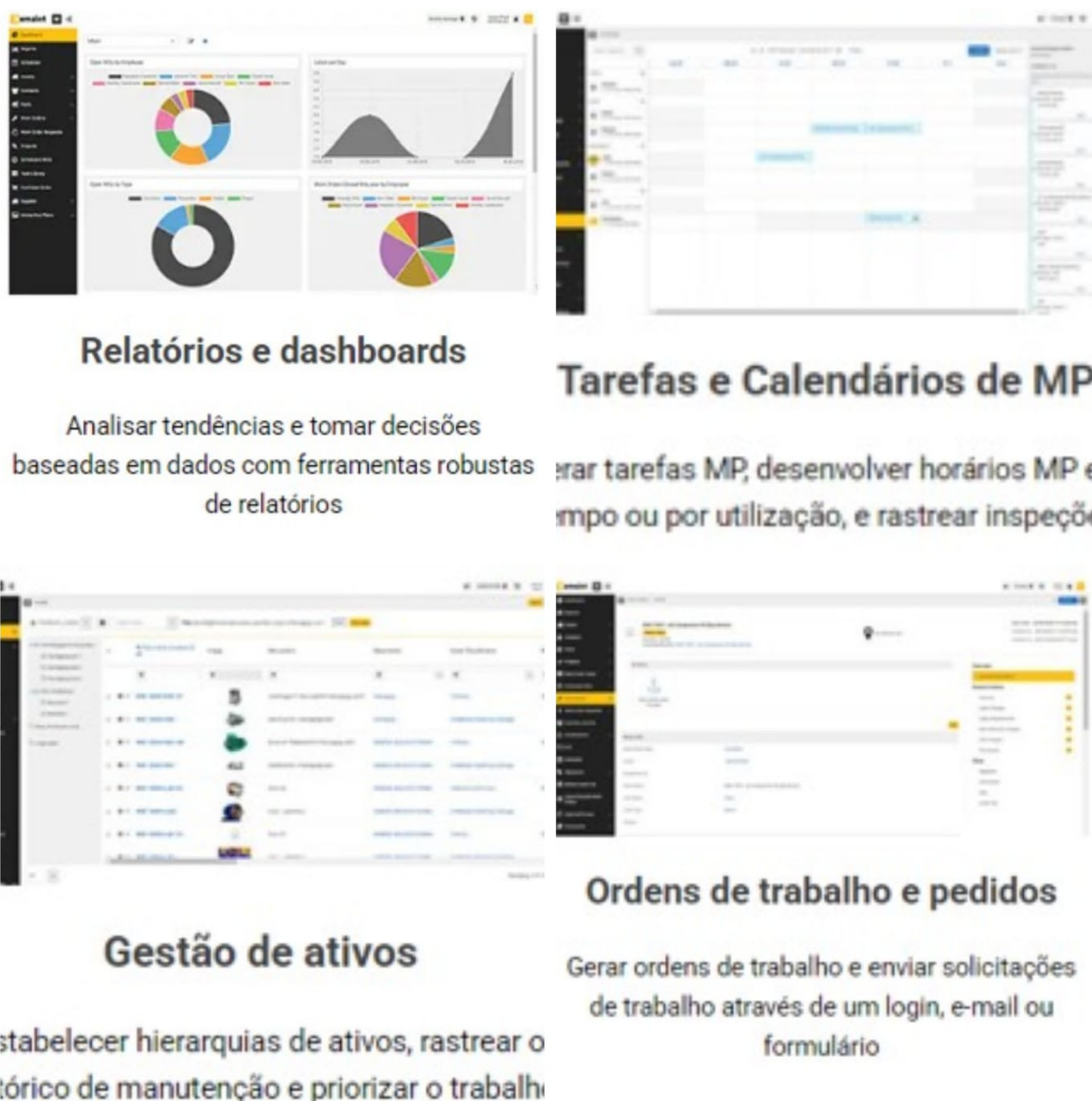
Historicamente, a gestão da manutenção na planta escolhida era realizada por meio de um software nacional, voltada ao planejamento e controle da manutenção. Embora o sistema oferecesse recursos para cadastro de ativos, programação de atividades e emissão de ordens de serviço, sua utilização estava fortemente apoiada em processos manuais. As ordens de serviço eram emitidas de forma impressa, e o fechamento das atividades não ocorria de maneira digital integrada, o que dificultava a consolidação das informações e o acompanhamento em tempo real dos indicadores de desempenho.

Com o crescimento da demanda produtiva e a necessidade de maior precisão nos relatórios de disponibilidade e confiabilidade, tornou-se evidente a limitação da licença do software então adotado.

Nesse contexto, ocorreu a migração para o eMaint, software de manutenção da empresa Fluke baseado em nuvem e com funcionalidades mais avançadas de gestão. Diferentemente do sistema anterior, o eMaint possibilitou o fechamento digital das ordens de serviço, eliminando a dependência de registros em papel e aumentando a rastreabilidade das informações após o aumento na aquisição das quantidades de licenças<sup>2</sup>.

A Figura 9 mostra alguns pontos importantes que fortaleceram a decisão de substituição do software utilizado.

Figura 9 – Funcionalidades importantes do novo software.



Fonte: Banco de dados da empresa, 2025

Além disso, a principal melhoria percebida foi a integração de dashboards analíticos diretamente ao sistema, permitindo a visualização dinâmica e em tempo real das principais ocorrências da manutenção. Essa funcionalidade ampliou a capacidade de análise da equipe, favorecendo a tomada de decisões

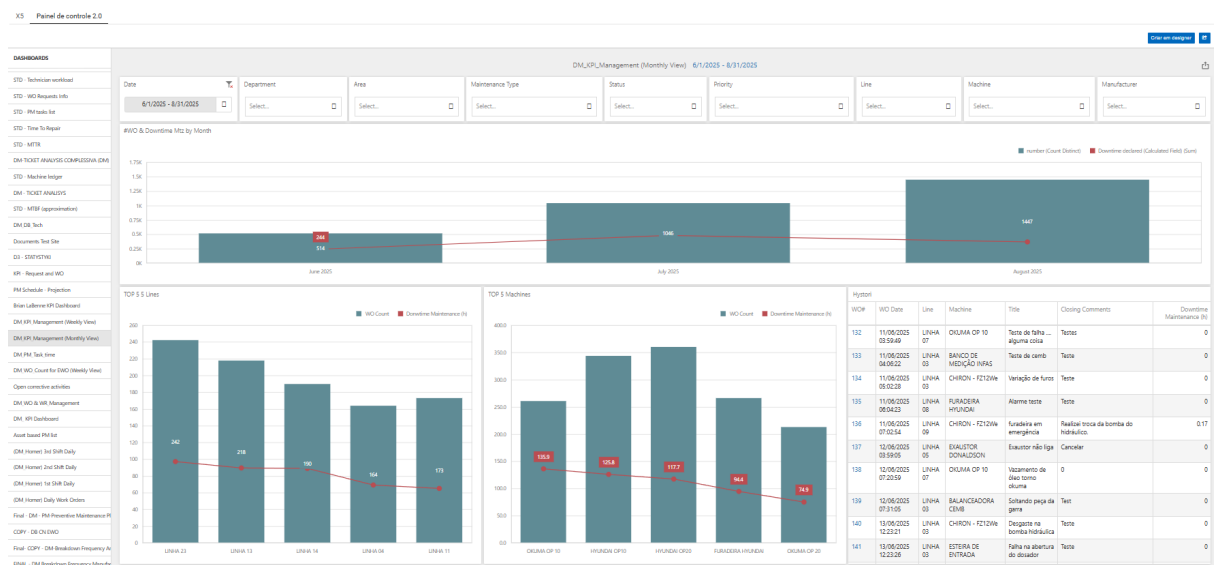
<sup>2</sup> Inicialmente durante o teste haviam apenas 3 usuários, após os testes todos os colaboradores estão incluídos.

estratégicas e a implementação de ações corretivas mais eficazes, consolidando um novo patamar na gestão da manutenção da planta. A possibilidade de consolidar informações em painéis analíticos integrados. Essa evolução fortaleceu a capacidade de análise de dados, permitindo compreender tendências, mapear pontos críticos e estruturar ações de forma mais estratégica. O resultado foi uma maior robustez da manutenção, sustentada em decisões baseadas em evidências, o que elevou o nível de confiabilidade dos ativos e contribuiu diretamente para a melhoria dos indicadores de desempenho da planta.

A adoção do eMaint também possibilitou a realização de análises mais detalhadas, permitindo segmentar os períodos de avaliação, identificar as linhas de produção com maior índice de falhas e, dentro delas, destacar as máquinas mais críticas. Esse aprofundamento analítico levou a equipe a alcançar o nível de detalhamento necessário para compreender o comportamento da manutenção em sua essência. Como resultado, foi possível aplicar de forma mais eficaz o uso do EWO, direcionando os esforços para as ocorrências realmente prioritárias e reduzindo o impacto das falhas inesperadas sobre a produção.

A figura 10 é apenas um exemplo de um dashboard utilizado para a visualização dos dados de manutenção da planta analisada. Por meio dessa ferramenta, é possível acompanhar, de forma integrada, indicadores relevantes como o tempo total de parada dos equipamentos, a quantidade de ocorrências de downtime, bem como os indicadores de MTBF e MTTR.

Figura 10 – Exemplo de análise por meio de Dashboard.



Fonte: Banco de dados da empresa, 2025

A utilização do novo software de gestão da manutenção possibilitou estratificar de forma mais detalhada o MTBF, indicador reconhecido como uma das principais métricas de avaliação da confiabilidade dos ativos industriais (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Para garantir a consistência da análise, foi realizada uma etapa de tratamento dos dados coletados. Esse processo envolveu a remoção de registros duplicados de paradas, a exclusão de ordens de serviço que não geraram impacto efetivo em downtime e a padronização das categorias de falha. A limpeza das informações visou eliminar distorções que poderiam comprometer os resultados, assegurando maior precisão estatística na avaliação dos indicadores. Conforme apresentado no tópico 4.1, após a análise, os

dados foram organizados em séries temporais e representados em gráficos de indicadores, permitindo identificar padrões de falhas, períodos críticos de indisponibilidade e tendências de comportamento dos equipamentos. Esse nível de detalhamento proporcionado pelo uso do sistema fortalece a robustez das análises de manutenção, conferindo maior confiabilidade às conclusões obtidas

Embora o cálculo do MTBF em nível global da planta forneça uma visão consolidada da confiabilidade dos ativos, essa abordagem pode mascarar disparidades relevantes entre equipamentos. A análise por máquina ou por linha de produção é considerada mais robusta, pois permite identificar com precisão quais ativos apresentam maior criticidade, direcionando os esforços de manutenção para onde são efetivamente necessários. Essa forma de estratificação possibilita, por exemplo, reconhecer padrões de falhas recorrentes em determinados equipamentos e priorizar ações corretivas ou preventivas de maior impacto.

Para o presente estudo, a análise foi realizada de forma global, uma vez que o acesso aos dados individuais de cada ativo demandaria níveis de visualização e permissões específicas que não estavam disponíveis no momento da pesquisa. Ainda assim, a avaliação consolidada foi suficiente para identificar tendências relevantes e subsidiar discussões sobre a confiabilidade dos equipamentos da planta.

### 4.3 Integração do MCC à Realidade da Planta

Com o objetivo de buscar melhorias nos indicadores, conforme apresentado no item 2.3 deste trabalho, inicia-se a seleção das áreas prioritárias, identificando os recursos físicos que impactam significativamente o desempenho organizacional. Com isso surge a necessidade de classificar os ativos da organização.

Para este passo utilizamos uma versão adaptada da matriz de gravidade, urgência e tendência (GUT), onde temos:

- G = Gravidade - Fator relacionado à gravidade gerada pela possível indisponibilidade do equipamento, em relação ao comprometimento das entregas ao cliente.
- U = Urgência - Fator relacionado ao nível de urgência para disponibilização do equipamento ao processo produtivo. Neste item é avaliada a possibilidade de fabricação do produto em outro equipamento, ponto que influencia diretamente na tomada de decisões para priorização das atividades.
- MO = Mão-de-obra - Fator relacionado aos recursos humanos necessários para identificação de problemas, levantamento de necessidades e realização das ações para regularização do equipamento.
- PC = Peças e Custos - Fator relacionado aos recursos materiais físicos, digitais e custos que serão necessários para reestabelecimento do equipamento e disponibilização ao processo produtivo.

As responsabilidades da manutenção neste processo são de relacionar todos os equipamentos da fábrica, inclusive os classificados como utilidades (compressores, geradores, etc.) inserindo-os na matriz de criticidade de equipamentos e utilidades, e classificá-los de acordo com as orientações.

A Tabela 1 mostra como foi realizada a classificação para cada um dos pesos para gravidade, urgência, mão de obra, peças e custos.

Tabela 1 – Critérios para classificação.

| PESO | PARADA PODE COMPROMETER A ENTREGA AO CLIENTE. [GRAVIDADE - G] | PRODUÇÃO PODE SER REALIZADA EM OUTRO EQUIPAMENTO. [URGÊNCIA - U]      | MÃO DE OBRA PARA A CORREÇÃO DO PROBLEMA. [MO]         | PEÇAS E CUSTOS PARA A CORREÇÃO DO PROBLEMA. [PC]             | CLASSIFICAÇÃO MÁXIMA. $G \times U \times MO \times PC$ |
|------|---|---|---|--|--|
| 5    | SIM<br>100%.  | NÃO.  | EXTERNA, FORNECEDOR ESPECÍFICO EM ACIMA DE 150 KM.    | DIFÍCIL AQUISIÇÃO, ALTO CUSTO AGREGADO E MATERIAL IMPORTADO. | 100  |
| 4    | SIM<br>EM ATÉ 75%.  | SIM, COM GRANDE QUANTIDADE DE TRABALHO E COM PERCA DE PRODUTIVIDADE.  | EXTERNA, FORNECEDOR ESPECÍFICO EM ATÉ 150 KM.         | DIFÍCIL AQUISIÇÃO, ALTO CUSTO MATERIAL NACIONAL.             | 80   |
| 3    | SIM<br>EM ATÉ 50%.  | SIM, COM PEQUENA QUANTIDADE DE TRABALHO E COM PERCA DE PRODUTIVIDADE. | EXTERNA, COM MAIS DE 1 FORNECEDOR EM ACIMA DE 150 KM. | FÁCIL AQUISIÇÃO, CUSTO MÉDIO, MATERIAL IMPORTADO.            | 60   |
| 2    | SIM<br>EM ATÉ 25%.  | SIM, COM GRANDE QUANTIDADE DE TRABALHO E SEM PERCA DE PRODUTIVIDADE.  | EXTERNA, COM MAIS DE 1 FORNECEDOR EM ATÉ 150 KM.      | FÁCIL AQUISIÇÃO, CUSTO MÉDIO, MATERIAL NACIONAL.             | 45   |
| 1    | NÃO.  | SIM, COM PEQUENA QUANTIDADE DE TRABALHO E SEM PERCA DE PRODUTIVIDADE. | INTERNA.  | ESTOQUE INTERNO, BAIXO CUSTO.                                | 20   |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Os cálculos para a empresa analisada são baseados na seguinte fórmula de prioridade:

$$Prioridade = (G*5)+(U*12)+(MO*1)+(PS*2)$$

Na matriz de criticidade, representada pela Tabela 2, a coluna prioridade determina a classificação dos equipamentos e utilidades, a qual deve ser ordenada de forma decrescente, ou seja, o equipamento com maior pontuação é o mais crítico e assim por diante.

Tabela 2 – Demonstração de preenchimento da matriz.

| MATRIZ DE CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS |                          |           |          |             |               |            |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------|----------|-------------|---------------|------------|
| Código                                | Descrição do Equipamento | Gravidade | Urgência | Mão-de-Obra | Peças e Soft. | Prioridade |
| 001                                   | EQUIPAMENTO 01           | 3         | 5        | 2           | 4             | 85         |
| 002                                   | EQUIPAMENTO 02           | 5         | 4        | 4           | 3             | 83         |
| 003                                   | EQUIPAMENTO 03           | 5         | 3        | 1           | 2             | 66         |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Foram considerados críticos pela manutenção os equipamentos ou utilidades que atingem uma pontuação igual ou superior a 90 pontos criticidade tipo A, pela classificação através do procedimento interno da matriz de criticidade de equipamentos e utilidades. Os valores com pontuação igual ou maior de 50 a 89 são consideráveis criticidade tipo B, os valores abaixo de 50 são considerados criticidade tipo C.

Após a definição dos equipamentos e utilidades classificados como críticos, foi conduzida a análise dos modos de falha, etapa na qual cada componente do ativo é avaliado individualmente quanto ao seu potencial de falha e às consequências associadas.

Para este estudo, adotou-se uma matriz de decomposição de máquina, análoga ao FMEA que nos permitiu estruturar o ativo em seus principais subconjuntos e elementos funcionais, possibilitando a identificação detalhada das possíveis falhas em cada peça ou componente. Essa abordagem sistematiza o diagnóstico das causas e efeitos das falhas, servindo de base para a definição de estratégias de manutenção mais precisas e eficazes.

Conforme a Tabela 3, podemos observar melhor a ideia da ferramenta utilizada.

Tabela 3 – Decomposição de máquinas - buscado as possíveis falhas funcionais.

| NÍVEL 1: PRINCIPAIS ÁREAS DA MÁQUINA |             | NÍVEL 2: GRUPO FUNCIONAL |         | NÍVEL 3: ELEMENTOS FUNCIONAIS |            | Quantidade    | Classificação | Tipos de Falhas | AM       | Inspeção  | Manutenção de Referência |
|--------------------------------------|-------------|--------------------------|---------|-------------------------------|------------|---------------|---------------|-----------------|----------|---|--------------------------|
| ID                                   | Nível 1     | Nível 2                  | Nível 3 | Elemento Funcional            | Quantidade | Classificação | Previsível    | Inspeção        | AM       | Inspeção  | Manutenção de Referência |
| 1.01.04                              | TORNO OKUMA | EIXO PRINCIPAL - SPINDLE | 5       |                               | 2          | A             | PREVISÍVEL    | NO              | INSPEÇÃO | USANT BB-41 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO   |                          |
| 1.01.05                              | TORNO OKUMA | EIXO PRINCIPAL - SPINDLE | 1       |                               | 1          | A             | PREVISÍVEL    | NO              | INSPEÇÃO | USANT BB-41 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO   |                          |
| 1.01.26                              | TORNO OKUMA | EIXO PRINCIPAL - SPINDLE | 1       |                               | 1          | A             | PREVISÍVEL    | NO              | INSPEÇÃO | USANT BB-41 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E TESTE DE ISOLAMENTO DOS MOTORES SPINDLE |                          |
| 1.01.30                              | TORNO OKUMA | EIXO PRINCIPAL - SPINDLE | 1       |                               | 1          | A             | PREVISÍVEL    | NO              | INSPEÇÃO | USO DE FREQUENCIÓMETRO AVALIANDO VALORES EM PROCEDIMENTO USANT BB-31      |                          |
| 1.01.32                              | TORNO OKUMA | EIXO PRINCIPAL - SPINDLE | 1       |                               | 1 CONJUNTO | A             | PREVISÍVEL    | NO              | INSPEÇÃO | ANÁLISE DE FORMA VISUAL DESGASTES DA POLHA EM PREVENTIVA                  |                          |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A Tabela 3 apresenta um exemplo da matriz de decomposição de máquinas, ferramenta utilizada para estruturar a análise dos ativos em grupos funcionais, tais como mandril principal, sistema de eixos X, sistema de eixos Z, painel elétrico, sistema hidráulico e sistema pneumático. Em cada grupo, são identificadas e categorizadas as possíveis falhas, de modo a permitir o desenvolvimento de meios de controle específicos para cada uma delas. Essa sistematização viabiliza uma abordagem direcionada para a eliminação das causas recorrentes de falhas, orientando as ações de manutenção em busca da meta de quebra zero e do aumento da confiabilidade operacional.


Dois exemplos que evidenciam a eficácia da matriz de decomposição de máquina são a identificação do motor principal e da correia associada como itens de classificação prioritária “A”, dentro de um ativo também classificado como crítico. A partir dessa análise, é possível definir meios de controle específicos voltados à meta de quebra zero.

No caso do motor principal, um dos métodos aplicáveis é a análise de isolamento entre bobinas, realizada por meio de ensaio com megômetro, a fim de detectar precocemente degradações no isolamento

elétrico. Já para o conjunto de correias, o controle de tensionamento é uma prática essencial para evitar escorregamentos, desgaste prematuro e consequentes paradas não programadas. Ressalta-se que os exemplos citados representam apenas parte dos controles possíveis, uma vez que cada modo de falha pode demandar procedimentos específicos conforme suas características e criticidade.

A Tabela 4 mostra um dos procedimentos de verificação criados por meio das análises feitas após estes procedimentos.

Tabela 4 – Relatório de controle dos motores.

| AFERIÇÃO DO ISOLAMENTO DO MOTOR  |              |          |                |
|--|--------------|----------|----------------|
| <b>MOTOR SPINDLE</b>   |              |          |                |
| DATA:  | 22/09/2022   | LINHA:   | 11             |
| RESPONSÁVEL PELA INSPEÇÃO:   |              |          |                |
| MÁQUINA:   | 0493 Hyundai | MÁQUINA: | Hyundai 0337   |
| BOBINA U   | 4.5 GΩ       | BOBINA U | 5 GΩ           |
| BOBINA V   | 2 GΩ         | BOBINA V | 4.4 GΩ         |
| BOBINA W   | 2.8 GΩ       | BOBINA W | >10 GΩ         |
|  |              |          |                |
| MÁQUINA:   | Hyundai 0493 | MÁQUINA: | Hyundai 0338   |
| BOBINA U   | >10 GΩ       | BOBINA U | 1.5 MΩ         |
| BOBINA V   | 8 GΩ         | BOBINA V | 1.4 MΩ         |
| BOBINA W   | >10 GΩ       | BOBINA W | 1.4 MΩ         |
|  |              |          |                |
| MÁQUINA:   |              | MÁQUINA: |                |
| BOBINA U   |              | BOBINA U |                |
| BOBINA V   |              | BOBINA V |                |
| BOBINA W   |              | BOBINA W |                |
|  |              |          |                |
| OBSERVAÇÕES: Durante o teste de isolamento foi identificado que o motor do torno 0338 esta a bauxi do limite de 200MΩ, contudo, o mesmo não apresenta um desbalanceamento. |              |          |                |
|    |              |          |                |
| EQUIPAMENTO UTILIZADO - DIGITAL INSULATION TESTER - MEGÔMETRO DIGITAL MI-2700  |              | Nº       | 5000011719/004 |

É evidente que as falhas ocorridas em equipamentos ou máquinas refletem diretamente na qualidade dos produtos fabricados. Dessa forma, torna-se essencial que as áreas de manutenção e qualidade atuem de maneira integrada na análise e mitigação desses efeitos. Com isso, a versão análoga ao FMEA, com foco específico na identificação dos modos de falha potenciais, suas causas e os impactos resultantes no produto final foi de extrema importância para que os planos de manutenção pudessem apresentar evoluções significativas. Essa abordagem colaborativa permite avaliar o risco associado a cada ocorrência e desenvolver ações preventivas que minimizem a probabilidade de que falhas no processo produtivo se convertam em não conformidades percebidas pelo cliente.

#### 4.4 Melhoria focada do PCM

A principal transformação observada no setor de manutenção, no contexto analisado, foi a implantação de um sistema CMMS, que representou um verdadeiro divisor de águas para indústria escolhida para este trabalho.

A adoção do sistema de gerenciamento de manutenção computadorizado possibilitou centralizar as informações operacionais, padronizar processos e aprimorar o controle sobre os ativos industriais. Com isso, o PCM passou a atuar de forma mais estruturada, permitindo o agendamento e acompanhamento sistemático de ordens de serviço preventivas e corretivas, além da rastreabilidade completa do histórico de falhas e intervenções.

Essa integração entre gestão e operação resultou em melhor planejamento dos recursos, maior disponibilidade dos equipamentos e otimização dos custos de manutenção, uma vez que as intervenções passaram a ser programadas com base em dados reais de desempenho e não apenas em reatividade. Consequentemente, observou-se redução significativa do tempo de inatividade dos equipamentos, refletindo diretamente em ganhos de confiabilidade e produtividade no processo de usinagem.

Por meio do sistema, tornou-se possível identificar de forma precisa as principais fontes de perda relacionadas aos indicadores de desempenho, como Downtime, MTBF, MTTR e custos de manutenção (que não estão como foco nesta pesquisa). A centralização dos dados permitiu mapear nominalmente os equipamentos e ocorrências que mais impactavam negativamente o desempenho da planta, fornecendo ações objetivas para a elaboração de planos de ação, implementação de correções e desenvolvimento de projetos de melhoria contínua.

Essa abordagem orientada por dados fortaleceu o processo de tomada de decisão dentro do PCM, tornando as ações mais assertivas e direcionadas às causas reais dos desvios de desempenho, em alinhamento com os princípios de melhoria contínua e robustez operacional discutidos por Fogliatto e Ribeiro (2011).

As atribuições descritas por Dutra (2019) para o PCM como a definição de metas e indicadores, a criação de padrões de trabalho, a gestão dos planos preventivos e preditivos, e o controle de custos e documentação — refletem exatamente as responsabilidades incorporadas ao setor de manutenção da planta de Betim após a implementação do sistema CMMS.

Com a informatização dos processos de manutenção, essas funções passaram a ser executadas de forma integrada e monitoradas em tempo real, garantindo maior visibilidade sobre o desempenho dos



Figura 12 – Check list de equipamento na preventiva.

Anexo 1 I.MAINT.BB - 31 Rev.04

| LISTA DE VERIFICAÇÃO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA        |   | Linha:   | Tipo de manutenção:      | Data da realização:      | Aprovada por:            |                          |                          |                          |
|--|---|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| TORNOS OKUMA<br>Conforme a instrução I.MAINT.BB - 31 |   | 08   | Preventiva               |                          | Loane Pereira            |                          |                          |                          |
| Periodicidade  | TORNO OKUMA<br>TORNO OKUMA                              | nº inv.: 35714<br>nº inv.: 35718                                   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | S                        |                          |
|  |   |  | Assinatura: S            | Assinatura: S            | Assinatura: S            | Assinatura: S            |                          |                          |
| Elétrica   | Preventivas   | Limpeza do canal de ventilação do motor                            | pág.10                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Controle de iluminação e parada de emergência                      | pág.15                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Mecânica   | Preventivas   | Medição de isolamento dos motores                                  | pág.18                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Controle das travas de segurança, sensores                         | pág.22                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Controle da cabine elétrica  | pág.23                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificar o sistema de condicionadores de ar                       | pág.25                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificar os micros de index da torre                              | pág.26                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificar acionamentos e fontes                                    | pág.36                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Mecânica   | Preventivas   | Substituição do óleo hidráulico e filtro                           | pág.07                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificação de vazamento de óleo                                   | pág.08                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificação da pressão hidráulica                                  | pág.09                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Junho/Dezembro  | Lubrificação do sistema de fixação (subobscurente)                 | pág.11                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificar o estado das portas, panelas e coberturas                | pág.12                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificar a pressão do sistema de lubrificação (valor)             | pág.13                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Junho/Dezembro  | Verificar a condição da corrente e raspadores do transportador     | pág.14                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Análise da porta do ignífido                                       | pág.17                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Junho/Dezembro  | Controle da correa de transmissão do eixo                          | pág.19                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificação da tensão da correa                                    | pág.20                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificar o sistema e vazamentos de ar                             | pág.24                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificação do pino de atuação do index da torre                   | pág.27                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificação e situação da corrente - esforço - e situação de régua | pág.28                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificação das cremalheiras, rodanas e trilhos da porta           | pág.30                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Dezembro  | Verificação dos mancais dos fusos                                  | pág.31                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Junho/Dezembro  | Verificação dos acoplamentos dos fusos e motor                     | pág.32                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificação das porcas de travamento das régua                     | pág.33                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Preventivas   | Verificação das correntes e pinos do contrapeso                    | pág.34                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Preventivas  | Verificação da fixação e funcionamento motorreductor    | pág.35   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                          |
| Preventivas  | Verificar válvulas, pressostatos e bomba do hidráulico  | pág.37   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                          |
| Dezembro   | Verificar bomba de lubrificação, mangueiras e dosadores | pág.38   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                          |
| Preventivas  | Limpeza técnica   |  |                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | Limpeza da área de trabalho                             | pág.16   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| NOTAS:   |   |  |                          |                          |                          |                          |                          |                          |


Fonte: Banco de dados da empresa, 2024.

Essa integração entre cronograma, checklist e procedimento assegura padronização na execução, rastreabilidade das ações realizadas e repetibilidade dos resultados obtidos. Além disso, fornece uma base sólida para a análise de falhas e revisão dos planos de manutenção, permitindo que o PCM atue de forma dinâmica, ajustando as periodicidades e os métodos conforme o comportamento real dos ativos e o histórico registrado no CMMS.

Com relação aos avanços no PCM, destacou a melhoria nas análises de causa raiz com a implantação das análises EWO que podemos dividir em etapas.

- Etapa 01: Detalhamento da descrição do problema, identificação de quem atuou no equipamento, data, hora, turno, linha, máquina e número das ordens de serviço das ocorrências no caso de mais de uma. Descrever a natureza da intervenção (mecânica, elétrica, software etc) conforme o exemplo da Figura 13.

Figura 13 – Cabeçalho de um EWO.

| Emergency Work Order (EWO)                     |                     |            |   |                    |   |  |  |                       |                           |                                |
|--|---------------------|------------|---|--------------------|---|--|--|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|
| PLANTA   |                     | LINHA      |   | MÁQUINA            |   | MANTENEDOR   |  | TURNO                 | DATA                      | N° ORDEM                       |
| BREMBO BETIM                                   |                     | LINHA 08   |   | GRAVADORA LIMERSYS |   | DIRCEU FIRMINO, ENIO MOURA, ALEXANDRO MARTINS, MANSNI MIRANDA, ANDRE NUNES |  | 1, 2 E 3              | 16/09/2024 ATÉ 27/09/2024 | 850452; 850473; 865484; 866256 |
| TIPO DE FALHA                                  |                     |            |   |                    | T<br>E<br>M<br>P  | INICIO DA PARADA   |  | INICIO DA INTERVENÇÃO |                           | INICIO DA PRODUÇÃO             |
| MECÂNICA                                       | ELÉTRICA            | HIDRÁULICA | PNEUMÁTICO  | DIVERSAS           |   | DIVERSAS   |  | DIVERSAS              |                           |                                |
| DESCRIÇÃO DA FALHA (DESCREVA SOBRE A ANOMALIA) |                     |            |   |                    | DESCRIÇÃO DA INTERVENÇÃO  |  |  |                       |                           |                                |
| PEÇAS PARANDO NA ESTEIRA DA GRAVADORA          |                     |            |  |                    | REALIZADA A FIXAÇÃO DOS ROLETES QUE SE SOLTARAM DA ESTEIRA, TROCA DO MOTOR QUE SE QUEIMOU E REGULAGEM DO DISJUNTOR MOTOR - MOTOR QUEIMOU 3 VEZES. |  |  |                       |                           |                                |
| PRODUÇÃO PARADA                                | PRODUÇÃO NÃO PARADA |            |   |                    | PEÇAS DE REPOSIÇÃO UTILIZADAS   |  |  |                       |                           |                                |
|  |                     |            | 2 MOTORES, DISJUNTOR MOTOR  |                    |   |  |  |                       |                           |                                |

Fonte: Elaborado pelo autor, banco de dados da empresa, 2024.

- Etapa 02: Detalhamento do problema responder a sete perguntas essenciais, originadas de palavras em inglês, para garantir que nenhum aspecto importante de uma tarefa seja esquecido. O objetivo é chegar a um fenômeno a ser investigado, conforme o exemplo da Figura 14.


Figura 14 – Análise de 5W e 1H.

| ANÁLISE DA CAUSA RAIZ |  |
|-----------------------|--|
| 5W+1H                 |  |
| O QUE                 | GRAVADORA LIMERSYS OPERAÇÃO 50 COM PEÇAS PARANDO NA ESTEIRA, DURANTE O PROCESSO DE GRAVAÇÃO DE PEÇAS. OBSERVADO QUE NÃO EXISTIA CONDIÇÃO ESPECÍFICA PARA A FALHA, TODAS AS PEÇAS FICAVAM PRESAS NA MÁQUINA, DISJUNTOR EM ALGUMAS SITUAÇÕES NÃO ESTAVA DESARMADO, O CIRCUITO DO MOTOR DE GIRO E DA ESTEIRA ESTAVAM NO MESMO, NÃO ERA INDIVIDUAL.  |
| QUANDO                | OCORRÊNCIA NO DIA 16/09/2024 AS 06:38. DURANTE O PROCESSO DE RETIRADA DA PEÇA DO INTERIOR DA GRAVADORA, PROBLEMA SE REPETIU ATÉ O DIA 27/09/2024 COM PARADAS DIÁRIAS   |
| ONDE                  | GRAVADORA LIMERSYS OPERAÇÃO 50 LINHA 08, NO PROCESSO DE RETIRADA DAS PEÇAS DO INTERIOR DA GRAVADORA - OS ROLETES SE ENCONTRAVAM SOLTOS DAS CORRENTES.  |
| QUEM                  | IDENTIFICADO PELO OPERADOR, PEÇAS NÃO SAÍAM DO INTERIOR DA GRAVADORA. O COLABORADOR IDENTIFICOU OS PROBLEMAS E REPORTOU AO CHEFE DE TURNO E FOI FEITA A ABERTURA DAS ORDENS DE SERVIÇO MENCIONADAS NO CABEÇALHO.   |
| QUAL                  | FOI IDENTIFICADO NO SISTEMA LINKERSYS QUE A FALHA É PONTUAL NO MÊS DE SETEMBRO, PORÉM COM VÁRIAS REINCIDÊNCIAS ENTRE OS DIAS 16/09/2024 E 27/09/2024, SEM RELATOS DE CARTÕES DE MANUTENÇÃO AUTÔNOMA E SEM RELATOS NA ÚLTIMA AUDITORIA DE PROCESSOS DE MANUTENÇÃO REALIZADA.  |
| COMO                  | 1- IDENTIFICADO QUE A GRAVADORA ESTAVA COM OS ROLETES TRAVADOS. 2 - SISTEMA MECÂNICO TRAVOU. 3 - CORRENTE ELÉTRICA DO CIRCUITO FICOU ACIMA DO NOMINAL. 4 - O DISJUNTOR NÃO DESARMOU. 5 - QUEIMA DO MOTOR   |
|                       | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 10px;"> <span style="color: blue; font-weight: bold;">➔</span> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; flex-grow: 1;"> <b>FENÔMENO A SER INVESTIGADO DE ACORDO COM O 5W + 1H:</b> </div> <div style="margin-left: 10px;">                     1 - ROLETE SE SOLTOU DA FIXAÇÃO<br/>                     2 - QUEIMA DO MOTOR SEM A INTERRUPTÃO DO DISJUNTOR DE PROTEÇÃO                 </div> </div> |

Fonte: Elaborado pelo autor, banco de dados da empresa, 2024.

- Etapa 03: Elencar possíveis causas para o fenômeno encontrado e quais verificações podem ser ou foram realizadas para este problema. Depois disso conseguimos escolher as possíveis causas com maior precisão e realizar a análise de 5 porquês para identificar a causa raiz, conforme pode ser visualizado na Figura 15.

Figura 15 – Tratamento das possíveis causas.

| LISTA DAS POSSÍVEIS CAUSAS DO FENÔMENO A SER INVESTIGADO |   |   |  |  |  |   |  |                |              |  |
|--|---|---|--|--|--|---|--|----------------|--------------|--|
| #  | POSSÍVEIS CAUSAS  | VERIFICAÇÕES REALIZADAS SOBRE A POSSÍVEL CAUSA  | OK NÃO É CAUSA   | KO É A CAUSA   | #  | POSSÍVEIS CAUSAS  | VERIFICAÇÕES REALIZADAS SOBRE A POSSÍVEL CAUSA | OK NÃO É CAUSA | KO É A CAUSA |  |
| 1  | ESFORÇO MECÂNICO  | ROLETES SOLTOU OCASIONANDO O TRAVAMENTO DO SISTEMA MECÂNICO E ELEVANDO A CORRENTE DO MOTOR - LEVANDO A QUEIMA DO COMPONENTE |  | KO   | 4  |   |  |                |              |  |
| 2  | CIRCUITO DE PROTEÇÃO DO MOTOR INSUFICIENTE  | CIRCUITO DE PROTEÇÃO É DIVIDIDO COM MOTOR DA ESTEIRA E MOTOR DE GIRO DE PEÇAS   |  | KO   | 5  |   |  |                |              |  |
| 3  |   |   |  |  | 6  |   |  |                |              |  |
| ANÁLISE 5 POR QUÊS PARA IDENTIFICAR A CAUSA RAIZ         |   |   |  |  |  |   |  |                |              |  |
| #  | POSSÍVEL CAUSA (KO POR POSSÍVEL CAUSA)  | 1º POR QUÊ  | 2º POR QUÊ   | 3º POR QUÊ   | 4º POR QUÊ                                     | 5º POR QUÊ  |  |                |              |  |
| 1  | CIRCUITO DE PROTEÇÃO DO MOTOR INSUFICIENTE  | CORRENTE DO MOTOR EXCEDIDA E O CIRCUITO NÃO FOI DESARMADO   | CORRENTE ESTAVA DENTRO DO "NORMAL" PARA O DIMENSIONAMENTO FEITO PARA ESTE CIRCUITO     | CIRCUITO FOI PROJETADO PARA TRABALHAR COM A CORRENTE DE ATÉ DOIS MOTORES | PROJETO ELÉTRICO FOI MAL DIMENSIONADO          | SE APENAS UM DOS MOTORES ESTIVER TRABALHANDO EM DETERMINADO MOMENTO, A CORRENTE PODE SER MAIOR QUE A NOMINAL E NÃO INTERROMPERA |  |                |              |  |
| 2  | ESFORÇO MECÂNICO  | TRAVAMENTO DAS CORRENTES DE TRACÇÃO DA ESTEIRA  | ROLETE SE SOLTOU E PRENDEU NA CORRENTE   | HAVIA FOLGA NOS ROLETES  | PEÇA BATIA NO BATEnte E DESAJUSTAVA OS ROLETES | PROJETO MECÂNICO FOI MAL DIMENSIONADO   |  |                |              |  |
|  |  | CAUSA RAIZ:   | CIRCUITO DE PROTEÇÃO DOS MOTORES MAL DIMENSIONADO<br>PROJETO MECÂNICO MAL DIMENSIONADO |  |  |   |  |                |              |  |

Fonte: Elaborado pelo autor, banco de dados da empresa, 2024.

- Etapa 04: Elencar ações para eliminar futuros problemas e seus respectivos responsáveis e prazos.
- Etapa 05: Etapa opcional onde podemos adicionar imagens do problema, figuras de manual, esquemas elétricos etc. Ajuda no entendimento dos problemas.

## 4.5 Uso de pilares TPM

O TPM constitui uma estratégia fundamental para o aumento da eficiência operacional tendo como base a participação integrada de todos os níveis da empresa. Seus pilares atuam de forma sistemática na eliminação de perdas, na melhoria da confiabilidade dos equipamentos com foco na quebra zero.

A seguir, temos a estratificação de cada pilar.

### 4.5.1 Manutenção autônoma:

Realização de diversos treinamentos ao longo destes períodos - novos operadores, operadores antigos e suas respectivas reciclagens. Estes treinamentos se basearam na capacitação para pequenos reparos e atividades consideradas mais básicas nos equipamentos. O intuito é a detecção e a correção em estágios iniciais sem a necessidade de maiores intervenções e por consequência maiores impactos na produção. Das atividades realizadas deste pilar ao longo dos anos de implementação, podemos citar:

- Limpeza dos equipamentos: Devido a alta quantidade de sujeiras no ambiente de usinagem - devido ao pó de ferro fundido - esta atividade básica é mais do que importante no bom funcionamento e aumento de vida dos ativos - atividades executadas com base em cronograma de limpeza.
- Inspeções nos equipamentos: Verificações visuais e com períodos determinados visando identificar anomalias como ruídos anormais, desgastes, princípios de vazamentos, desbertos e outras condições básicas (sequência via check list).

- Verificações de parâmetros de máquina: Checar parâmetros básicos de funcionamento e realizar pequenos ajustes, como reapertos de ferramentas.

Muitos foram os benefícios colhidos através deste pilar que trata dos usuários das máquinas. O aumento da vida útil dos equipamentos, uma vez que a detecção precoce de anomalias e a execução de pequenas correções pelos operadores evitam falhas mais graves e reduzem o desgaste prematuro dos componentes refletindo também no indicador de downtime já apresentado anteriormente. Redução de custos operacionais, resultado direto da diminuição de paradas não programadas e da menor necessidade de intervenções corretivas complexas. Esse cenário também contribui para a melhoria da eficiência operacional, pois equipamentos em boas condições de funcionamento apresentam maior estabilidade e desempenho além de que o envolvimento dos operadores nas atividades de inspeção e limpeza aumenta a percepção de risco e o zelo com o maquinário.

#### 4.5.2 *Manutenção Planejada:*

A implementação dos cartões de manutenção AM ou Autonomous Maintenance representa uma etapa essencial dentro da estratégia de Manutenção Planejada e está diretamente relacionada ao pilar de Manutenção Autônoma. Esses cartões são ferramentas utilizadas pelos operadores de máquinas para executar tarefas básicas de manutenção, como limpeza, inspeção e reaperto, além de funcionarem como meio de comunicação e sinalização de anomalias que exigem a intervenção da equipe técnica de manutenção. Segue exemplo de modelo adotado pela empresa na Figura 16:

Figura 16 – Cartão AM.

Fonte: Banco de dados da empresa, 2021.

As informações coletadas por meio desses cartões são compiladas em um banco de dados e posteriormente discutidas em reuniões periódicas, onde são classificadas conforme níveis de prioridade e criticidade. Após essa análise, as demandas são integradas ao sistema CMMS, compondo a lista oficial de atividades programadas para execução pela equipe de manutenção.

Essa metodologia tem como principal objetivo reduzir a distância entre os operadores e o time de manutenção, promovendo um fluxo de comunicação mais ágil e efetivo. Como consequência, os operadores

passam a relatar suas dificuldades e anomalias de forma mais estruturada, fornecendo subsídios para o planejamento das ações corretivas e preventivas, além de direcionar a equipe de manutenção de forma mais precisa e estratégica.

O uso dos cartões AM fortalece a cultura de cooperação entre operação e manutenção, estimula o engajamento dos operadores na preservação dos ativos e contribui significativamente para o aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

### **4.5.3 *Melhoria específica:***

A partir das análises realizadas pela equipe de manutenção, diversas ações de melhoria contínua foram desenvolvidas com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos equipamentos e reduzir o tempo de inatividade. Essas melhorias podem variar desde ajustes simples, como modificações em lógicas de controladores lógicos programáveis (PLC), revisões em circuitos de proteção elétrica e alterações em diagramas pneumáticos, até intervenções de maior complexidade, envolvendo mudanças na concepção construtiva de máquinas ou na arquitetura dos sistemas de segurança e automação.

Para garantir a padronização e a rastreabilidade dessas modificações, a equipe de manutenção atua em conjunto com o pilar de engenharia, setor responsável pela gestão documental e pela atualização dos registros técnicos. Essa integração assegura que todas as alterações sejam devidamente documentadas, avaliadas quanto à sua eficácia e arquivadas para referência em futuros projetos ou aquisições de novos equipamentos.

Como exemplo prático, pode-se citar a identificação, por parte da equipe de manutenção, da necessidade de adicionar um sistema de lubrificação direta no fuso de esferas de determinados centros de usinagem, visando à redução de downtime e à ampliação da vida útil do componente. Nesses casos, o setor de engenharia tem a responsabilidade de incorporar a modificação ao padrão técnico da máquina e garantir que futuras compras já contemplem essa melhoria diretamente junto ao fornecedor.

Essa sinergia entre manutenção e engenharia reflete o princípio central do pilar de Melhoria Específica do TPM, que busca eliminar perdas crônicas e consolidar soluções de longo prazo por meio de intervenções estruturadas e tecnicamente fundamentadas.

### **4.5.4 *Educação e treinamento:***

Uma das abordagens fundamentais para a resolução estruturada de problemas está relacionada ao aperfeiçoamento contínuo das competências dos colaboradores envolvidos no processo produtivo. O treinamento deve contemplar todos os níveis operacionais, uma vez que cada grupo exerce influência direta sobre a confiabilidade dos ativos e sobre a estabilidade operacional da planta.

No nível operacional, os operadores, por estarem em contato direto e constante com os equipamentos, necessitam de capacitação para identificar desvios de funcionamento, interpretar sinais de deterioração e atuar preventivamente dentro dos limites de sua responsabilidade. A qualificação adequada dos operadores reduz a variabilidade operacional, diminui a incidência de falhas induzidas por erro humano e aumenta a capacidade de detecção precoce de anomalias.

Os preparadores, responsáveis pelo setup e pelos ajustes finos das máquinas, devem ser treinados com foco em procedimentos padronizados, técnicas adequadas de regulação e inspeções críticas que precedem a produção. A correta execução dessas atividades é determinante para evitar falhas recorrentes, reduzir refugos e minimizar perdas associadas à configuração inadequada do equipamento.

Além disso, o time de suporte, composto pelas áreas de manutenção, engenharia de processos e logística, deve possuir capacitação direcionada à análise técnica dos fenômenos observados, correta interpretação de dados operacionais, diagnóstico de falhas e definição de ações corretivas e preventivas. O alinhamento entre essas equipes é essencial para o estabelecimento de respostas rápidas e eficazes aos eventos de falha, garantindo confiabilidade e disponibilidade dos ativos.

Esse pilar de formação e desenvolvimento tem por objetivo dar sustentação à operação e aos demais pilares do sistema de gestão da manutenção, assegurando que todos os colaboradores estejam plenamente treinados, conscientes de suas responsabilidades e aptos a executar suas atividades conforme os padrões técnicos estabelecidos. Dessa forma, o processo produtivo torna-se mais robusto, previsível e resiliente, reduzindo a dependência de intervenções corretivas e fortalecendo a cultura de melhoria contínua.

#### **4.5.5 Controle inicial:**

O pilar de Controle Inicial tem como propósito assegurar que novos equipamentos, processos ou modificações sejam introduzidos na planta de forma estruturada, incorporando as lições aprendidas ao longo da operação e eliminando antecipadamente potenciais fontes de falha. Para que esse pilar estivesse efetivamente cumprido, a empresa adotou um conjunto de ações sistemáticas que promoviam maiores confiabilidades, manutenibilidades e segurança desde as etapas iniciais de concepção, aquisição e instalação dos ativos.

Uma das ações fundamentais consiste na captura estruturada das lições aprendidas, provenientes de análises de falhas presentes em todos os setores, principalmente as análises EWO da manutenção, estudos de causa raiz e históricos de intervenção. Essas informações, quando organizadas e disponibilizadas para a engenharia, permitem que problemas recorrentes sejam evitados na aquisição ou modificação de novos equipamentos. Complementarmente, a empresa deve estabelecer requisitos técnicos padronizados para a compra de máquinas, contemplando critérios de acessibilidade para manutenção, facilidade de limpeza, identificação de pontos de inspeção, disponibilidade de peças de reposição e integração de sensores para monitoramento.

Outra prática essencial foi a participação ativa das equipes de manutenção e engenharia de processos nas fases de projeto e aquisição. Essa abordagem, baseada em conceitos de engenharia simultânea, garante que aspectos relacionados à montagem, operação e manutenção sejam considerados antes da implementação do equipamento, reduzindo futuras paradas e retrabalhos. Aliada a isso, a aplicação de metodologias como FMEA e RCM em novos ativos permite identificar modos de falha prováveis e definir estratégias preventivas adequadas desde o início do ciclo de vida.

No momento da implantação, o Controle Inicial ainda demanda a realização de avaliações ergonômicas e operacionais, visando garantir acessibilidade aos componentes críticos, visibilidade de indicadores,

segurança na operação e facilidade de ajuste. A preparação das equipes também é um fator determinante: treinamentos técnicos e operacionais devem ser conduzidos previamente ao startup, assegurando que operadores, ajustadores e equipes de manutenção estejam aptos a lidar com o novo equipamento. Esse processo é reforçado pelo startup assistido, no qual especialistas acompanham as primeiras semanas de operação, coletando dados e ajustando parâmetros para mitigar falhas de infância.

Adicionalmente, a criação e atualização dos procedimentos internos de operação e manutenção a partir do comportamento real dos equipamentos fortalece a padronização e reduz a variabilidade operacional. Por fim, a realização de auditorias de Controle Inicial, conduzidas nos primeiros meses após a instalação, permite verificar o desempenho, revisar melhorias incorporadas e consolidar ações corretivas ou preventivas necessárias.

Em conjunto, essas práticas garantem que os novos equipamentos sejam introduzidos com maior robustez técnica, reduzindo significativamente o risco de falhas prematuras, aumentando a disponibilidade operacional e promovendo a melhoria contínua no sistema de gestão de manutenção.

#### **4.5.6 *Manutenção da qualidade:***

O pilar de Manutenção da Qualidade vem com finalidade de assegurar que os equipamentos operem continuamente dentro das condições ideais necessárias para garantir produtos sem defeitos. De acordo com o SENAI (2012, p. 65), esse pilar estabelece práticas que conduzem as empresas ao alcance de zero defeito e zero retrabalho, integrando o controle de qualidade ao desempenho dos ativos.

Na perspectiva do TPM, a qualidade do produto é diretamente influenciada pela condição do equipamento; portanto, a eliminação das causas de defeitos no processo é realizada por meio da estabilização e padronização das variáveis de operação. Como destaca Gonçalves (2012), o pilar busca definir e monitorar as condições ideais dos equipamentos, garantindo que parâmetros críticos — como vibração, temperatura, tolerâncias dimensionais, desgaste de ferramentas e condições de lubrificação — permaneçam dentro de limites previamente especificados.

A aplicação dessa filosofia envolve a realização de inspeções sistemáticas, análises de tendência e tratamento contínuo das anomalias observadas. Acompanhamento das atividades consideradas críticas como conferência de componentes que podem interferir diretamente nas especificações dos produtos.

A Figura 17, temos o exemplo de um procedimento de verificação de manutenção que certifica componentes críticos da máquina que estão atrelados a qualidade do produto.

Figura 17 – Lista de verificações - tornos CNC.

| <b>Técnico:</b>   |                              |                 |           |                   |                          |                              |
|---|------------------------------|-----------------|-----------|-------------------|--------------------------|------------------------------|
| <b>Linha:</b>   |                              | <b>Máquina:</b> |           | <b>Ciclo:</b>     |                          |                              |
| <b>VERIFICAÇÃO AJUSTE DAS RÉGUAS / CARGA DE ESFORÇO LADO ESQUERDO</b> |                              |                 |           |                   |                          |                              |
| COMPONENTES   | DESCRIÇÃO                    | VALOR PADRÃO    | AVALIAÇÃO | AJUSTE NECESSÁRIO |                          |                              |
| EIXO X  | AJUSTE CARGA EIXO X          | MENOR QUE 45    |           | SIM               | <input type="checkbox"/> | NÃO <input type="checkbox"/> |
| EIXO Z  | AJUSTE CARGA EIXO Z          | MENOR QUE 80    |           | SIM               | <input type="checkbox"/> | NÃO <input type="checkbox"/> |
| TORRE   | ALINHAMENTO DA TORRE         | -               |           | SIM               | <input type="checkbox"/> | NÃO <input type="checkbox"/> |
| BACKLASH  | FUSO EIXO Z                  | -               |           | SIM               | <input type="checkbox"/> | NÃO <input type="checkbox"/> |
| BACKLASH  | FUSO EIXO X                  | -               |           | SIM               | <input type="checkbox"/> | NÃO <input type="checkbox"/> |
| TENSÃO CORREIA  | MANDRIL - MOTOR              | 25 A 29         |           | SIM               | <input type="checkbox"/> | NÃO <input type="checkbox"/> |
| <b>VERIFICAÇÃO DOS FUSOS</b>  |                              |                 |           |                   |                          |                              |
|   | <b>OBSERVAÇÃO / SITUAÇÃO</b> |                 |           |                   |                          |                              |
| RÉGUA SUPERIOR EIXO XL  |                              |                 |           |                   |                          |                              |
| RÉGUA CENTRAL EIXO XL   |                              |                 |           |                   |                          |                              |
| RÉGUA INFERIOR EIXO XL  |                              |                 |           |                   |                          |                              |
| RÉGUA ESQUERDA EIXO ZL  |                              |                 |           |                   |                          |                              |
| RÉGUA CENTRAL EIXO ZL   |                              |                 |           |                   |                          |                              |
| RÉGUA DIREITA EIXO ZL   |                              |                 |           |                   |                          |                              |
| <b>VERIFICAÇÃO DO PINO DO INDEX</b>                                   |                              |                 |           |                   |                          |                              |
| OBSERVAÇÃO/SITUAÇÃO   |                              |                 |           |                   |                          |                              |
| <b>OBSERVAÇÕES:</b>   |                              |                 |           |                   |                          |                              |
|   |                              |                 |           |                   |                          |                              |

Fonte: Banco de dados da empresa, 2023.

#### 4.5.7 Áreas administrativas:

Na implementação deste pilar, buscamos eliminar perdas nos processos indiretos, aumentando a eficiência organizacional como um todo. A aplicação do TPM nas áreas administrativas abrange setores como planejamento e controle da produção (PCP), recursos humanos, compras, engenharia, suprimentos e financeiro, promovendo a melhoria contínua da gestão e o fortalecimento da comunicação entre áreas.

A Figura 18 mostra uma ferramenta de fluxos criada para melhoria de transmissão de informações e solicitações entre os setores, evitando assim desencontros e retrabalhos.

Figura 18 – SharePoint - fluxo de aprovações.

The screenshot displays the SharePoint interface for the 'Central de Serviço Compartilhado' (CSC) at 'Brembo do Brasil'. The page features a red header with the SharePoint logo and the text 'SharePoint'. Below the header, there is a navigation bar with 'BROWSE' and 'PAGE' options. The main content area includes the CSC logo, the text 'Brembo do Brasil' and 'ICT Requests BR', and the title 'Central de Serviço Compartilhado'. A navigation menu on the left lists various administrative tasks, including 'Aprovação NFS Geral', 'Aprovação NFS RH', 'Cadastro de Item', 'Desbloqueio de Item - Itens Existentes', 'Solic. Aprov. Impostos', 'Solic. Cadastro Cliente', 'Solic. Cadastro Fornec.', 'Alteração Cadastro Cliente e Fornecedor', 'Aprovação de Débitos', 'Classificação Fiscal e Contábil', 'Assinat. Eletr. De Câmbio', 'Autorização de Pgto.', 'Gestão de Débitos', 'Req. De Pgto. Diretoria', 'Req. De Pgto. RH', 'Req. De Pgto. Geral', 'Formulário de Brindes', 'Solicitação NF.e', 'Aprov. Documentos ADM', 'Aprovação de Fretes', and 'Aprov. Doc. 262'. The central graphic shows the CSC logo, the text 'Menu Principal', and an illustration of a computer monitor, keyboard, and mouse. Below the graphic, there is a message: ':> Tarefas aguardando sua aprovação <:' and 'There are no items to show in this view.'

Fonte: Banco de dados da empresa, 2024.

As ações realizadas por esse pilar incluem a padronização de fluxos administrativos, redução do tempo de resposta entre áreas, digitalização e organização documental, otimização do planejamento de materiais, aumento da acuracidade de inventário e revisão de políticas de compras para garantir disponibilidade de itens críticos. Além disso, a identificação e eliminação de gargalos administrativos — como atrasos na liberação de ordens, erros de cadastro, retrabalhos em documentação e falhas de comunicação — contribuem diretamente para a estabilidade produtiva, para esse fim, foi desenvolvida uma ferramenta de fluxos integrada conforme Figura 18 para todas as áreas, substituindo o processo anteriormente manual, que frequentemente envolvia etapas extensas e apresentava risco de perda de informações.

Com a digitalização, o fluxo tornou-se mais estruturado, com definição de prazos, rastreabilidade

das etapas e garantia de que todas as informações necessárias sejam registradas e compartilhadas de forma adequada.

Ao integrar áreas operacionais e administrativas sob uma mesma filosofia de melhoria contínua, a empresa elevou seu nível de eficiência global, reduziu desperdícios não visíveis no chão de fábrica e aumentou a previsibilidade dos processos produtivos.

#### **4.5.8 *Segurança e meio ambiente:***

No pilar de Segurança e Meio Ambiente o foco é garantir condições adequadas de trabalho, preservando a integridade física dos colaboradores e reduzindo impactos ambientais decorrentes da operação industrial. Neste tópico foi onde tivemos a menor evolução pois os indicadores já se mostravam bem sólidos e com uma boa gestão de riscos.

Dentre as possibilidades de atuação, os itens que mais se destacaram foram a gestão de óleos e materiais contaminantes — incluindo a separação adequada dos resíduos — e a execução de trabalhos não rotineiros, como atividades em altura, espaço confinado e içamento de cargas. Todas essas tarefas devem ser realizadas com o devido preenchimento das permissões de trabalho e das análises de risco exigidas para cada tipo de atividade.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar a eficiência do Planejamento e Controle da Manutenção - PCM em ambientes industriais e seus impactos nos principais indicadores de desempenho da manutenção, tomando como base um estudo de caso realizado em uma planta industrial do setor automotivo. A partir da fundamentação teórica e da análise prática dos dados históricos de manutenção e produção, buscou-se responder à seguinte pergunta-problema: é possível alcançar elevados níveis de desempenho e confiabilidade dos ativos sem a existência de um PCM estruturado?

Os resultados obtidos ao longo do estudo permitem afirmar que a ausência de um planejamento e controle da manutenção estruturado compromete significativamente a previsibilidade, a confiabilidade e a eficiência da manutenção industrial. A análise evidenciou que a consolidação do PCM foi determinante para a melhoria dos indicadores de desempenho, como a redução do tempo de parada, o aumento do MTBF e a redução do MTTR, refletindo diretamente no aumento da disponibilidade técnica dos ativos.

Observou-se ainda que a transição gradual de uma manutenção predominantemente corretiva para estratégias preventivas e preditivas ocorreu de forma consistente à medida que o PCM se tornou mais maduro e integrado aos processos organizacionais, criação de fluxos de trabalhos, procedimentos e estratégias de análises de falhas. A aplicação de ferramentas como a manutenção centrada na confiabilidade e os pilares da manutenção produtiva total que reforçou esse processo, contribuindo para a padronização das rotinas, o fortalecimento da cultura de manutenção e a maior integração entre as áreas de manutenção, produção e engenharia.

O uso de sistemas de apoio à gestão da manutenção, como o CMMS e dashboards de monitoramento em tempo real, mostrou-se fundamental para a consolidação do PCM, permitindo a gestão orientada por dados e a tomada de decisões mais assertivas. Nesse contexto, deixamos de atuar apenas de forma operacional e passa a assumir um papel estratégico na gestão dos ativos, influenciando diretamente o desempenho produtivo e a competitividade da organização.

Como limitação do estudo, destaca-se a realização das análises de forma consolidada em nível de planta, sem a estratificação individual por equipamento ou linha de produção. Apesar disso, os resultados obtidos foram suficientes para identificar tendências claras e responder de maneira objetiva à pergunta-problema proposta, confirmando a relevância do PCM como elemento essencial para a eficiência da manutenção industrial.

## **6 TRABALHOS FUTUROS**

Como sugestão para trabalhos futuros, recomendo o aprofundamento das análises por meio da incorporação de tecnologias associadas à Indústria 4.0, como sensores inteligentes, análise preditiva baseada em inteligência artificial e estratificação por níveis mais individuais, apresenta-se como um caminho promissor para elevar ainda mais o nível de maturidade do PCM e potencializar os resultados alcançados.

## REFERÊNCIAS

- ABECON. Quais as diferenças entre Manutenção Preditiva e Preventiva?. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/manutencao-preditiva-e-preventiva-diferencas/>>. Acesso em: 14 dez. 2025.
- ABECON. Manutenção autônoma: como aplicar? Quais os benefícios?. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/manutencao-autonoma/>>. Acesso em: 08 jul. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
- CARPINETTI, Luis Cesar Ribeiro. **Gestão da Qualidade**. 2. ed. Salvador: Atlas, 2012.
- CONSELHO FEDERAL DE ADMINISTRAÇÃO. As quatro Revoluções Industriais que moldaram a trajetória do mundo. Disponível em: <<https://cfa.org.br/as-outras-revolucoes-industriais/>>. Acesso em: 16 jan. 2026.
- CYRINO, Luis. Estratégias da metodologia WCM. Disponível em: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/estrategias-da-metodologia-wcm/>>. Acesso em: 10 set. 2025.
- DAMAS, Lorena Felícia Quiroz; NASCIMENTO, Luísa Vitória Mendonça do; COSTA, Efraim Menezes de Lima; SILVA, Elcivan dos Santos.
- DUTRA, Jhonata Teles. **PCM – Planejamento e Controle da Manutenção Descomplicado: uma metodologia passo a passo para implantação do PCM**. 1. ed. Brasília, DF: Engeteles Editora, 2019.
- FOGLIATTO, Flávio S.; RIBEIRO, José L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 24. ed. Porto Alegre: LTC, 2011.
- GONÇALVES, Edson. **Manutenção industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2015.
- Implantação de PCM em máquinas industriais: um estudo de caso em uma indústria de autopeças no Polo Industrial de Manaus sob a perspectiva de gestão de projetos em manutenção**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE (SINGEP), 7., 2018, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: SINGEP, 2018.
- MOUBRAY, John. **Manutenção centrada em confiabilidade (RCM)**. 2. ed. Lutterworth: Aladon Ltd, 2000.
- RIBEIRO, Haroldo Ribeiro. **O Pilar de Manutenção Planejada Como maximizar a disponibilidade dos equipamentos**. 5. ed. São Caetano do Sul: PDCA Editora SP, 2016.
- ROSÁRIO JUNIOR, Robson Carlos Souza. **Planejamento e controle da manutenção**. 1. ed. Salvador: Senai, 2009.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Gestão da manutenção**. 1. ed. Brasília: SENAI/DN, 2012.

---

TELES, Jhonata. **Bíblia do RCM: o guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na era da Indústria 4.0**. 1. ed. Brasília: Engeteles Editora, 2019.

TRACTIAN. TPM: Manutenção Produtiva Tota. Disponível em: <<https://traction.com/blog/tpm-manutencao-produtiva-total>>. Acesso em: 10 set. 2025.