



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



KARLA SUMIE NASCIMENTO KONO

**PROPOSTA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA
PARA UM MISTURADOR ABERTO DE CILINDROS – O CASO DE
UMA EMPRESA FABRICANTE DE EQUIPAMENTOS DO SETOR DE
MINERAÇÃO**

OURO PRETO - MG
2026

KARLA SUMIE NASCIMENTO KONO

Karla.kono@aluno.ufop.edu.br

**PROPOSTA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA
PARA UM MISTURADOR ABERTO DE CILINDROS – O CASO DE
UMA EMPRESA FABRICANTE DE EQUIPAMENTOS DO SETOR DE
MINERAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Dr. Washington Luís Vieira da Silva.

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

K82p Kono, Karla Sumie Nascimento.

Proposta de um plano de manutenção preventiva para um misturador aberto de cilindros - o caso de uma empresa fabricante de equipamentos do setor de mineração. [manuscrito] / Karla Sumie Nascimento Kono. - 2026.

75 f.

Orientador: Prof. Dr. Washington Luís Vieira Silva.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Manutenção. 2. Logística empresarial. 3. Tolerância a falha (Computadores). 4. Máquinas - Indústria - Misturador aberto de cilindros. I. Silva, Washington Luís Vieira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Karla Sumie Nascimento Kono

Proposta de um plano de manutenção preventiva para um misturador aberto de cilindros – o caso de uma empresa fabricante de equipamentos do setor de mineração

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

Aprovada em 16 de Julho de 2026

Membros da banca

DSc. Washington Luís Vieira da Silva - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. Diogo Antônio de Sousa (Universidade Federal de Ouro Preto)
MSc. Sávio Sade Tayer (Universidade Federal de Ouro Preto)

Washington Luís Vieira da Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 21/07/2026



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/07/2026, às 15:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1147989** e o código CRC **07F5565B**.

A Deus, minha gratidão por me sustentar até aqui. Aos meus pais, pelo amor e apoio incondicional. Aos meus padrinhos, pelo carinho. E, aos meus irmãos, meus companheiros de vida. Sem vocês, nada disso seria possível!

AGRADECIMENTO

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelo dom da vida, pela força, sabedoria e perseverança concedidas durante toda esta caminhada. Sou grata por cada oportunidade vivida e, especialmente, por todas as pessoas que Ele colocou em meu caminho, tornando esta trajetória mais leve, significativa e possível.

Aos meus pais, Adriana e Carlos, minha base, meu exemplo e minha maior inspiração, agradeço por todo amor, apoio, incentivo e por sempre acreditarem nos meus sonhos. À minha tia Rose, meu porto seguro e fortaleza, agradeço pelo cuidado, carinho e presença constante em minha vida. Sou profundamente grata pelo amor que recebo de vocês — que privilégio o meu.

Aos meus avós Alfredo (in memoriam), Antônio, Bene e Rosângela, agradeço por todo afeto, carinho e ensinamentos que contribuíram para a minha formação pessoal. Aos meus irmãos Jéssica, Caio, Gabriel A. e Gabriel N., agradeço pelo companheirismo, pela alegria e por iluminarem meus dias. Aos meus padrinhos, Mariana e Juninho, minha gratidão pelo apoio, incentivo e presença ao longo desta jornada.

À Escola de Minas, à Universidade Federal de Ouro Preto, ao Departamento de Engenharia Mecânica e aos professores da Engenharia Mecânica, deixo minha sincera gratidão por todo conhecimento compartilhado, pela dedicação e pelos ensinamentos que foram essenciais para minha formação acadêmica e profissional.

Ao meu orientador, Washington, agradeço por toda paciência, dedicação e apoio ao longo da graduação, bem como pelos ensinamentos compartilhados dentro e fora das salas de aula.

Por fim, agradeço à República Girassol e às amigas memoráveis que construí durante esta jornada. Levo comigo histórias, aprendizados e lembranças que fizeram parte de uma das fases mais importantes da minha vida.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá”.

Ayrton Senna

RESUMO

Com o objetivo de aumentar a confiabilidade e a disponibilidade operacional de um misturador aberto de cilindros utilizado no processamento de borracha, o presente estudo propõe a elaboração de um plano de manutenção preventiva para esse equipamento. O trabalho caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, baseada em um estudo de caso, com abordagem qualitativa e fundamentação bibliográfica e documental. O problema pesquisado relaciona-se à necessidade de sistematização das atividades de manutenção, uma vez que a predominância de intervenções corretivas e a ausência de um plano preventivo formalizado podem comprometer a continuidade da produção, elevar os custos operacionais, reduzir a vida útil dos componentes e impactar a segurança dos colaboradores. A pesquisa justifica-se pela relevância do equipamento no processo produtivo, visto que falhas em seus sistemas mecânicos, elétricos, térmicos e de lubrificação podem ocasionar paradas não programadas e perdas de desempenho. Para atingir o objetivo proposto, o estudo analisa os fundamentos da gestão da manutenção, as recomendações do fabricante e o histórico de falhas do equipamento, identificando os principais componentes sujeitos a desgaste, falhas funcionais e necessidade de acompanhamento periódico. Com base nessas informações, o trabalho estrutura um plano de manutenção preventiva composto por atividades de inspeção e intervenção, definidas conforme periodicidade, materiais de consumo, equipamentos de apoio, EPIs necessários, responsáveis e registros de execução. O plano contempla sistemas como lubrificação, mancais, engrenagens, acoplamentos, união rotativa, sistema elétrico, sistema térmico, cilindros e dispositivos de segurança. Como resultado, o estudo apresenta uma ferramenta técnica de apoio ao planejamento da manutenção, capaz de padronizar rotinas, orientar a execução das atividades e favorecer a identificação antecipada de anomalias. Conclui-se que o plano proposto contribui para a padronização das práticas de manutenção, e oferece suporte ao planejamento das intervenções, possibilitando maior controle das atividades preventivas e redução da ocorrência de falhas corretivas.

Palavras-chave: Manutenção. Plano de manutenção. Manutenção preventiva. Misturador aberto de cilindros.

ABSTRACT

With the aim of increasing the reliability and operational availability of an open roll mill used in rubber processing, this study proposes the development of a preventive maintenance plan for this equipment. The work is characterized as exploratory research, based on a case study, with a qualitative approach supported by bibliographic and documentary research. The research problem is related to the need to systematize maintenance activities, since the predominance of corrective maintenance actions and the absence of a formal preventive plan may compromise production continuity, increase operating costs, reduce the service life of components, and affect worker safety. The study is justified by the relevance of the equipment within the production process, as failures in its mechanical, electrical, thermal, and lubrication systems may lead to unplanned downtime and performance losses. To achieve the proposed objective, the study analyzes the fundamentals of maintenance management, the manufacturer's recommendations, and the equipment failure history, identifying the main components subject to wear, functional failures, and the need for periodic monitoring. Based on this information, the work structures a preventive maintenance plan composed of inspection and intervention activities, defined according to periodicity, consumable materials, support equipment, required PPE, responsible personnel, and execution records. The plan includes systems such as lubrication, bearings, gears, couplings, rotary union, electrical system, thermal system, rolls, and safety devices. As a result, the study presents a technical tool to support maintenance planning, capable of standardizing routines, guiding the execution of activities, and promoting the early identification of anomalies. It is concluded that the proposed plan contributes to the standardization of maintenance practices, supports the planning of interventions, enabling greater control of preventive activities and reducing the occurrence of corrective failures.

Keywords: Maintenance. Maintenance plan. Preventive maintenance. Open roll mill.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Misturador aberto de cilindros. Fonte: Pesquisa Direta (2026).	9
Figura 2: Evolução da Manutenção. Fonte: Kardec e Nascif, 2001	13
Figura 3: Tipos de Manutenção. Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif, 2001.....	19
Figura 4: Exemplo de Plano de Manutenção. Fonte: Adaptado de Xenos, 1998	34
Figura 5: Exemplo de Plano de Manutenção.....	35
Figura 6: Sequência de passos para elaboração de um plano de Manutenção Preventiva Sistemática (MPS).	37
Figura 7: Fluxograma das etapas metodológicas adotadas na pesquisa.	43
Figura 8: Cadeia Produtiva.....	47
Figura 9: Organograma. Fonte: Pesquisa Direta (2026).....	48
Figura 10: Produtos Finais Produzidos de Borracha. Fonte: Pesquisa Direta (2026)	50
Figura 11: Misturador Aberto de Cilindros.	51
Figura 12: Componentes Misturador Aberto de Cilindros.	52
Figura 13: Processo de produção da manta de borracha.	54
Figura 14: Porcentagem do Número de Falhas Total por Sistema do Misturador.	58
Figura 15: Gráfico de Pareto - Tempo de Parada x Sistema x % Acumulada.....	59
Figura 16: Tagueamento Misturador MS 2.	62
Figura 17: Tagueamento Misturador MS 5.	62
Figura 18: Tagueamento Misturador MS 3.	62
Figura 19: Proposta de Tagueamento Misturador MS 2.	63
Figura 20: Plano de manutenção misturador aberto de cilindros.	65
Figura 21: Plano de manutenção misturador aberto de cilindros.	66
Figura 22: Indicador 1 da Figura 20.	67
Figura 23: Indicador 2 da Figura 20.	68
Figura 24 : Indicadores 3 e 4 da Figura 20.	70
Figura 25: Indicador 5 da Figura 20.	71
Figura 26 : Indicador 6 da Figura 20.	72
Figura 27 : Indicador 7 da Figura 20.	72
Figura 28 : Indicadores 8 e 9 da Figura 20.	73
Figura 29 : Indicador 10 da Figura 21.	74
Figura 30: Indicador 11 da Figura 21.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variável e indicadores do plano de manutenção preventiva.	45
Tabela 2 - Relação do Número de Falhas e Tempo Total de Parada por Sistema.....	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Formulação do Problema.....	7
1.2	Justificativa.....	9
1.3	Objetivos.....	11
1.3.1	Geral	11
1.3.2	Específicos.....	11
1.4	Estrutura do Trabalho	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Manutenção	13
2.2	Métodos de Manutenção.....	18
2.2.1	Manutenção Corretiva	20
2.2.2	Manutenção Preventiva	23
2.2.3	Manutenção Preditiva	27
2.3	Plano de Manutenção.....	31
2.4	Plano de Manutenção Preventiva	36
2.5	Segurança na Manutenção	39
3	METODOLOGIA.....	41
3.1	Tipo de Pesquisa.....	41
3.2	Materiais e Métodos	42
3.3	Variáveis e Indicadores	44
3.4	Instrumento de Coleta de Dados.....	45
3.5	Tabulação dos Dados.....	45
3.6	Considerações Finais do Capítulo	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1	Características da Empresa.....	47
4.2	Descrição do Equipamento	51
4.3	Histórico de Falhas	56
4.4	Plano de Manutenção Preventiva	61
4.4.1	Tagueamento dos Equipamentos	61
4.4.2	Plano de Manutenção Preventiva	63

5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	78
5.1	Conclusão	78
5.2	Recomendações	79
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	80

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Os processos industriais estão diretamente relacionados ao desempenho da cadeia produtiva em diversos setores, especialmente no que se refere à eficiência e à confiabilidade das máquinas e equipamentos utilizados nas operações. Desde a fabricação de produtos básicos do cotidiano até aqueles que demandam especificações técnicas mais complexas, o adequado funcionamento dos maquinários exerce influência direta sobre a produtividade, a qualidade e a continuidade das operações industriais.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, por meio da NBR 5462 (1994, p. 6), a manutenção pode ser definida como “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”.

Para Soeiro (2017), a manutenção deve estar alinhada aos objetivos organizacionais, buscando atender às demandas de produção, aos custos planejados e aos padrões de qualidade estabelecidos. Nesse sentido, o autor aponta que a manutenção assumindo papel estratégico nas organizações, contribui para uma utilização mais eficiente dos recursos e para a redução dos custos ao longo do ciclo de vida dos equipamentos. Nesse contexto, a manutenção deixa de possuir apenas caráter corretivo e passa a ser compreendida como uma ferramenta de apoio à gestão industrial.

As atividades de manutenção desempenham papel fundamental dentro das indústrias, conforme destaca Xenos (1998), uma vez que são responsáveis por minimizar os efeitos do desgaste natural e do uso contínuo dos equipamentos e instalações. A ausência de estratégias adequadas de manutenção pode comprometer diretamente o desempenho operacional, ocasionando falhas, paradas na produção, perda da qualidade dos produtos e até impactos ambientais.

Dentre os diferentes tipos de manutenção, a manutenção preventiva destaca-se como uma das principais estratégias utilizadas para aumentar a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos industriais. Kardec e Nascif (2009) apontam a manutenção preventiva como ferramenta para maior controle das condições operacionais dos equipamentos, contribuindo para a redução de falhas inesperadas, aumento da vida útil dos componentes e melhoria do desempenho produtivo.

De acordo com Moubray (1997), a aplicação de práticas preventivas permite que as organizações atuem de forma antecipada sobre possíveis falhas, reduzindo impactos operacionais e aumentando a confiabilidade dos ativos industriais. Além disso, Xenos (1998) ressalta que a manutenção planejada contribui significativamente para a estabilidade dos processos produtivos, redução de custos decorrentes de intervenções corretivas e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Dessa forma, a implementação de planos de manutenção preventiva em equipamentos considerados críticos representa uma importante estratégia para assegurar a continuidade operacional, otimizar recursos e reduzir perdas produtivas associadas a falhas inesperadas.

No segmento industrial voltado à fabricação de equipamentos e componentes destinados ao setor de mineração, a confiabilidade dos processos produtivos exerce influência direta sobre a qualidade dos produtos fabricados, os prazos de entrega e a continuidade operacional das organizações.

Entre os equipamentos de elevada criticidade presentes nesse processo produtivo, destaca-se o misturador aberto de cilindros, responsável pela preparação da matéria-prima utilizada na fabricação de revestimentos aplicados aos componentes destinados no setor de mineração. Por se tratar de um equipamento responsável pelo processamento da matéria-prima empregada nas etapas subsequentes da fabricação, sua indisponibilidade pode comprometer diretamente o fluxo produtivo da organização, ocasionando atrasos na produção, aumento do tempo de parada e impactos no atendimento das demandas industriais.

Entretanto, a ocorrência recorrente de falhas operacionais e intervenções corretivas no misturador pode comprometer significativamente a disponibilidade do equipamento, impactando diretamente a produtividade, a confiabilidade operacional e a eficiência do processo produtivo.



Figura 1: Misturador aberto de cilindros.
Fonte: Pesquisa Direta (2026).

Nesse contexto, torna-se necessária a adoção de estratégias de manutenção preventiva capazes de reduzir falhas, aumentar a disponibilidade operacional e contribuir para a melhoria do desempenho produtivo da organização. De acordo com o contexto apresentado, tem-se a seguinte problemática:

Como propor um plano de manutenção preventiva para um misturador aberto de cilindros para uma empresa fabricante de equipamentos destinados ao setor de mineração?

1.2 Justificativa

A manutenção industrial exerce influência direta sobre a confiabilidade dos processos produtivos, especialmente em equipamentos considerados críticos para a continuidade operacional das organizações. Atualmente, observa-se a predominância da manutenção corretiva como principal forma de intervenção no misturador aberto de cilindros no contexto analisado.

Esse cenário contribui para a ocorrência de falhas inesperadas, impactando diretamente os custos de manutenção, a disponibilidade do equipamento e a estabilidade do processo produtivo. Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção corretiva não planejada está

associada a maiores custos operacionais, uma vez que normalmente ocorre de forma emergencial, exigindo intervenções imediatas e ocasionando perdas produtivas significativas.

Nesse sentido, Viana (2020) aponta as quebras inesperadas geram despesas não previstas que obrigam o gestor a reduzir recursos de outras contas planejadas para compensar o gasto emergencial. Além disso, reparos feitos às pressas e sob pressão frequentemente apresentam baixa qualidade técnica, resultando em falhas prematuras e novos gastos.

No segmento industrial voltado à fabricação de equipamentos destinados ao setor de mineração, a confiabilidade dos ativos produtivos torna-se ainda mais relevante, devido à necessidade de garantir a continuidade dos processos de fabricação e o cumprimento dos prazos produtivos. Dessa forma, o misturador aberto de cilindros destaca-se como um equipamento de elevada criticidade operacional, por ser responsável pela preparação da matéria-prima utilizada na fabricação de revestimentos aplicados aos componentes produzidos pela organização.

A indisponibilidade desse equipamento pode comprometer diretamente o fluxo produtivo. Como aponta Soeiro (2017), a quebra de um ativo central pode paralisar toda uma linha de produção, inviabilizando o cumprimento de prazos de entrega e comprometendo a competitividade da empresa no mercado.

Além disso, conforme destacam Kardec e Nascif (2001), as falhas recorrentes e intervenções corretivas emergenciais tendem a elevar os custos relacionados à manutenção, devido à necessidade de substituições não programadas de componentes, utilização emergencial de mão de obra e possíveis perdas associadas à interrupção do processo produtivo.

Outro fator relevante está relacionado à segurança operacional. A ocorrência de falhas inesperadas e a necessidade de intervenções corretivas emergenciais exerce uma influência negativa e crítica na segurança dos trabalhadores. Por ocorrer após uma falha ou quebra inesperada, esse tipo de intervenção expõe as equipes a riscos elevados de acidentes e à integridade das instalações (XENOS, 1998).

Nesse sentido, Kardec e Nascif (2001), apontam que as falhas aleatórias em processos contínuos, como altas pressões e temperaturas, podem causar paradas abruptas que comprometem outros equipamentos da linha, gerando cenários de perigo muito maiores do que a falha original.

Além dos impactos operacionais e financeiros, a ausência de um planejamento estruturado de manutenção pode comprometer o planejamento estratégico da organização, dificultando a programação de paradas, o gerenciamento de recursos e a previsibilidade das

intervenções necessárias. Conforme destaca Xenos (1998), a manutenção planejada permite maior controle sobre os ativos industriais, contribuindo para a redução de falhas, otimização dos recursos disponíveis e melhoria da confiabilidade operacional.

Dessa forma, a elaboração de um plano de manutenção preventiva para o misturador aberto de cilindros justifica-se pela necessidade de aumentar a disponibilidade operacional do equipamento, reduzir falhas recorrentes, minimizar impactos produtivos e contribuir para maior eficiência, confiabilidade e segurança dentro do processo industrial.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Propor um plano de manutenção preventiva para um misturador aberto de cilindros de uma empresa fabricante de equipamentos para mineração.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo teórico sobre: manutenção, métodos de manutenção, plano de manutenção, plano de manutenção preventiva e segurança na manutenção;
- Elaborar um procedimento metodológico para uma seleção de equipamento e proposta do plano de manutenção;
- Comparar os dados obtidos com a base teórica para propor o plano de manutenção preventiva para o equipamento selecionado.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, organizados de forma a apresentar a contextualização do tema, a base teórica, os procedimentos metodológicos, o desenvolvimento da proposta e as conclusões obtidas.

No primeiro capítulo, apresenta-se a introdução do estudo, contemplando a formulação do problema, a justificativa para a realização da pesquisa, o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura do trabalho. Essa etapa tem como finalidade contextualizar a importância da manutenção preventiva no ambiente industrial e evidenciar a relevância do misturador aberto de cilindros para o processo produtivo.

O segundo capítulo aborda a fundamentação teórica utilizada como base para o desenvolvimento da pesquisa. Nesse capítulo, são apresentados conceitos relacionados à manutenção industrial, sua evolução, importância estratégica, tipos de manutenção, gestão da manutenção, indicadores de desempenho e aspectos relacionados ao planejamento das atividades preventivas.

O terceiro capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados para a elaboração do trabalho. São apresentados o tipo de pesquisa, a abordagem utilizada, os materiais e métodos empregados, as variáveis e indicadores considerados, os instrumentos de coleta de dados e a forma de organização e análise das informações obtidas.

No quarto capítulo, desenvolve-se o estudo aplicado. Inicialmente, são apresentadas as características da empresa e o contexto produtivo no qual o equipamento está inserido. Em seguida, descreve-se o misturador aberto de cilindros, seus principais sistemas e componentes. Também são analisados o histórico de falhas e as recomendações do fabricante, informações que servem de base para a elaboração do plano de manutenção preventiva proposto. Por fim, apresenta-se a estrutura do plano, contemplando atividades de inspeção e intervenção, periodicidades, materiais de consumo, equipamentos de apoio, EPIs necessários, responsáveis e registros de acompanhamento.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões do trabalho, avaliando o atendimento aos objetivos propostos e a contribuição do plano de manutenção preventiva para a organização das rotinas de manutenção. Além disso, são indicadas recomendações para continuidade do estudo e possíveis melhorias futuras na aplicação do plano.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

A origem do termo “manutenção”, segundo Monchy *apud* Viana (2020), tem origem no ambiente militar, onde o sentido da palavra reportava a manter as unidades de combate, seu material e efetivo, constantemente, em um bom nível.

Segundo Xenos (1998), a manutenção nasce como resposta à crescente mecanização da produção, evoluindo de uma atividade puramente corretiva para uma função estratégica dentro das organizações industriais. Isso se deve ao fato de que causa das transformações tecnológicas, econômicas e produtivas que ocorreram ao longo das últimas décadas.

Nesse sentido, Kardec e Nascif (2009) postulam a evolução da manutenção em quatro gerações, conforme a Figura 2:

<i>Primeira Geração</i>	<i>Segunda Geração</i>		<i>Terceira Geração</i>
Antes de 1940	1940	1970	Após 1970
AUMENTO DA EXPECTATIVA EM RELAÇÃO À MANUTENÇÃO			
• Conserto após a falha	• Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento		• Maior disponibilidade e confiabilidade • Melhor custo-benefício • Melhor qualidade dos produtos • Preservação do meio ambiente
MUDANÇAS NAS TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO			
• Conserto após a falha	• Computadores grandes e lentos • Sistemas manuais de planejamento e controle do trabalho • Monitoração por tempo		• Monitoração de condição • Projetos voltados para confiabilidade e manutenibilidade • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Análise de modos e efeitos da falha (FMEA) • Grupos de trabalho multidisciplinares
Antes de 1940	1940	1970	Após 1970
<i>Primeira Geração</i>	<i>Segunda Geração</i>		<i>Terceira Geração</i>

Figura 2: Evolução da Manutenção.
Fonte: Kardec e Nascif, 2001

Observa-se na Figura 2, que a origem da manutenção remonta ao período anterior à Segunda Guerra Mundial, quando os equipamentos industriais apresentavam estrutura simples e a produtividade ainda não se configurava como prioridade nas organizações. Nessa fase inicial, as atividades de manutenção restringiam-se a serviços básicos de limpeza, lubrificação e reparos após a ocorrência de falhas, caracterizando-se, portanto, como uma manutenção corretiva não programada (XENOS, 1998).

Nesse sentido, com o avanço tecnológico e o aumento da mecanização, especialmente entre as décadas de 1940 e 1970, observa-se o aumento da demanda e a escassez de mão de obra, conforme ilustrado na Figura 2. Nesse contexto, surge a necessidade de maior disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos para garantir a produtividade. Como resultado, nasce o conceito de manutenção preventiva, cujo objetivo era antecipar possíveis falhas e reduzir as interrupções não planejadas na produção.

A terceira geração, conforme Figura 2, iniciada a partir da década de 1970, foi marcada pela adoção do sistema *just in time*, o que demandou processos produtivos mais eficientes e contínuos. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 378), “o *Just in Time* é uma abordagem que visa produzir bens e serviços exatamente no momento em que são requeridos — nem antes, nem depois — eliminando tudo o que não agrega valor ao processo produtivo”.

Assim, o JIT foi um dos principais impulsionadores da manutenção preditiva e preventiva, já que não havia espaço para falhas ou imprevistos em um ambiente produtivo tão sincronizado. Conforme Kardec e Nascif (2009) destacam, “a adoção do sistema Just in Time aumentou a exigência por confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, consolidando o papel da manutenção como elemento estratégico nas organizações industriais”. Dessa forma, a manutenção preditiva surgiu como resposta à necessidade de monitorar as condições operacionais dos equipamentos, sendo viabilizada pelo avanço das tecnologias de medição e diagnóstico.

Posteriormente, a quarta geração destaca-se pela busca da minimização de manutenções corretivas e preventivas por meio de análises de falhas, gestão de riscos, preocupação com o meio ambiente e segurança operacional. Nessa fase, a manutenção passou a ser compreendida como parte estratégica do gerenciamento de ativos, contribuindo diretamente para a sustentabilidade e eficiência das organizações (NAKAJIMA, 1988).

Por fim, a quinta geração, iniciada a partir de 2005, representa a evolução da manutenção como prática de gestão estratégica de ativos. Portanto, o foco se torna a

maximização do desempenho e da vida útil dos equipamentos, com o objetivo de alcançar o melhor retorno sobre o investimento. Assim, a manutenção preditiva assume papel ainda mais relevante, impulsionada pelo uso de tecnologias digitais, sensores inteligentes e sistemas de monitoramento *on-line* e *off-line*, caracterizando o início da chamada manutenção 4.0 (XENOS, 1998).

Nesse sentido, a manutenção se consolidou de forma a ter um papel estratégico dentro da indústria. Conforme Nepomuceno (1989, p. 31), a manutenção tem as seguintes responsabilidades:

- planejar, com a produção, um programa coerente de manutenção e reparos;
- conservar toda a instalação em condições tão perfeitas quanto possível, visando a minimização de custos;
- executar e controlar reparos e consertos, tanto eventuais quanto emergenciais, no menor prazo possível;
- obedecer aos intervalos de conservação rotineira para limpezas, ajustes, lubrificação, buscando que as interrupções na produção sejam mínimas;
- manter reuniões constantes com a produção para troca de informações e diagnósticos de problemas;
- verificar o motivo para que algumas máquinas e alguns equipamentos apresentem elevado índice de interrupções, buscando eliminar as causas;
- executar treinamentos para os funcionários da produção sobre procedimentos emergenciais recomendados em caso de necessidade.

Para Selene (2015), a manutenção, quando realizada de forma planejada, apresenta benefícios que justificam a sua realização, como, por exemplo:

- Segurança: menos riscos de falhas e acidentes de trabalho;
- Qualidade: desempenho dentro ou acima do padrão;
- Confiabilidade: menos interrupções nas atividades de produção;
- Vida útil: cuidado regular, limpeza e lubrificação prolongam a vida útil dos equipamentos.

Dessa maneira, a manutenção tem como finalidade garantir que os equipamentos operem em seu máximo potencial, atendendo às exigências produtivas e assegurando condições adequadas de segurança e conforto aos seus usuários (KARDEC; NASCIF, 2019). Portanto, sua relevância está associada à prevenção do desgaste natural de máquinas e componentes, o que evita falhas decorrentes do uso contínuo e reduz a ocorrência de custos adicionais com reparos e substituições (XENOS, 1998).

A avaliação do desempenho da manutenção depende da utilização de indicadores capazes de mensurar o comportamento dos equipamentos e subsidiar a tomada de decisão. Conforme destacam Kardec e Nascif (2009), a gestão da manutenção deve ser fundamentada em informações confiáveis, obtidas por meio de indicadores que permitam acompanhar a eficiência das intervenções e o desempenho dos ativos ao longo do tempo. Nesse contexto, os indicadores constituem importantes ferramentas de gestão, uma vez que possibilitam identificar oportunidades de melhoria, avaliar a confiabilidade dos equipamentos e direcionar as estratégias de manutenção.

Segundo Kardec e Nascif (2009), "o que faz a diferença na gestão não é apenas conhecer o que deve ser feito, mas fazer acontecer e no momento adequado", evidenciando que o acompanhamento sistemático dos indicadores fornece subsídios para decisões mais assertivas relacionadas ao planejamento das atividades de manutenção.

O Tempo Médio Entre Falhas (Mean Time Between Failures – MTBF) é um dos principais indicadores utilizados para avaliar a confiabilidade de equipamentos reparáveis.

Dessa forma, Xenos (1998) define o MTBF como o tempo total de operação, dividido pelo número de falhas, conforme a equação 1:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo Total de Operação}}{\text{Número de Falhas}} \quad (1)$$

De acordo com Soeiro, Olivio e Lucato (2017), esse indicador representa o tempo médio de funcionamento do equipamento entre duas falhas consecutivas, permitindo avaliar sua capacidade de permanecer em operação sem interrupções.

Corroborando essa definição, Viana (2020) destaca que o MTBF constitui um dos indicadores mais utilizados para avaliação da confiabilidade dos ativos, sendo empregado como critério para análise da criticidade dos equipamentos e definição das estratégias de manutenção. Quanto maior o valor do MTBF, maior tende a ser a confiabilidade do equipamento, uma vez que os intervalos entre falhas tornam-se mais longos.

Na obra de Kardec e Nascif (2009), esse indicador também é denominado Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), sendo amplamente utilizado para monitorar o desempenho operacional dos ativos e acompanhar os resultados obtidos pelas ações de manutenção.

Por outro lado, o Tempo Médio para Reparo (Mean Time To Repair – MTTR) corresponde ao tempo médio necessário para restaurar o equipamento às suas condições normais de operação após a ocorrência de uma falha.

Segundo Xenos (1998), esse indicador é calculado pelo tempo total de manutenção, dividido pelo número de falhas, conforme a equação 2:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de Manutenção}}{\text{Número de Falhas}} \quad (2)$$

Assim, Soeiro, Olivio e Lucato (2017), esse indicador é obtido pela relação entre o tempo total gasto nas intervenções corretivas e o número de falhas registradas em determinado período.

Viana (2020) destaca que o MTTR está diretamente relacionado à manutenibilidade do equipamento, representando a facilidade com que as intervenções podem ser executadas. Dessa forma, valores elevados desse indicador refletem maior tempo de indisponibilidade dos ativos e podem ocasionar impactos significativos na produtividade e nos custos de manutenção.

Kardec e Nascif (2009) utilizam a denominação Tempo Médio para Reparo (TMPR) para representar esse indicador, ressaltando sua importância na avaliação da eficiência das equipes de manutenção e no acompanhamento do desempenho operacional dos equipamentos.

Outro indicador de destaque na manutenção é a disponibilidade, que representa a capacidade de um equipamento permanecer apto a desempenhar sua função quando solicitado. Segundo Kardec e Nascif (2009), esse indicador está diretamente relacionado aos valores de MTBF e MTTR, sendo calculado pela relação entre o tempo médio entre falhas e a soma do tempo médio entre falhas com o tempo médio para reparo, conforme equação 3:

$$Disponibilidade = \frac{MTBF + MTTR}{MTBF} \quad (3)$$

Observa-se que o aumento do MTBF e a redução do MTTR contribuem diretamente para elevar a disponibilidade operacional dos equipamentos, favorecendo a continuidade da produção e reduzindo os impactos decorrentes das paradas para manutenção.

Além dos indicadores de confiabilidade, ferramentas estatísticas também são empregadas para apoiar a tomada de decisão na manutenção. Dentre elas, destaca-se o

Diagrama de Pareto, fundamentado no princípio de que uma pequena parcela das causas é responsável pela maior parte dos problemas observados.

Segundo Xenos (1998), o Diagrama de Pareto constitui uma importante ferramenta para identificação e priorização dos problemas de manutenção, permitindo direcionar os esforços para os componentes ou sistemas que apresentam maior impacto sobre o desempenho dos equipamentos. Da mesma forma, Kardec e Nascif (2009) ressaltam que essa ferramenta auxilia na definição das prioridades de intervenção, possibilitando concentrar recursos nas falhas que representam maior influência sobre a disponibilidade e os custos de manutenção.

No presente trabalho, o Diagrama de Pareto foi utilizado para identificar os sistemas com maior número de ocorrências e maior tempo de indisponibilidade, subsidiando a definição dos componentes críticos e a elaboração da proposta de plano de manutenção preventiva.

2.2 Métodos de Manutenção

Os métodos de manutenção são as formas como as intervenções nos equipamentos, sistemas ou instalações de produção são conduzidas e organizadas. Assim, dependendo da fonte, os métodos podem ser chamados de "tipos" ou "estratégias" de manutenção (VIANA, 2020).

Já Kardec e Nascif (2001), apontam os métodos de manutenção como “a maneira pela qual é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os vários tipos de manutenção existentes”.

Conforme ilustrado na Figura 3, Kardec e Nascif (2001) dividem os métodos e manutenção em:

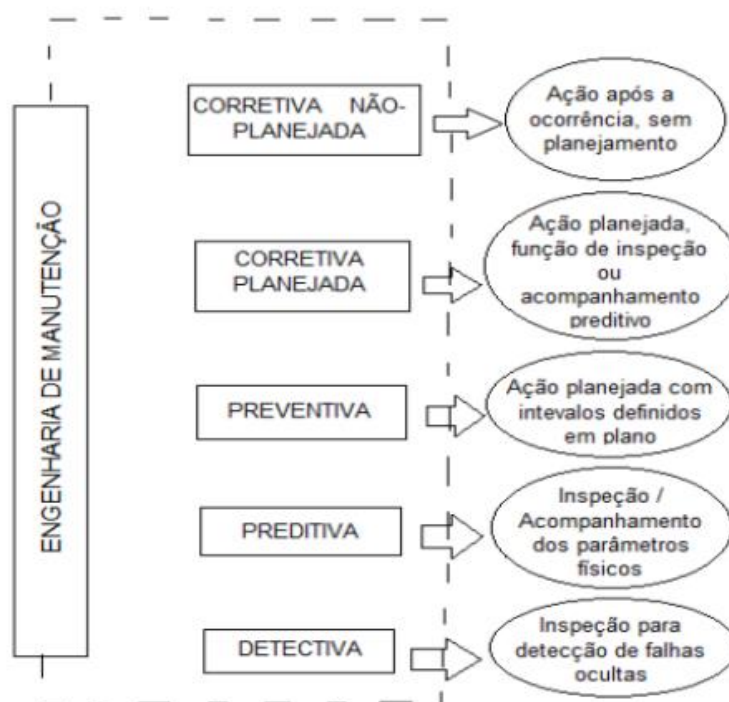


Figura 3: Tipos de Manutenção.
 Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif, 2001

Por meio da Figura 3, é possível observar que Kardec e Nascif (2001) classificam os métodos de manutenção em seis tipos: Corretiva não-planejada, Corretiva planejada, Preventiva, Preditiva, Detectiva e Engenharia de manutenção.

Enquanto isso, Viana (2020) classifica os métodos de manutenção em dois grupos principais: Manutenção preventiva e Manutenção corretiva. De acordo com o autor, a manutenção preventiva subdivide-se em sistemática e sob condição, enquanto a corretiva pode ser classificada em emergencial e planejada, considerando o nível de preparação e controle das intervenções realizadas.

Em contrapartida, Xenos (1998) caracteriza as atividades em dois objetivos distintos: as Atividades de Manutenção, que visam manter as condições originais de operação, e as Atividades de Melhoria, que buscam aumentar a produtividade e confiabilidade. Dentro desses conceitos, ele classifica os métodos em Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva, Melhoria dos Equipamentos, Prevenção de Manutenção e Manutenção Autônoma.

Dessa forma, a escolha da estratégia de manutenção mais adequada deve considerar uma série de fatores que influenciam diretamente o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos, conforme adotado por Viana (2006). Entre os principais pontos, destacam-se:

- Recomendações do fabricante: incluem orientações sobre conservação, intervalos de manutenção, ajustes, calibrações e procedimentos corretivos indicados para garantir o bom funcionamento do equipamento;
- Segurança e meio ambiente: é fundamental atender às exigências legais e promover uma integração equilibrada entre o operador, a máquina e o ambiente, garantindo condições seguras e sustentáveis de trabalho;
- Características do equipamento: devem ser observados aspectos como o tempo médio entre falhas, a vida útil estimada e o tempo médio necessário para reparos, o que auxilia na definição do tipo e da frequência das intervenções;
- Fator econômico: envolve a análise dos custos de manutenção, recursos humanos, materiais utilizados e impactos na produção, buscando sempre o equilíbrio entre investimento e resultado.

Com base nessa avaliação, é possível definir a estratégia de manutenção mais adequada ao contexto da indústria — seja corretiva, preventiva, preditiva ou, em alguns casos específicos, detectiva — visando sempre a eficiência operacional e a redução de custos não planejados.

Em vista disso, os métodos de manutenção constituem instrumentos fundamentais para o alcance da confiabilidade e da disponibilidade dos sistemas produtivos. Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 41), “a escolha do método de manutenção adequado deve considerar o comportamento dos equipamentos, o impacto da falha no processo e os custos associados à intervenção”.

2.2.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é definida por Xenos (1998) como a manutenção realizada após a falha. Segundo o autor, a decisão pela adoção desse método deve ocorrer por caráter econômico, quando é mais viável corrigir a falha do que investir em ações preventivas. Entretanto, essa atividade pode resultar em elevadas perdas de produção, impactos na segurança e danos ambientais, fatores que podem tornar esse método mais oneroso do que o previsto inicialmente. Além disso, Xenos (1998) ressalta a necessidade de recursos prontamente disponíveis, como peças, ferramentas e mão de obra, para que a intervenção ocorra de forma rápida, reduzindo os impactos na produção.

Sob essa perspectiva, Xenos (1998) conceitua o "Círculo Vicioso das Falhas", como consequência desse método de manutenção, o qual a atuação da manutenção se limita à

eliminação dos sintomas de uma falha para retomar a produção o mais rápido possível, sem investigar ou bloquear suas causas fundamentais. De acordo com o autor, o funcionamento deste ciclo é caracterizado por:

1. Ocorrência da Falha: Um equipamento para ou perde desempenho;
2. Reparo de Emergência: A equipe realiza uma ação corretiva imediata apenas para "remover o sintoma";
3. Negligência da Causa Raiz: As causas fundamentais não são investigadas nem bloqueadas por contramedidas, para garantir maior velocidade na atuação.
4. Reincidência: As mesmas causas voltam a atuar, gerando a reincidência da falha em um curto período;
5. Sobrecarga: Essas falhas repetitivas somam-se a novas falhas, criando um volume de trabalho que consome todo o tempo da equipe.

Como resultado, o tempo que deveria ser destinado às atividades de manutenção preventiva acaba sendo totalmente ocupado pelos reparos frequentes das falhas recorrentes. Além disso, a equipe de manutenção torna-se dedicada a esse ciclo, vivendo em um estado de incerteza diária, horas extras excessivas e chamados urgentes em fins de semana. Por fim, com a evolução do ciclo, as falhas surgem em quantidades cada vez maiores, tornando-se uma "epidemia incontrolável" que drena os recursos e o orçamento da organização

Para romper esse círculo, Xenos (1998) defende a implementação de um Sistema de Tratamento de Falhas, que exige que engenheiros e supervisores saiam de seus escritórios para observar o fenômeno no local da ocorrência (Princípio dos 3 Gen) e utilizem métodos como o das perguntas sucessivas (Método dos Por Quês) para identificar e eliminar definitivamente a origem do problema.

Por outro lado, Kardec e Nascif (2001, p.36) conceituam a manutenção corretiva como “atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado”. Assim, os autores enfatizam que este método não se limita apenas a consertos de emergência, ocorrendo também quando se atua em equipamentos que apresentam defeitos ou variáveis operacionais deficientes. Nesse sentido, os autores destacam duas condições que resultam na manutenção corretiva:

- Desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais;
- Ocorrência da falha.

Kardec e Nascif (2001) subdividem a manutenção corretiva em duas classes: Manutenção Corretiva Não Planejada e Manutenção Corretiva Planejada.

Dessa forma, Kardec e Nascif (2001), apontam a Manutenção Corretiva Não Planejada como a correção da falha de maneira aleatória, atuando sobre um fato já ocorrido sem tempo para preparação do serviço. Segundo os autores, essa prática implica custos elevados, pois a quebra inesperada acarreta perdas de produção, queda na qualidade do produto e altos custos indiretos

Em indústrias de processo contínuo, as paradas abruptas para manutenção emergencial são críticas, pois podem comprometer a integridade de outros equipamentos da linha que vinham operando adequadamente. Kardec e Nascif (2001) afirmam que uma organização onde a maioria das intervenções é não planejada acaba sendo "comandada pelos equipamentos", perdendo sua competitividade no mercado, e como consequência, resulta em danos secundários graves devido à quebra inesperada, perda de qualidade do produto e altos custos diretos, especialmente quando inserida no contexto de processos contínuos.

Em contrapartida, a Manutenção Corretiva Planejada é a correção resultante de uma decisão gerencial, baseada em acompanhamento preditivo ou na decisão consciente de operar até a quebra. Sendo uma atividade planejada, é caracterizada por ser sempre mais barato, rápido, seguro e de melhor qualidade técnica quando comparada a corretiva não planejada, como destacam Kardec e Nascif (2001).

Na perspectiva de Viana (2020), a manutenção corretiva abrange o grupo de ações técnicas executadas após o surgimento de uma falha, tendo como meta devolver ao equipamento a capacidade de realizar suas tarefas obrigatórias, sendo esse ponto o "divisor de águas", o que separa o campo preventivo do corretivo é a falha funcional, e não a parada total. Além disso, o autor destaca que esperar pela interrupção completa do ativo para classificar a ação como corretiva não demonstra totalmente a realidade operacional, gerando dados de confiabilidade (MTBF) excessivamente otimistas e permitindo que máquinas operem de forma degradada sem o devido registro de falha.

De acordo com o Viana (2020), este tipo de intervenção se ramifica em duas categorias: Corretiva Emergencial e Corretiva Planejada.

Para o autor, a Corretiva Emergencial, caracterizada pela ação imediata provocada por situações que oferecem riscos graves à segurança, ao meio ambiente ou ao patrimônio físico da

empresa. Por sua natureza urgente, demanda a mobilização instantânea de equipes de pronto atendimento para soluções de curtíssimo prazo.

Já a Corretiva Planejada, ocorre quando já se tem ciência da falha por meio de rotinas de inspeção ou monitoramento, mas a intervenção pode ser organizada, segundo Viana (2020). Nessa perspectiva, o autor aponta a possibilidade de preparar recursos, ferramentas e cronogramas antes da execução, sendo ideal para sistemas que possuem redundância ou falhas que não impedem totalmente a operação imediata.

Estrategicamente, Viana (2020) defende que a manutenção corretiva deve ser a tática prioritária para ativos de baixa criticidade, classificados como Classe C (baixa criticidade). Nestes casos, a diretriz é operar o equipamento até a quebra, visando a economia de recursos de prevenção e concentrando os esforços financeiros e humanos nos equipamentos vitais das Classes A e B. Nesse sentido, a corretiva é uma das formas fundamentais de identificar demandas que alimentarão o fluxo de planejamento e execução da manutenção.

2.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva, na perspectiva de Kardec e Nascif (2001), é conceituada como uma "atuação baseada em intervalos definidos de tempo para reduzir ou evitar falhas". Essa estratégia fundamenta-se na execução de cronogramas rígidos de intervenção, buscando antecipar-se ao surgimento de avarias e garantir que o equipamento permaneça disponível para a operação conforme o planejado.

Dessa forma, segundo Kardec e Nascif (2001), a manutenção preventiva deve ser priorizada quando a manutenção preditiva não for tecnicamente possível ou em situações específicas, como em sistemas de operação contínua e complexos e em ativos cuja falha represente riscos graves à segurança das pessoas ou ao meio ambiente. Nesse sentido, a preventiva oferece a vantagem gerencial de permitir o nivelamento de recursos e a previsibilidade no consumo de materiais, uma vez que as intervenções são conhecidas antecipadamente (KARDEC e NASCIF, 2001).

Além disso, Kardec e Nascif (2001) explicam que revisões programadas por idade são ineficazes para componentes que não apresentam um desgaste previsível relacionado ao tempo de uso. Em equipamentos complexos, a aplicação de preventivas sistemáticas pode não elevar a confiabilidade se os modos de falha forem aleatórios.

Em suma, a manutenção preventiva deve deixar de ser um "padrão automático" para se tornar uma decisão estratégica, aplicada onde a relação custo-benefício e os requisitos de segurança a tornem indispensável para manter a função do ativo disponível (KARDEC e NASCIF, 2001).

Por outro lado, Xenos (1998) aponta a manutenção preventiva representa um dos principais pilares da gestão da manutenção, uma vez que permite à organização manter o controle sobre as condições operacionais de seus equipamentos, reduzindo a ocorrência de falhas inesperadas e paradas não planejadas. Segundo o autor, esse método baseia-se na atuação antecipada sobre possíveis causas de falhas, buscando preservar o desempenho e a confiabilidade dos ativos ao longo de sua vida útil.

De acordo com Xenos (1998), a manutenção preventiva pode ser definida como um conjunto de ações planejadas e executadas periodicamente, com o objetivo de reduzir ou eliminar perdas de desempenho dos equipamentos. Nesse contexto, o autor ressalta que “a manutenção preventiva visa evitar falhas antes que elas ocorram”, assegurando que os equipamentos operem dentro das condições para as quais foram projetados. Assim, a preventiva não possui apenas a finalidade de impedir quebras, mas também de garantir estabilidade operacional, segurança e continuidade da produção (XENOS,1998).

Nesse sentido, as ações preventivas são classificadas em dois grandes grupos, na perspectiva de Xenos (1998): atividades baseadas no tempo e atividades baseadas na condição. As ações baseadas no tempo correspondem às intervenções executadas em intervalos previamente estabelecidos, como substituições programadas de componentes, reformas e lubrificações periódicas. Segundo o autor, esse modelo é mais adequado quando existe relação direta entre o tempo de utilização do equipamento e a probabilidade de ocorrência de falhas, caracterizando um desgaste previsível dos componentes.

Por outro lado, Xenos (1998) aponta que as atividades baseadas na condição estão associadas ao acompanhamento contínuo do estado operacional dos equipamentos, sendo desenvolvidas por meio do monitoramento de parâmetros como vibração, temperatura, ruído e análise de óleo. Nessa abordagem, também conhecida como manutenção preditiva, as intervenções ocorrem apenas quando os indicadores de desempenho atingem limites previamente definidos, possibilitando maior aproveitamento da vida útil dos componentes e redução de intervenções desnecessárias (XENOS, 1998).

Além das intervenções técnicas de maior complexidade, Xenos (1998) destaca que a manutenção preventiva também envolve atividades rotineiras, como limpeza, lubrificação, inspeções visuais e pequenos ajustes. Nesse sentido, o autor enfatiza a importância da manutenção autônoma, caracterizada pela participação dos próprios operadores em tarefas básicas de conservação dos equipamentos. Essa prática contribui para a identificação precoce de anomalias e fortalece a integração entre produção e manutenção dentro do ambiente industrial.

Sob a perspectiva econômica, Xenos (1998) reconhece que a manutenção preventiva pode apresentar custos diretos superiores aos da manutenção corretiva, principalmente devido à substituição programada de componentes ainda em funcionamento. Entretanto, o autor defende que, a longo prazo, essa estratégia se mostra mais vantajosa, pois reduz perdas produtivas, evita falhas inesperadas e possibilita melhor planejamento de recursos, mão de obra e materiais. Além disso, o autor destaca que a previsibilidade proporcionada pela manutenção preventiva contribui para minimizar impactos financeiros decorrentes de interrupções não programadas na produção.

Por fim, Xenos (1998) ressalta que a eficácia da manutenção preventiva depende diretamente do planejamento, da padronização das atividades e do cumprimento rigoroso dos cronogramas estabelecidos. O autor alerta que a negligência nas ações preventivas pode gerar um “círculo vicioso das falhas”, no qual o aumento das intervenções emergenciais compromete a capacidade da equipe de executar atividades planejadas, reduzindo a confiabilidade dos equipamentos e impactando negativamente o desempenho operacional da organização.

Sob a perspectiva de Viana (2020), a manutenção preventiva compreende todas as intervenções realizadas antes que o equipamento atinja o estado de falha, tendo como principal objetivo preservar suas condições operacionais e garantir a continuidade do processo produtivo. O autor apresenta uma abordagem mais ampla sobre esse método, considerando que a manutenção preventiva não se restringe apenas à conservação dos equipamentos, mas também engloba a correção de defeitos e anomalias que ainda não comprometem totalmente o desempenho das funções do ativo.

Segundo Viana (2020), o principal critério para diferenciar a manutenção preventiva da corretiva está relacionado à ocorrência da falha. Nesse contexto, qualquer intervenção executada antes da falha efetiva do equipamento é caracterizada como preventiva. O autor critica a utilização da “pane” ou da parada total como referência para a tomada de decisão, uma vez que muitos equipamentos continuam operando em condições degradadas sem que os custos

associados às perdas de desempenho sejam devidamente considerados. Dessa forma, Viana (2020) ressalta que a identificação precoce de defeitos permite maior controle sobre os ativos e reduz os impactos operacionais decorrentes de falhas inesperadas.

Assim, Viana (2020) subdivide a manutenção preventiva em dois grupos principais: Manutenção Preventiva Sistemática (MPS) e Manutenção Preventiva Condicional (MPC). A manutenção preventiva sistemática é baseada em intervenções realizadas em intervalos previamente definidos, seja por tempo, horas de operação ou ciclos produtivos, buscando reduzir a probabilidade de falhas e proporcionar maior previsibilidade operacional. De acordo com Viana (2020), essa abordagem contribui para que o processo produtivo ocorra de forma mais estável, reduzindo interrupções inesperadas e aumentando a confiabilidade dos equipamentos.

Já a manutenção preventiva condicional, também denominada manutenção sob condição, fundamenta-se no monitoramento contínuo do desempenho dos ativos por meio de técnicas sensíveis, inspeções, sistemas preditivos e telemetria. Nesse modelo, as intervenções são realizadas somente quando os parâmetros monitorados indicam a presença de anomalias ou sinais de degradação. Assim, segundo Viana (2020), a manutenção ocorre de maneira mais assertiva, evitando substituições desnecessárias e permitindo maior aproveitamento da vida útil dos componentes.

Além dos aspectos técnicos, Viana (2020) destaca que a manutenção preventiva proporciona importantes vantagens operacionais e gerenciais. O planejamento prévio das intervenções possibilita maior controle sobre materiais, peças de reposição e mão de obra, reduzindo improvisações e contribuindo para uma gestão mais eficiente do almoxarifado. O autor ressalta ainda que, como as atividades são previamente definidas e estruturadas, a qualidade das intervenções tende a ser superior, aumentando a confiabilidade do processo de manutenção (VIANA, 2020).

Outro ponto enfatizado por Viana (2020) refere-se à necessidade de padronização e melhoria contínua das atividades preventivas. Segundo o autor, rotinas como lubrificação, inspeções e substituições programadas devem ser constantemente revisadas e aperfeiçoadas, permitindo que a equipe desenvolva maior conhecimento sobre os pontos críticos dos equipamentos e aprimore os métodos de trabalho ao longo do tempo.x

Por fim, Viana (2020) ressalta que a manutenção preventiva deve ser priorizada principalmente em equipamentos de alta e média criticidade, nos quais falhas podem gerar

impactos significativos sobre a produção, a segurança e os custos operacionais. Nesse contexto, o autor defende que a adoção de estratégias preventivas contribui diretamente para o aumento da disponibilidade dos ativos e do Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), favorecendo a confiabilidade operacional e a rentabilidade das organizações industriais.

2.2.3 Manutenção Preditiva

Para Kardec e Nascif (2001), a manutenção preditiva, também denominada manutenção sob condição, baseia-se no acompanhamento sistemático de parâmetros de condição e desempenho dos equipamentos, permitindo que as intervenções ocorram conforme o estado real de funcionamento dos ativos.

Segundo Kardec e Nascif (2001), trata-se de uma “atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática”. Nesse contexto, a manutenção preditiva representa uma mudança significativa na forma de gestão da manutenção, uma vez que as decisões deixam de ser tomadas apenas com base em períodos fixos de tempo e passam a considerar as condições efetivas dos equipamentos.

Além disso, Kardec e Nascif (2001) destacam que, diferentemente da manutenção preventiva tradicional, na qual as intervenções ocorrem em intervalos previamente estabelecidos, a manutenção preditiva prioriza a disponibilidade operacional dos ativos. Isso ocorre porque o monitoramento dos parâmetros — como vibração, temperatura, pressão, ruído e análise de óleo — é realizado enquanto o equipamento permanece em operação. Assim, a intervenção técnica é executada apenas quando os indicadores apontam níveis de degradação próximos aos limites considerados críticos (KARDEC; NASCIF, 2001).

Kardec e Nascif (2001) ressaltam ainda que, a manutenção preditiva possui forte relação com a manutenção corretiva planejada. Isso porque o monitoramento contínuo permite identificar antecipadamente a necessidade de reparos, possibilitando que as intervenções sejam programadas de maneira organizada e controlada (KARDEC; NASCIF, 2001). Dessa forma, é possível preparar previamente peças, ferramentas, materiais e equipes, reduzindo o tempo de parada e aumentando a segurança e a eficiência das atividades de manutenção (KARDEC; NASCIF, 2001).

Sob a perspectiva econômica, Kardec e Nascif (2001) destacam que a manutenção preditiva apresenta vantagens significativas em comparação à manutenção corretiva emergencial. Segundo os autores, os custos associados às intervenções planejadas tendem a ser

consideravelmente menores, uma vez que a antecipação das falhas reduz perdas produtivas, evita danos severos aos equipamentos e minimiza riscos à segurança operacional. Além disso, a diminuição das falhas catastróficas contribui diretamente para o aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos sistemas industriais (KARDEC; NASCIF, 2001).

Entretanto, Kardec e Nascif (2001) ressaltam que a implementação da manutenção preditiva exige determinadas condições técnicas e gerenciais. O equipamento deve permitir o monitoramento de variáveis capazes de indicar o avanço de falhas, e os investimentos em sistemas de monitoramento precisam apresentar viabilidade econômica compatível com os benefícios esperados (KARDEC; NASCIF, 2001). Além disso, os autores enfatizam a necessidade de mão de obra qualificada, uma vez que a interpretação correta dos dados coletados é fundamental para a elaboração de diagnósticos precisos e para a tomada de decisões assertivas (KARDEC; NASCIF, 2001).

Outro conceito importante apresentado por Kardec e Nascif (2001) é o de falha potencial, fundamentado nos princípios da Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM). Segundo os autores, a falha potencial corresponde aos primeiros sinais de degradação detectáveis antes da perda total da função do equipamento. Nesse sentido, o objetivo da manutenção preditiva é identificar essas anomalias ainda em estágio inicial, permitindo que as intervenções sejam realizadas antes da ocorrência da falha funcional e garantindo maior confiabilidade operacional aos processos industriais (KARDEC; NASCIF, 2001)..

Sob a perspectiva de Xenos (1998), a manutenção preditiva consiste em um conjunto de ações preventivas fundamentadas no acompanhamento contínuo das condições reais de operação dos equipamentos, sendo caracterizada como uma manutenção baseada na condição. Nesse método, o monitoramento ocorre por meio de inspeções, medições e análises técnicas realizadas ao longo do funcionamento do ativo, permitindo identificar sinais de degradação antes da ocorrência da falha funcional (XENOS, 1998).

Segundo o Xenos (1998), o principal objetivo da manutenção preditiva é otimizar a vida útil dos componentes, permitindo que as intervenções ocorram somente quando realmente necessárias. Dessa forma, evita-se a substituição prematura de peças que ainda apresentam condições adequadas de utilização, problema frequentemente associado à manutenção preventiva baseada exclusivamente em intervalos de tempo fixos (XENOS, 1998). Segundo o autor, essa abordagem possibilita maior aproveitamento dos recursos e redução de desperdícios dentro do processo produtivo (XENOS, 1998).

A manutenção preditiva fundamenta-se na utilização de técnicas de monitoramento capazes de detectar alterações no comportamento dos equipamentos em seus estágios iniciais de degradação (XENOS, 1998). Entre os principais métodos citados por Xenos (1998), destacam-se a análise de vibração em equipamentos rotativos, o acompanhamento das propriedades do óleo lubrificante, medições de temperatura e inspeções sensitivas. Essas técnicas permitem identificar tendências de desgaste e acompanhar a evolução das condições operacionais dos ativos ao longo do tempo (XENOS, 1998).

Outro aspecto relevante destacado pelo autor refere-se à análise de tendência dos parâmetros monitorados. De acordo com Xenos (1998), o registro contínuo dos dados em gráficos e históricos de desempenho possibilita prever o momento mais adequado para a realização de reparos ou substituições. Assim, a manutenção deixa de ocorrer de maneira emergencial e passa a ser planejada de forma mais eficiente, reduzindo impactos sobre a produção e aumentando a disponibilidade dos equipamentos (XENOS, 1998).

Sob o ponto de vista econômico, Xenos (1998) reconhece que a manutenção preditiva pode demandar investimentos mais elevados em instrumentos de medição, sistemas de monitoramento e mão de obra especializada. Entretanto, o autor ressalta que os benefícios obtidos ao longo do tempo tornam essa estratégia economicamente vantajosa, principalmente devido à redução de desmontagens desnecessárias, diminuição das falhas inesperadas e menor ocorrência de interrupções não programadas na produção.

Além disso, Xenos (1998) enfatiza que a manutenção preditiva não deve ser tratada como uma atividade isolada dentro da organização, mas sim integrada ao planejamento global da manutenção. Segundo o autor, o monitoramento das condições dos equipamentos deve atuar como uma ferramenta complementar às demais estratégias de manutenção, contribuindo para decisões mais assertivas e para o aumento da confiabilidade operacional.

Dessa forma, a manutenção preditiva permite maior controle sobre o estado dos equipamentos, possibilitando intervenções planejadas e realizadas no momento mais adequado (XENOS, 1998). Como resultado, observa-se aumento da disponibilidade dos ativos, redução de desperdícios e melhoria da eficiência operacional dos sistemas produtivos (XENOS, 1998).

Por outro lado, Viana (2020), a manutenção preditiva não é tratada como uma categoria isolada, mas sim como uma aplicação técnica inserida dentro da Manutenção Preventiva Condicional (MPC). O autor propõe uma classificação simplificada dos métodos de manutenção, dividindo-os em dois grandes grupos: manutenção preventiva, composta por

intervenções realizadas antes da ocorrência da falha, e manutenção corretiva, aplicada após a falha funcional do equipamento. Nesse contexto, a manutenção preditiva é compreendida como uma ferramenta utilizada para acompanhar as condições operacionais dos ativos e identificar anomalias antes que elas evoluam para falhas (VIANA, 2020).

Segundo Viana (2020), as inspeções realizadas por técnicas preditivas consistem em atividades preventivas fundamentadas em medições, ensaios não destrutivos e análises estatísticas, com o objetivo de monitorar continuamente o estado dos equipamentos. O autor ressalta que a finalidade desse método é detectar sinais de degradação e determinar o momento mais adequado para a intervenção, evitando falhas inesperadas e reduzindo impactos sobre a produção.

Dentro do modelo de gestão apresentado por Viana (2020), a manutenção preditiva desempenha papel fundamental no processo de identificação da demanda de manutenção. O autor destaca que a coleta de dados e a realização das rotas de inspeção ocorrem de maneira sistemática, seguindo cronogramas previamente definidos.

Entretanto, a intervenção técnica somente é executada quando o monitoramento identifica uma condição anormal ou um defeito em desenvolvimento, caracterizando a manutenção preventiva condicional (VIANA, 2020). Dessa forma, a atuação ocorre ainda antes da perda total da função do equipamento, permitindo maior controle sobre os ativos industriais (VIANA, 2020).

Viana (2020) destaca ainda que, as principais técnicas utilizadas nos programas de manutenção preditiva incluem análise de vibração mecânica, ensaio por ultrassom, análise de óleo lubrificante e termografia. Além dessas ferramentas, o autor menciona o uso da telemetria, tecnologia que permite o monitoramento contínuo dos equipamentos por meio de sensores responsáveis pela transmissão de dados em tempo real para sistemas de diagnóstico e acompanhamento operacional.

Sob o ponto de vista estratégico, Viana (2020) ressalta que a manutenção preditiva deve ser priorizada principalmente em ativos de alta criticidade, nos quais uma falha pode causar elevados impactos produtivos, financeiros ou relacionados à segurança operacional. Nesse contexto, Viana (2020) relaciona a manutenção preditiva ao conceito da Curva PF, utilizada para representar a evolução entre a falha potencial e a falha funcional. Segundo essa abordagem, a identificação precoce de sinais de degradação permite que as intervenções ocorram antes da

quebra efetiva do equipamento, aumentando a confiabilidade e reduzindo os custos associados a falhas emergenciais (VIANA, 2020).

Além disso, Viana (2020) aponta diversas vantagens operacionais associadas à manutenção preditiva. Entre elas, destacam-se o maior aproveitamento da vida útil dos componentes, a redução de desmontagens desnecessárias e a possibilidade de planejamento antecipado das intervenções pelo Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). Dessa forma, a utilização de técnicas preditivas contribui para uma gestão mais eficiente dos ativos, proporcionando maior previsibilidade operacional e redução das interrupções não programadas na produção (VIANA, 2020).

2.3 Plano de Manutenção

De acordo com Xenos (1998), o plano de manutenção pode ser definido como "um conjunto de ações preventivas e de datas para sua execução" (XENOS, 1998, p. 172). Segundo o autor, esse plano funciona como um cronograma capaz de orientar a realização das intervenções de manutenção, estabelecendo previamente as atividades e os momentos em que deverão ser executadas, de modo a preservar as condições operacionais dos equipamentos e reduzir a ocorrência de falhas inesperadas (XENOS, 1998).

Nesse sentido, Soeiro, Olivio e Lucato (2017) ampliam esse conceito ao afirmarem que o plano de manutenção resulta da integração entre o planejamento e a programação das atividades. Para os autores, "Plano de manutenção = Planejamento da atividade + Programação da atividade" (SOEIRO; OLIVIO; LUCATO, 2017, p. 111), evidenciando que sua elaboração não se restringe apenas à definição das intervenções, mas também contempla a organização dos recursos, dos responsáveis, dos procedimentos e dos períodos de execução. Assim, o plano de manutenção constitui o instrumento responsável por transformar o planejamento estratégico em ações operacionais dentro da organização (SOEIRO; OLIVIO; LUCATO, 2017).

Sob essa perspectiva, Viana (2020) caracteriza o plano de manutenção como a base da Manutenção Preventiva Sistemática (MPS), sendo responsável pela padronização e gerenciamento das atividades executadas pela equipe de manutenção. Segundo o autor, o plano deve contemplar pautas detalhadas das tarefas, estimativas de tempo, recursos necessários e periodicidade das intervenções, permitindo que as atividades sejam realizadas de forma repetitiva, organizada e controlada (VIANA, 2020). Para Viana (2020), essa sistematização reduz improvisações durante a execução dos serviços e favorece o aumento da confiabilidade dos equipamentos.

Em uma abordagem mais abrangente, Kardec e Nascif (2009) inserem o plano de manutenção no contexto da gestão estratégica dos ativos. Segundo os autores, sua elaboração deve estar fundamentada em análises de confiabilidade e criticidade, bem como em metodologias como a Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM), direcionando as intervenções para os equipamentos que exercem maior influência sobre o desempenho do processo produtivo (KARDEC E NASCIF, 2020). Nessa perspectiva, o plano deixa de representar apenas um cronograma de serviços e passa a integrar o Sistema de Gestão da Manutenção de Ativos, contribuindo para o alcance dos objetivos organizacionais (KARDEC E NASCIF, 2020).

Segundo Xenos (1998), o principal objetivo do plano de manutenção consiste em permitir que as intervenções sejam realizadas antes da ocorrência das falhas, evitando que os equipamentos determinem, de forma inesperada, o momento de sua parada. O autor ressalta que a manutenção deve "agir com antecedência" (XENOS, 1998, p. 24), buscando bloquear as causas potenciais das falhas e preservar o desempenho originalmente previsto para os equipamentos. Nessa perspectiva, o planejamento das intervenções contribui diretamente para a redução das interrupções não programadas e para o aumento da disponibilidade operacional (XENOS, 1998).

Desse modo, Soeiro, Olivio e Lucato (2017) destacam que o plano de manutenção possui como objetivo organizar as atividades de manutenção de forma a aumentar a disponibilidade e a confiabilidade dos ativos, reduzindo as paradas inesperadas e seus impactos sobre o processo produtivo. Além disso, os autores ressaltam que o planejamento das intervenções deve garantir que os equipamentos desempenhem suas funções com segurança, confiabilidade, preservação ambiental e custos compatíveis com os objetivos da organização (SOEIRO, OLIVIO E LUCATO, 2017).

Nesse mesmo sentido, Viana (2020) afirma que o plano de manutenção tem como finalidade reduzir a probabilidade de falhas e minimizar a degradação funcional dos equipamentos, proporcionando maior disponibilidade dos ativos e tranquilidade operacional ao processo produtivo. Segundo o autor, o planejamento sistemático das atividades permite eliminar improvisações, organizar as equipes de manutenção e assegurar que as intervenções ocorram de maneira padronizada e eficiente (VIANA, 2020).

Além da prevenção de falhas, Xenos (1998) destaca que o plano de manutenção desempenha papel fundamental no planejamento dos recursos necessários para execução das atividades. De acordo com o autor, o plano anual constitui a base para elaboração do orçamento

da manutenção, permitindo dimensionar a carga de trabalho em homem-hora (HH), estimar a necessidade de peças sobressalentes, materiais e ferramentas especiais, bem como planejar os recursos financeiros destinados às intervenções (XENOS, 1998).

Outro objetivo importante refere-se à padronização das atividades de manutenção. Para Viana (2020), o plano funciona como um roteiro detalhado das tarefas, estabelecendo procedimentos, periodicidades e responsabilidades para cada intervenção. Em complemento, Soeiro, Olivio e Lucato (2017) destacam que essa padronização orienta os executantes quanto ao que deve ser realizado, como a atividade será desenvolvida e quando deverá ocorrer, favorecendo maior qualidade técnica, redução de retrabalhos e melhoria contínua dos processos de manutenção.

Sob uma abordagem estratégica, Kardec e Nascif (2009) ressaltam que o plano de manutenção deve estar alinhado aos objetivos organizacionais, constituindo um importante instrumento para a tomada de decisões relacionadas à gestão dos ativos. Segundo os autores, a missão da manutenção consiste em "garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados" (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 144).

Diante do exposto, observa-se que os objetivos do plano de manutenção vão além da simples programação das intervenções. Conforme evidenciado por Xenos (1998), Soeiro, Olivio e Lucato (2017), Viana (2020) e Kardec e Nascif (2009), sua elaboração permite prevenir falhas, aumentar a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos, padronizar as atividades de manutenção, otimizar a utilização dos recursos humanos e materiais e subsidiar a tomada de decisões estratégicas. Assim, o plano de manutenção constitui uma ferramenta indispensável para garantir maior eficiência operacional e contribuir para a competitividade das organizações industriais.

Conforme apresentado por Xenos (1998), o plano de manutenção deve contemplar informações detalhadas que permitam padronizar as atividades de manutenção, garantindo que todas as intervenções sejam executadas de forma planejada e sistemática.

Nesse contexto, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5, observa-se que um plano de manutenção é estruturado de forma a reunir informações referentes aos subconjuntos e componentes do equipamento, padrões de referência, periodicidade das intervenções e cronograma de execução das atividades. Além disso, o documento permite registrar as

Plano de Manutenção do Molde 1 - Lingotamento Contínuo				1	2	~
Planejado Realizado Inspeção Retorno Troca Falha	Periodicidades (corridas)	Data da Montagem		09/10/96		
		Local da Montagem		LC 1		
		Data da Troca		15/10/96		
		Nº de Corridas		518		
Longitudinal (Face longa)	Placa de Cu anterior	500	M-017-26-97	△		
		500	M-051-12-97	△		
	Placa de Cu posterior	1500	M-032-04-97	□		
		1500	M-029-18-97	□		
	Caixa d'água anterior	...	...	...		
		...	...	...		
	Caixa d'água posterior	...	...	...		
		...	...	...		
	Tirantes de fixação 1	...	...	...		
		...	...	...		
	Tirantes de fixação 2	...	...	...		
		...	...	...		
	Tirantes de fixação 3	...	...	...		
		...	...	...		
	Tirantes de fixação 4	...	...	...		
		...	...	...		
	Cilindro abertura/fecham. 1	...	...	...		
		...	...	...		
	Cilindro abertura/fecham. 2	...	...	...		
		...	...	...		
	Cilindro abertura/fecham. 3	...	...	...		
		...	...	...		
	Cilindro abertura/fecham. 4	...	...	...		
		...	...	...		
Transversal (Face curta)	Placa de Cu lado direito	...	...	...		
		...	...	...		
	Placa de Cu lado esquerdo	...	...	...		
		...	...	...		
	Caixa d'água direita	...	...	...		
		...	...	...		
	Caixa d'água esquerda	...	...	...		
		...	...	...		
	Sistema de acionamento do lado curto do lado direito	...	...	...		
		...	...	...		
	Redução superior	...	...	...		
		...	...	...		
	Redução inferior	...	...	...		
		...	...	...		
	Olhal de conexão superior	...	...	...		
		...	...	...		
	Pino de conexão superior	...	...	...		
		...	...	...		
	Olhal de conexão inferior	...	...	...		
		...	...	...		
Sistema Hidráulico	Tubo HP-1	...	...	...		
		...	...	...		
	Tubo HP-6	...	...	...		
		...	...	...		
	Mangueira HH-1	...	...	...		
		...	...	...		
	Mangueira HH-6	...	...	...		
		...	...	...		
Sistema de Lubrificação	...	...	...	...		
		...	...	...		
Sistema de Água de Refrigeração	...	...	...	...		
		...	...	...		

Figura 5: Exemplo de Plano de Manutenção.

Fonte: Adaptado de Xenos, 1998

Segundo Xenos (1998), além da definição das atividades e de suas respectivas periodicidades, um plano de manutenção deve apresentar instruções detalhadas sobre a forma de execução de cada tarefa, os critérios técnicos utilizados para avaliação das condições dos componentes, os parâmetros de inspeção e os recursos necessários para sua realização. Nesse sentido, o autor destaca que o plano deve contemplar informações relacionadas à estimativa de mão de obra, materiais, peças sobressalentes, ferramental específico e procedimentos de segurança, permitindo que as intervenções sejam executadas de maneira padronizada e com maior eficiência (XENOS, 1998).

Outro aspecto importante destacado por Xenos (1998) refere-se à necessidade de estabelecer critérios técnicos para a tomada de decisão durante as inspeções. Para isso, o plano de manutenção deve conter padrões de referência e limites de aceitação capazes de indicar se determinado componente permanece em condições normais de operação ou se necessita de intervenção (XENOS, 1998).

Ainda de acordo com Xenos (1998), a elaboração do plano de manutenção deve ser fundamentada tanto nas recomendações fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos quanto na experiência acumulada pelas equipes de manutenção ao longo da operação. Dessa forma, o plano deixa de representar apenas um cronograma de atividades e passa a incorporar o conhecimento técnico adquirido pela organização, tornando-se uma ferramenta cada vez mais aderente às condições reais de funcionamento dos equipamentos (XENOS, 1998).

Por fim, Xenos (1998) ressalta que o plano de manutenção não deve ser considerado um documento estático, mas sim um instrumento de gestão sujeito a constantes revisões e atualizações. A análise dos resultados obtidos após cada intervenção permite ajustar periodicidades, revisar procedimentos e aperfeiçoar continuamente as estratégias de manutenção, promovendo um ciclo permanente de melhoria contínua (XENOS, 1998).

2.4 Plano de Manutenção Preventiva

Segundo Viana (2020), a elaboração de um plano de manutenção preventiva está diretamente relacionada às estratégias de manutenção adotadas pela organização e ao nível de criticidade dos ativos físicos. De acordo com o autor, a necessidade de elaboração desses planos surge durante o processo de identificação da demanda de manutenção, podendo também ser decorrente da aplicação de metodologias como a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), (VIANA, 2020). Nesse contexto, o plano de manutenção preventiva constitui um instrumento capaz de organizar e sistematizar as intervenções necessárias para preservar o desempenho dos equipamentos e reduzir a probabilidade de ocorrência de falhas (XENOS, 1998).

Sob essa mesma perspectiva, Xenos (1998) ressalta que a elaboração do plano de manutenção deve estar fundamentada em informações técnicas confiáveis, provenientes tanto das recomendações dos fabricantes quanto da experiência acumulada pelas equipes de manutenção. Segundo o autor, os manuais e especificações técnicas constituem a principal referência para equipamentos novos, enquanto o histórico operacional e o conhecimento adquirido durante as intervenções tornam-se fundamentais para o aperfeiçoamento contínuo dos planos em equipamentos já em operação (XENOS, 1998).

Antes da elaboração do plano propriamente dito, Pereira *apoud* Viana (2020), destaca a importância da realização de um levantamento completo dos ativos sujeitos à manutenção. Segundo os autores, esse cadastro deve contemplar informações referentes ao sistema produtivo, inventário dos equipamentos, subconjuntos, componentes, codificação de peças

sobressalentes, identificação dos ativos por meio de tag's, fornecedores, definição entre serviços próprios ou terceirizados e toda a documentação técnica disponível, como manuais, desenhos, planos de manutenção e registros de inspeção (VIANA, 2006).

De acordo com Viana (2020), o plano de Manutenção Preventiva Sistemática (MPS) caracteriza-se pela execução de intervenções em intervalos previamente definidos ou de acordo com critérios estabelecidos, tendo como finalidade reduzir a probabilidade de falha ou a degradação funcional dos equipamentos. O autor afirma que "o plano de Manutenção Preventiva Sistemática (MPS) é efetuado em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item" (VIANA, 2020, p. 126). Além disso, esses planos são responsáveis pela geração automática das Ordens de Serviço, que reproduzem todas as informações cadastradas e orientam a execução das atividades de manutenção em campo.

Nesse sentido, a Figura 6 apresenta a sequência básica proposta por Viana (2020) para elaboração de um plano de Manutenção Preventiva Sistemática, evidenciando as principais etapas necessárias para sua construção e posterior integração à rotina das equipes de manutenção.



Figura 6: Sequência de passos para elaboração de um plano de Manutenção Preventiva Sistemática (MPS).

Fonte: Adaptado de Viana, 2020

Conforme ilustrado na Figura 6, a elaboração do plano inicia-se pela definição das tarefas que deverão compor a Ordem de Serviço, correspondendo à identificação das atividades de manutenção que serão executadas em cada intervenção. Segundo Xenos (1998), essas tarefas devem ser descritas de forma detalhada, especificando claramente quais componentes deverão ser inspecionados, reformados ou substituídos, bem como a metodologia a ser utilizada durante sua execução.

Em seguida, realiza-se a estimativa do tempo necessário para execução dessas tarefas, utilizando como referência o conceito de Humano-Hora (HH). Conforme explica Viana (2020), essa estimativa não representa o tempo cronológico da atividade, mas sim o tempo acumulado de dedicação das especialidades envolvidas na intervenção, constituindo uma informação indispensável para o planejamento da capacidade operacional das equipes e para o acompanhamento de indicadores gerenciais.

Na sequência, devem ser definidos todos os recursos necessários para execução das atividades previstas no plano. Viana (2020) destaca a elaboração da lista de materiais, peças sobressalentes e ferramentas especiais necessárias para cada intervenção. Complementando essa abordagem, Xenos (1998) ressalta que essas informações constituem a base para o dimensionamento dos recursos do departamento de manutenção, permitindo estimar previamente a necessidade de mão de obra, materiais, componentes de reposição e custos associados às intervenções programadas. Segundo o autor, o plano de manutenção também representa o ponto de partida para elaboração do orçamento anual da manutenção, favorecendo o planejamento financeiro e a gestão dos estoques (XENOS, 1998).

Outro aspecto importante destacado por Xenos (1998) refere-se aos padrões de manutenção incorporados ao plano. Segundo o autor, além da descrição das atividades, o documento deve conter critérios técnicos de avaliação, parâmetros de inspeção e limites de aceitação que permitam ao mantenedor identificar se determinado componente apresenta condições normais de funcionamento ou necessita de intervenção (XENOS, 1998). Da mesma forma, Viana (2020) destaca que o plano deve contemplar os padrões técnicos especiais relacionados à segurança e aos procedimentos específicos para execução das atividades, garantindo que as intervenções ocorram de maneira padronizada e segura.

Posteriormente, estabelece-se a periodicidade de execução das atividades previstas no plano e realiza-se sua vinculação aos respectivos tag's dos equipamentos. Conforme Viana (2020), essa periodicidade pode ser definida em função do calendário ou da utilização do ativo, permitindo que as Ordens de Serviço sejam geradas automaticamente pelo sistema de

gerenciamento da manutenção. Segundo Xenos (1998), entretanto, essas periodicidades não devem ser consideradas definitivas, sendo recomendável sua revisão contínua com base nos resultados obtidos durante as intervenções e na experiência acumulada pela equipe de manutenção, promovendo o aperfeiçoamento permanente dos planos preventivos.

2.5 Segurança na Manutenção

A segurança nas atividades de manutenção constitui um aspecto essencial para a preservação da integridade física dos trabalhadores e para a continuidade operacional dos equipamentos industriais. A manutenção, por envolver ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou restabelecer a função de um item, deve ser planejada de modo a considerar não apenas o desempenho do equipamento, mas também as condições seguras para a execução das intervenções (XENOS, 1998; BRASIL, 2024).

Em ambientes industriais, as intervenções de manutenção podem expor os trabalhadores a riscos mecânicos, elétricos, térmicos e operacionais, especialmente quando realizadas em máquinas com partes móveis, sistemas energizados, pontos de esmagamento, superfícies aquecidas e componentes sujeitos à pressão ou atrito. Nesse sentido, as Normas Regulamentadoras relativas à segurança e saúde no trabalho estabelecem requisitos obrigatórios para a prevenção de acidentes e doenças ocupacionais, devendo ser observadas pelas empresas que possuem empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho (BRASIL, 2025).

No caso de máquinas e equipamentos, a NR-12 estabelece requisitos voltados à prevenção de acidentes durante as fases de projeto, utilização, manutenção e desativação. A norma define referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção que devem ser consideradas para reduzir os riscos associados ao uso e à intervenção em máquinas e equipamentos industriais (BRASIL, 2024). Dessa forma, as atividades de manutenção devem prever proteções físicas, dispositivos de emergência, procedimentos de bloqueio, sinalização e medidas que impeçam o acesso do trabalhador às zonas de perigo durante a execução das tarefas (BRASIL, 2024).

Além dos riscos mecânicos, as atividades de manutenção também podem envolver riscos elétricos, principalmente em inspeções de motores, painéis, cabos, sensores, contatos e conexões. Conforme a NR-10, os serviços em instalações elétricas devem contemplar “medidas de controle e sistemas preventivos”, com a finalidade de garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que interagem direta ou indiretamente com eletricidade (BRASIL, 2019). Assim, as intervenções elétricas devem ser realizadas por profissionais capacitados, mediante

procedimentos seguros, desenergização quando aplicável, bloqueio, sinalização e verificação das condições de ausência de tensão antes do início da atividade (BRASIL, 2019).

Outro aspecto fundamental nas atividades de manutenção refere-se ao uso de Equipamentos de Proteção Individual. De acordo com a NR-6, considera-se EPI “todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador”, destinado à proteção contra riscos capazes de ameaçar sua segurança e saúde no trabalho (BRASIL, 2025).

Nesse sentido, a definição dos EPIs necessários deve estar diretamente relacionada aos riscos presentes em cada atividade, podendo incluir óculos de segurança, luvas adequadas, calçado de segurança, protetor auricular, capacete, vestimentas apropriadas e demais itens exigidos conforme a natureza da intervenção (BRASIL, 2025).

Aplicando esses requisitos ao misturador de cilindros abertos, observa-se que as atividades preventivas devem considerar os riscos associados às partes móveis, aos cilindros, aos sistemas elétrico, térmico e de lubrificação, bem como aos dispositivos de segurança do equipamento. Por isso, as inspeções de emergência, proteções, cabos, contatos, mancais, engrenagens, acoplamentos, união rotativa e sistema térmico devem ser planejadas com procedimentos seguros, uso adequado de EPIs e controle das condições operacionais antes da liberação da máquina para funcionamento (COPÉ, 2013; BRASIL, 2024).

Nesse sentido, a segurança deve estar integrada ao plano de manutenção preventiva, pois cada atividade proposta deve considerar não apenas o componente a ser inspecionado ou corrigido, mas também os riscos envolvidos em sua execução. A inclusão de EPIs necessários, equipamentos de apoio, responsáveis, periodicidades e instruções de execução contribui para a padronização das tarefas, para a rastreabilidade das intervenções e para a redução de falhas humanas durante a manutenção (VIANA, 2020; BRASIL, 2025).

Dessa forma, a manutenção preventiva exerce função técnica e preventiva no contexto industrial, pois contribui para preservar a condição funcional do equipamento e, simultaneamente, reduzir a exposição dos trabalhadores aos riscos ocupacionais (XENOS, 1998). No caso do misturador de cilindros abertos, a associação entre planejamento da manutenção, recomendações do fabricante e requisitos de segurança permite estruturar atividades mais controladas, seguras e compatíveis com as exigências legais aplicáveis às máquinas e equipamentos industriais (COPÉ, 2013; BRASIL, 2024).

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

A metodologia constitui a etapa da pesquisa responsável por definir os procedimentos científicos utilizados para alcançar os objetivos propostos.

Quanto à abordagem, a presente pesquisa caracteriza-se como qualitativa. Segundo Gil (2019), as pesquisas podem ser classificadas em quantitativas, qualitativas ou de métodos mistos, sendo essa classificação definida, principalmente, pela natureza dos dados utilizados durante a investigação. Nesse contexto, a abordagem qualitativa mostra-se adequada ao presente estudo por possibilitar a análise e interpretação das informações obtidas ao longo da pesquisa, permitindo compreender o comportamento do equipamento, identificar oportunidades de melhoria e propor soluções fundamentadas na realidade observada.

Dessa forma, Marconi *et al.* (2021) destacam que a pesquisa qualitativa envolve a definição dos objetivos, a coleta das informações, a realização de estudos de campo e a análise contínua dos dados obtidos. Os autores ressaltam ainda que esse processo não ocorre de forma linear, uma vez que, durante a investigação, o pesquisador pode retornar às etapas anteriores para reavaliar informações, levantar novas hipóteses e aprofundar a compreensão do problema estudado (MARCONI, 2021).

Quanto aos objetivos, esta pesquisa classifica-se como exploratória. De acordo com Gil (2019), esse tipo de pesquisa tem como finalidade proporcionar maior familiaridade com o problema investigado, ampliando o conhecimento sobre determinado fenômeno e fornecendo subsídios para sua compreensão. Além disso, o autor destaca que pesquisas exploratórias normalmente utilizam levantamento bibliográfico, estudos de caso e pesquisas de campo como principais estratégias metodológicas, características que estão presentes no desenvolvimento deste trabalho (GIL, 2019).

Em relação aos procedimentos técnicos, esta pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, documental e estudo de caso. A pesquisa bibliográfica fundamenta-se na consulta e análise de livros, artigos científicos, normas técnicas e demais publicações relacionadas à Engenharia de Manutenção, fornecendo o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento da pesquisa.

Além disso, foi empregada a pesquisa documental, uma vez que parte significativa das informações analisadas foi obtida por meio de documentos da empresa, tais como históricos de

manutenção, ordens de serviço, registros de intervenções, manuais técnicos, desenhos, relatórios e demais documentos relacionados ao equipamento estudado. Segundo Gil (2019), a pesquisa documental utiliza materiais que ainda não receberam tratamento analítico ou que podem ser reorganizados de acordo com os objetivos da investigação, permitindo extrair informações relevantes para a compreensão do problema pesquisado.

Paralelamente, a pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, por investigar de um equipamento específico inserido em seu contexto real de operação. Segundo Marconi *et al.* (2021, p. 306), o estudo de caso refere-se ao "levantamento com mais profundidade de determinado caso ou grupo humano sob todos os seus aspectos", característica que justifica sua aplicação neste trabalho, uma vez que a pesquisa foi desenvolvida em um misturador aberto de cilindros pertencente a uma empresa fabricante de equipamentos para mineração.

3.2 Materiais e Métodos

Com o objetivo de elaborar uma proposta de plano de manutenção preventiva para o misturador aberto de cilindros, foi adotada uma sequência metodológica fundamentada na análise do processo produtivo, no levantamento de informações técnicas do equipamento e na avaliação do histórico de manutenção disponibilizado pela empresa.

Conforme ilustrado na Figura 7, o desenvolvimento da pesquisa foi dividido em nove etapas sequenciais. Cada uma dessas etapas forneceu informações necessárias para a execução da etapa subsequente, permitindo uma construção gradual e sistemática do plano de manutenção.



Figura 7: Fluxograma das etapas metodológicas adotadas na pesquisa.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Inicialmente, realizou-se a análise dos processos e das atividades desenvolvidas pela empresa conforme observado pela Figura 7, buscando compreender o fluxo produtivo, a interação entre os setores e a importância dos equipamentos envolvidos na fabricação dos produtos. Essa etapa possibilitou identificar a posição ocupada pelo misturador aberto de cilindros dentro da cadeia produtiva, bem como sua influência sobre a continuidade das operações industriais.

Na segunda etapa, foi realizado o levantamento e a análise das ordens de manutenção registradas no período compreendido entre 2024 e 2025. Os dados obtidos permitiram identificar a frequência das intervenções, os principais componentes afetados, os modos de falha mais recorrentes e os tempos de parada associados às manutenções corretivas e preventivas.

Posteriormente, procedeu-se ao tratamento da base de dados, envolvendo a organização, padronização e consolidação das informações obtidas nas ordens de manutenção. Essa etapa teve como finalidade eliminar inconsistências, padronizar nomenclaturas e estruturar uma base de dados capaz de subsidiar as análises estatísticas e técnicas realizadas ao longo da pesquisa.

A partir da base de dados consolidada, foi realizada a identificação do equipamento de maior criticidade dentro da cadeia produtiva, considerando sua influência sobre o processo de fabricação e o histórico de falhas registrado durante o período analisado. Definido o

equipamento objeto deste estudo, procedeu-se à consulta do manual técnico do fabricante, com o objetivo de obter informações referentes às características construtivas, procedimentos operacionais, recomendações de manutenção e especificações técnicas do equipamento.

Na sequência, foi elaborada uma base técnica contendo as informações necessárias para o desenvolvimento do plano de manutenção preventiva. Em seguida, realizou-se a identificação dos principais componentes do equipamento e das causas associadas às intervenções registradas no histórico de manutenção, permitindo compreender os modos de falha predominantes e os sistemas que apresentam maior criticidade operacional.

Por fim, com base nas informações levantadas durante todas as etapas anteriores, foi elaborada a proposta do plano de manutenção preventiva para o misturador aberto de cilindros. A construção do plano considerou o histórico de falhas do equipamento, as recomendações do fabricante e os fundamentos apresentados pela literatura especializada, buscando estabelecer atividades preventivas, periodicidades de execução e procedimentos capazes de contribuir para o aumento da confiabilidade, disponibilidade e desempenho operacional do equipamento estudado.

3.3 Variáveis e Indicadores

De acordo com Marconi et al. (2021), as variáveis constituem elementos fundamentais para o desenvolvimento de uma pesquisa científica, uma vez que representam características, atributos ou fatores passíveis de identificação e mensuração no objeto de estudo. Segundo os autores, uma variável corresponde a um conceito que pode assumir diferentes valores ou classificações, permitindo descrever, analisar e interpretar determinado fenômeno (MARCONI, 2021).

Nesse mesmo sentido, Gil (2019) afirma que as variáveis representam um importante instrumento metodológico, pois tornam possível a identificação, a observação e a mensuração dos fenômenos investigados. Dessa forma, sua definição deve estar diretamente relacionada aos objetivos da pesquisa, permitindo que os dados coletados sejam analisados de maneira sistemática e contribuam para a compreensão do problema estudado.

Nesse contexto, a utilização de indicadores torna-se indispensável para operacionalizar as variáveis definidas na pesquisa. Segundo Santos (2004), independentemente da definição adotada, os indicadores devem possibilitar a representação de determinado fenômeno de maneira simplificada, objetiva e comparável, fornecendo informações que auxiliem na

avaliação e na tomada de decisões. Assim, os indicadores constituem parâmetros capazes de traduzir informações complexas em elementos mensuráveis, facilitando a análise dos resultados obtidos.

Considerando esses pressupostos, a presente pesquisa definiu como variável de estudo o Plano de Manutenção Preventiva, sendo estabelecidos indicadores capazes de subsidiar sua elaboração a partir da análise do equipamento, do histórico de manutenção e das recomendações técnicas do fabricante, conforme apresentado a Tabela 1:

Tabela 1 – Variável e indicadores do plano de manutenção preventiva.

Elaboração Plano de Manutenção Preventiva de um Equipamento	
Variável	Indicadores
Plano de Manutenção Preventiva	Equipamento
	Ocorrência de falhas
	Número de ocorrências por sistema
	Tempo de indisponibilidade do equipamento
	Recomendação do fabricante
	MTBF: Tempo entre falhas
	MTTR: Tempo médio de reparo
	Atividades planejadas

Fonte: Pesquisa Direta (2026).

3.4 Instrumento de Coleta de Dados

Os dados necessários ao desenvolvimento da pesquisa serão obtidos por meio de levantamento bibliográfico e documental, abrangendo pesquisas bibliográficas, planilha de históricos de manutenção, manuais do fabricante e demais documentos técnicos relacionados ao equipamento objeto deste estudo.

3.5 Tabulação dos Dados

Os dados obtidos serão tabulados e analisados com o auxílio do Microsoft Excel, possibilitando a organização das informações e a elaboração de tabelas, gráficos e indicadores. A sistematização e apresentação dos resultados foram realizadas no Microsoft Word.

3.6 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram apresentadas as ferramentas utilizadas para a concretização desta pesquisa, cujos instrumentos escolhidos estão de acordo com o objeto proposto na mesma.

No capítulo seguinte é apresentada a proposta de elaboração do plano de manutenção para o misturador aberto de cilindros, apresentando também a empresa estudada e sua atuação no mercado de uma forma geral, bem como o modelo de manutenção utilizado pela mesma.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Características da Empresa

A empresa analisada atua oferecendo soluções técnicas para a proteção contra o desgaste de ativos fixos e maquinários industriais, especialmente para os setores de mineração, siderurgia, portos e bens de capital.

Nesse contexto, a empresa atua na fabricação e fornecimento de diversos equipamentos e componentes destinados ao setor de mineração, destacando-se revestimentos de borracha e cerâmica, tubos e conexões, bombas, equipamentos industriais, estruturas de caldeiraria, sensores e válvulas. Dessa forma, o processo produtivo tem início nos setores de caldeiraria e usinagem, considerados os setores-base para a fabricação dos produtos. A partir dessas etapas iniciais, os componentes seguem para os processos subsequentes de revestimento, acabamento e expedição, conforme ilustrado na Figura 8:

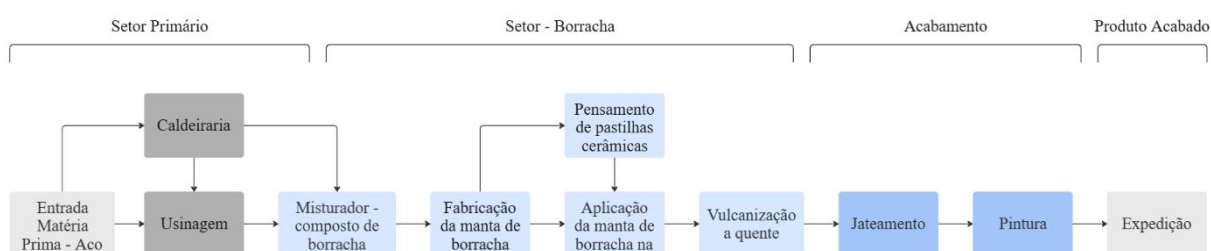


Figura 8: Cadeia Produtiva.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Como ilustrado na Figura 8, a cadeia produtiva do processo inicia com a entrada de matéria prima. Nessa etapa inicial, o material segue para os processos de caldeiraria e usinagem, os quais são responsáveis pela preparação estrutural das peças. A caldeiraria é realizada quando há necessidade de soldas, cortes ou conformações metálicas, enquanto a usinagem tem como objetivo retirar sobremetal, executar roscas e garantir que os componentes atinjam suas dimensões finais de projeto.

Após essa etapa, o processo segue para o setor de borracha, onde ocorre a fabricação dos revestimentos internos do equipamento, como observado na figura. Inicialmente, os compostos utilizados são preparados no misturador, responsável pela homogeneização das matérias-primas e pela formulação do composto de borracha de acordo com o tipo de aplicação desejada, e após isso, são fabricadas as mantas de borracha por meio da laminação. Na laminação da borracha, a espessura é reduzida para a formação das placas. Após a laminação,

a manta passa por um processo de resfriamento em tanque com água e gelo, evitando o início prematuro da vulcanização do material.

Na sequência, ocorre o processo de aplicação da manta de borracha na carcaça metálica, conforme descrito na figura acima. Antes da aplicação, a superfície do equipamento é preparada através de jateamento abrasivo, garantindo melhores condições de aderência entre a estrutura metálica e o revestimento. Posteriormente, é realizada a aplicação de adesivos específicos e, em seguida, a manta de borracha é posicionada sobre a superfície do equipamento. Paralelamente, também ocorre o processo de pensamento das pastilhas cerâmicas, utilizado para preparação e fixação dos componentes cerâmicos empregados no revestimento.

Após a aplicação dos revestimentos, o equipamento segue para a etapa de vulcanização a quente, realizada em autoclave. Nesse processo, a combinação entre temperatura e pressão promove a vulcanização da borracha, transformando o material cru em um revestimento com maior resistência mecânica, dureza e resistência à abrasão e tração.

Posteriormente, inicia-se o setor de acabamento, composto pelas etapas de jateamento e pintura. O jateamento é realizado com microesferas de aço, tendo como finalidade o nivelamento e a uniformização da superfície externa do equipamento. Em seguida, ocorre o processo de pintura e acabamento final, proporcionando proteção superficial e melhoria estética ao produto.

Por fim, de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 8, após a conclusão de todas as etapas produtivas, o equipamento segue para o setor de expedição, onde são realizados os processos administrativos relacionados à emissão de nota fiscal e faturamento da peça, assim segue para a coleta pela transportadora, concluindo assim o fluxo produtivo.

Dessa forma, a empresa pode ser organizada de acordo com o seguinte organograma, conforme ilustrado na Figura 9:

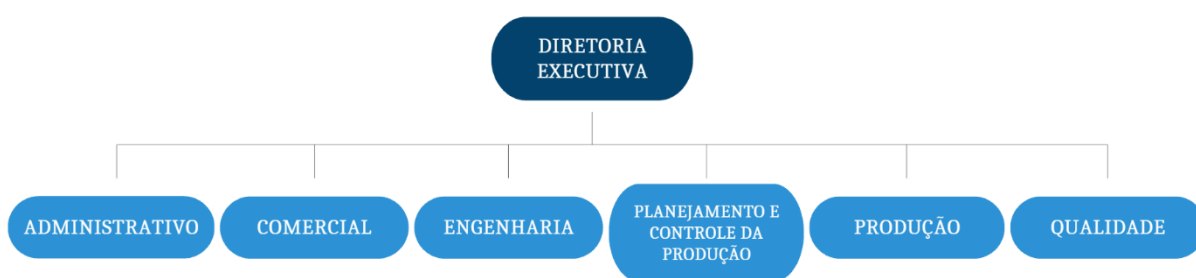


Figura 9: Organograma.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Conforme apresentado na Figura 9, a estrutura organizacional da empresa é composta por diferentes departamentos que atuam de forma integrada para garantir o funcionamento das atividades administrativas, produtivas e estratégicas da organização. No topo dessa estrutura encontra-se a Diretoria Executiva, responsável pela definição das diretrizes organizacionais, tomada de decisões estratégicas e acompanhamento do desempenho geral da empresa. Dessa forma, a diretoria atua diretamente no alinhamento entre os objetivos corporativos e as atividades desenvolvidas pelos demais setores.

Ainda de acordo com a Figura 9, o setor Administrativo é responsável pelas atividades de suporte à organização, envolvendo rotinas financeiras, controle documental, gestão de recursos humanos e apoio operacional aos demais departamentos. Paralelamente, o setor Comercial atua no relacionamento com clientes, elaboração de propostas, negociações e acompanhamento de pedidos, contribuindo diretamente para o desenvolvimento das atividades comerciais e para a manutenção da carteira de clientes da empresa.

Conforme ilustrado na Figura 9, o departamento de Engenharia possui papel fundamental no desenvolvimento técnico dos projetos, sendo responsável pela elaboração de desenhos, especificações e definição dos processos de fabricação. Em conjunto com essa área, o setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP) realiza o gerenciamento das ordens de produção, controle de prazos, planejamento de materiais e acompanhamento do fluxo produtivo, buscando garantir maior organização e eficiência das operações industriais.

Além disso, observa-se na Figura 9 que o setor de Produção concentra as atividades operacionais relacionadas à fabricação dos equipamentos e revestimentos, seguindo os procedimentos definidos pela engenharia e pelo planejamento produtivo. Por fim, o setor de Qualidade atua no acompanhamento e inspeção dos processos e produtos, assegurando que os materiais fabricados atendam aos padrões técnicos, requisitos normativos e critérios de desempenho estabelecidos pela empresa.

Na contextualização do fluxo produtivo, o misturador de borracha possui um papel fundamental na cadeia produtiva da empresa analisada. A borracha atua como insumo fundamental para produção de diversos produtos, conforme ilustrado pela Figura 10:

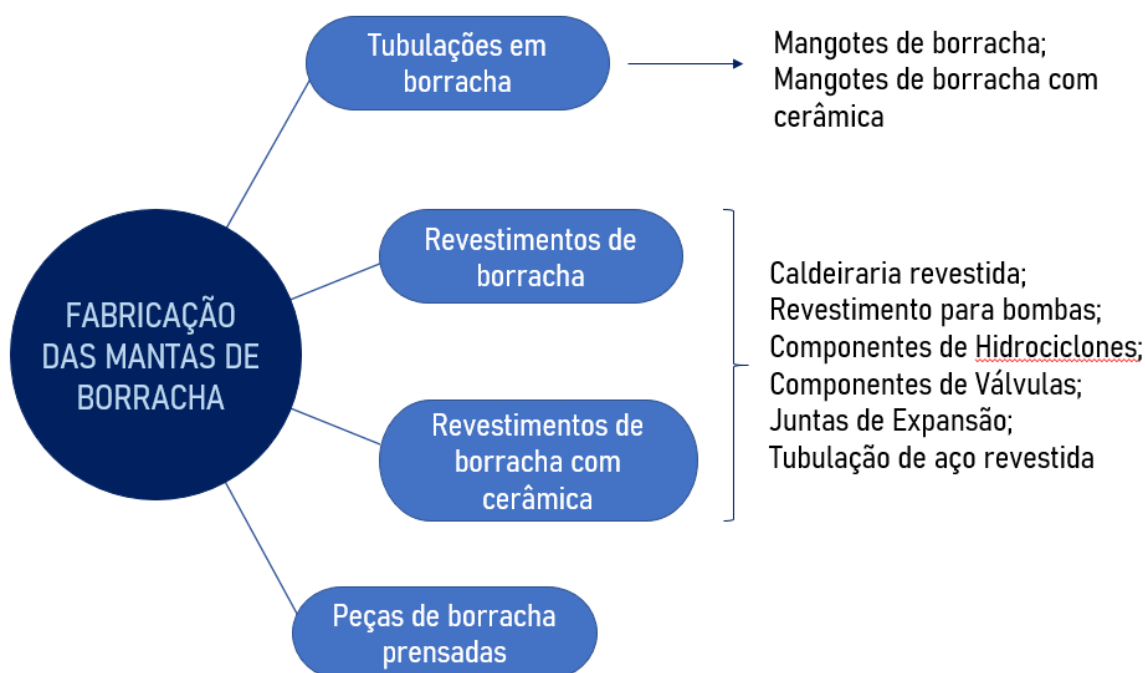


Figura 10: Produtos Finais Produzidos de Borracha.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Conforme apresentado na Figura 10, as mantas de borracha produzidas a partir do composto processado no misturador, constituem a matéria-prima para a fabricação de diversos produtos. Entre as principais aplicações estão as tubulações em borracha, empregadas na fabricação de mangotes convencionais e mangotes revestidos com cerâmica, destinados ao transporte de polpas minerais e outros materiais abrasivos. Esses componentes desempenham papel fundamental nos sistemas de bombeamento e transporte, sendo constantemente submetidos a condições severas de operação, como abrasão, impacto e desgaste provocados pelo escoamento de partículas sólidas.

Além das tubulações, as mantas de borracha são utilizadas na fabricação de revestimentos de borracha e revestimentos de borracha com cerâmica, aplicados em equipamentos e estruturas sujeitos a elevado desgaste operacional. Conforme ilustrado na Figura 6, esses revestimentos são empregados em componentes de bombas, hidrociclones, válvulas, juntas de expansão e tubulações revestidas, contribuindo para o aumento da vida útil dos equipamentos e para a redução dos custos associados à manutenção e substituição de componentes. No caso dos revestimentos borracha-cerâmica, a combinação entre a flexibilidade da borracha e a elevada dureza da cerâmica proporciona maior resistência aos mecanismos de desgaste presentes nos processos de beneficiamento mineral.

A borracha processada também é utilizada na fabricação de peças prensadas, produzidas por meio de processos de moldagem e vulcanização. Essas peças podem ser aplicadas em diferentes sistemas industriais, desempenhando funções relacionadas à vedação, absorção de impactos e proteção contra desgaste. Dessa forma, observa-se que um mesmo composto de borracha pode dar origem a uma ampla variedade de produtos, evidenciando a versatilidade desse material e sua importância para o portfólio produtivo da empresa analisada.

Nesse sentido, diante da diversidade de aplicações apresentadas na Figura 6, torna-se evidente a importância da etapa de mistura realizada no misturador. A qualidade do composto obtido influencia diretamente propriedades como resistência mecânica, elasticidade, resistência à abrasão e durabilidade dos produtos finais. Consequentemente, falhas ou interrupções nesse equipamento podem impactar simultaneamente diferentes linhas de produção, comprometendo o fornecimento de componentes essenciais para a indústria da mineração.

Nesse contexto, a elevada dependência da cadeia produtiva em relação ao misturador reforça sua criticidade operacional e justifica a necessidade de um plano de manutenção preventiva capaz de assegurar sua confiabilidade e disponibilidade ao longo do tempo.

4.2 Descrição do Equipamento

O equipamento estudado é o Misturador Aberto de Cilindros, produzido pelo fabricante COPÉ, composto pelos seguintes componentes conforme a Figura 11 e 12:



Figura 11: Misturador Aberto de Cilindros.

Fonte: Pesquisa direta (2026)

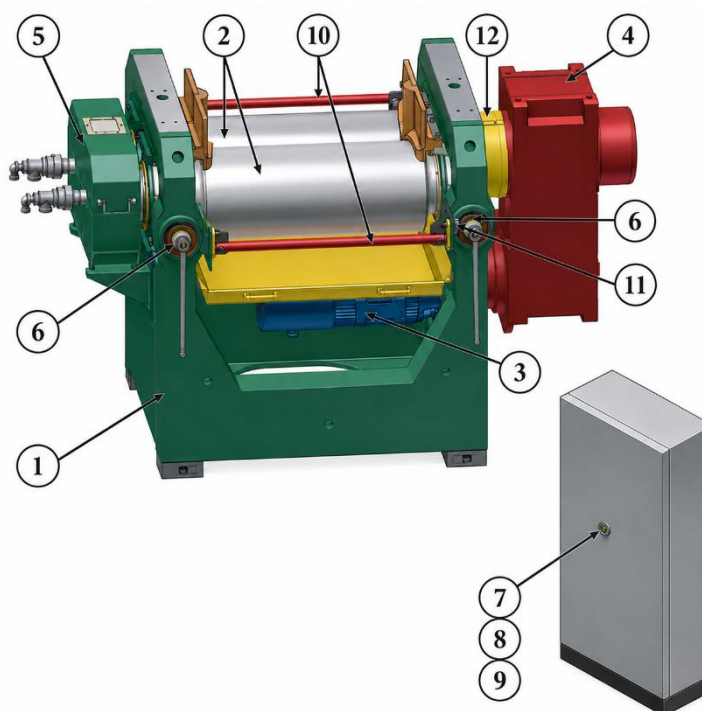


Figura 12: Componentes Misturador Aberto de Cilindros.
Fonte: COPÉ & CIA. LTDA. (2013)

Os principais componentes do misturador de borracha contidos na Figura 11, encontram-se identificados na Figura 12, permitindo a visualização dos sistemas responsáveis pelo acionamento, processamento da mistura, controle operacional e segurança do equipamento:

1. Estrutura (Corpo)
2. Cilindros
3. Motor elétrico
4. Redutor de velocidade
5. Sistema de aquecimento/refrigeração (união rotativa)
6. Sistema de regulação de abertura
7. Painel elétrico
8. Botão de acionamento
9. Botão de parada de emergência

10. Barras de segurança

11. Mancais dos cilindros

12. Acoplamento

Conforme ilustrado na Figura 12, a estrutura ou corpo do equipamento (1) constitui a base de sustentação de todos os conjuntos mecânicos, sendo responsável por absorver os esforços gerados durante a operação e manter o alinhamento dos componentes. Instalados na região central da máquina, os cilindros (2) representam os principais elementos de processamento, uma vez que são responsáveis por promover a mistura, homogeneização e conformação da massa de borracha. Durante a operação, esses componentes giram em sentidos opostos, submetendo o material a esforços de compressão e cisalhamento que favorecem a dispersão dos ingredientes presentes na formulação.

Para que esse movimento ocorra de forma eficiente, o equipamento dispõe de um sistema de acionamento composto pelo motor elétrico (3), responsável pelo fornecimento de potência ao processo, pelo redutor de velocidade (4), que adequa os níveis de rotação e torque às necessidades operacionais, e pelo acoplamento (12), encarregado de transmitir o movimento entre os conjuntos mecânicos. Além disso, os cilindros são apoiados por mancais (11), cuja função é suportar as cargas geradas durante o processamento e permitir a rotação dos rolos com estabilidade e baixo atrito.

Associado ao conjunto mecânico, o sistema de regulação de abertura (6) possibilita o ajuste da distância entre os cilindros, permitindo controlar a espessura da manta produzida e as condições de processamento da mistura. Da mesma forma, o sistema de controle térmico, representado pelas uniões rotativas (5), permite a circulação de fluidos de aquecimento ou resfriamento no interior dos cilindros. Esse recurso é fundamental para manter a temperatura do processo dentro das faixas adequadas de operação, contribuindo diretamente para a qualidade do composto obtido.

Complementando os sistemas de operação, o misturador possui um painel elétrico (7), responsável pelo comando, monitoramento e proteção dos componentes elétricos da máquina. Adicionalmente, o equipamento conta com dispositivos destinados à segurança dos operadores, dentre os quais se destacam as barras de segurança (10), posicionadas ao longo da área de trabalho para possibilitar a interrupção imediata do funcionamento em situações de risco. Também fazem parte desse sistema os comandos de acionamento (8) e parada de emergência (9), que permitem a atuação rápida em condições anormais de operação.

Dessa forma, observa-se que o misturador de borracha é composto por diversos sistemas interdependentes, cuja atuação conjunta é indispensável para garantir a eficiência do processo produtivo. Consequentemente, falhas em componentes como motor, redutor, mancais, cilindros ou sistemas de regulação podem comprometer diretamente a disponibilidade do equipamento, ocasionando interrupções na produção e impactando o fornecimento das mantas de borracha utilizadas nas etapas subsequentes de fabricação. Tal condição reforça a importância da adoção de práticas de manutenção adequadas, especialmente em equipamentos considerados críticos para o processo produtivo.

Nesse contexto, a compreensão dos componentes que integram o misturador de borracha permite entender a complexidade operacional do equipamento. Entretanto, para evidenciar sua importância dentro do processo produtivo, é necessário analisar também as etapas de produção do composto de borracha, conforme ilustrado na Figura 13:

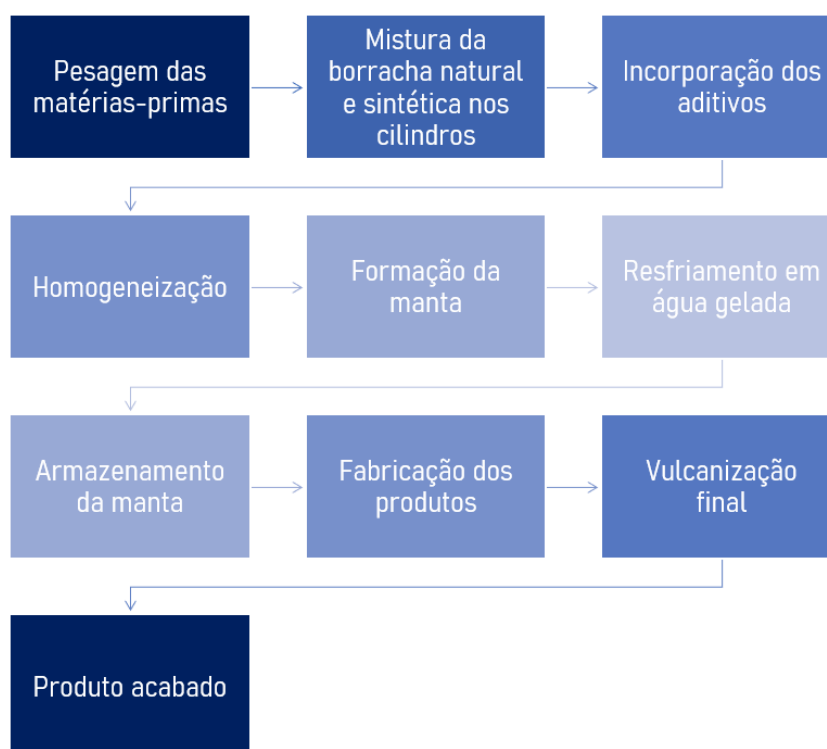


Figura 13: Processo de produção da manta de borracha.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

De acordo com a Figura 13, o processo de produção da manta de borracha tem início com a definição da formulação do composto elastomérico, etapa na qual são selecionadas as matérias-primas e suas respectivas concentrações de acordo com as propriedades mecânicas exigidas para a aplicação final do produto.

Assim, essas formulações podem variar em função do tipo de componente a ser fabricado e das condições de serviço às quais ele será submetido. Entre as principais propriedades consideradas durante o desenvolvimento do composto destacam-se a dureza Shore, a resistência à tração, o alongamento na ruptura, a resistência à abrasão, a resistência ao impacto e a resistência ao rasgamento.

Após a definição da formulação, são realizadas a pesagem e a preparação dos ingredientes que compõem o composto elastomérico, conforme ilustrado na Figura 8. Em seguida, as matérias-primas são encaminhadas ao misturador aberto de cilindros, equipamento responsável pela incorporação e homogeneização dos componentes da formulação.

No misturador, a borracha é inicialmente submetida à ação mecânica dos cilindros em rotação, que promovem sua deformação e plastificação. À medida que o material é processado, os demais ingredientes são adicionados gradualmente, permitindo sua incorporação à massa elastomérica.

Em razão da diferença de velocidade entre os cilindros, conhecida como fricção, são gerados esforços de compressão, tração e cisalhamento que favorecem a dispersão uniforme dos componentes ao longo da mistura. Consequentemente, essa etapa é fundamental para garantir a homogeneidade do composto e, por consequência, o desempenho dos produtos fabricados.

Durante o processamento, a manta de borracha é constantemente manipulada pelo operador por meio de cortes, dobras e reposicionamentos sobre os cilindros, assegurando que toda a massa seja submetida às mesmas condições de mistura. Paralelamente, o sistema de controle térmico do equipamento permite a circulação de fluidos no interior dos cilindros, contribuindo para o controle da temperatura do processo. Esse controle é essencial para evitar alterações indesejadas nas propriedades do composto e garantir condições adequadas de processamento.

Após a completa incorporação dos ingredientes e a obtenção da homogeneidade desejada, o composto é conformado em mantas de borracha, como observado na Figura 8. Na sequência, essas mantas são submetidas a uma etapa de resfriamento em água gelada, cuja finalidade é reduzir rapidamente a temperatura do material, interrompendo as reações iniciadas durante o processamento e evitando a ocorrência de vulcanização prematura. Além de preservar as características do composto, essa etapa facilita seu manuseio, armazenamento e transporte para os setores subsequentes da produção.

Em seguida, de acordo com a Figura 13, as mantas resfriadas são encaminhadas para os processos de fabricação dos diversos produtos comercializados pela empresa, incluindo mangotes, revestimentos de borracha, revestimentos de borracha com cerâmica e peças prensadas. Após a montagem dos produtos, ocorre a vulcanização final, realizada em autoclave, onde o aumento controlado de temperatura e pressão promove a transformação da borracha crua em borracha vulcanizada.

O processo de vulcanização da borracha é realizado na autoclave, que é responsável pelo aumento de temperatura e pressão, transformando a borracha crua em borracha com alta resistência a abrasão e tração, maior dureza. De acordo com Hertz (1984), durante o processo de vulcanização, formam-se ligações cruzadas entre as moléculas do elastômero, criando uma rede tridimensional que aumenta a coesão entre as cadeias poliméricas, conferindo a borracha maior resistência mecânica, elasticidade, estabilidade térmica e durabilidade.

Nesse sentido, essa estrutura aumenta a coesão entre as cadeias poliméricas, tornando a borracha mais forte e menos suscetível a danos. Além disso, a inclusão de enchimentos, como carbonos negros e sílicas, melhora a dureza e a resistência ao desgaste, resultando em uma superfície mais robusta (HERTZ, 1984). O aumento na dureza torna os materiais mais resistentes à abrasão, pois não se desgastam facilmente ao entrar em contato com superfícies ásperas. Além disso, a vulcanização reduz a deformação sob tensão, o que permite que a superfície de contato com o solo ou outras superfícies permaneça mais intacta durante o uso.

Por fim, como observado na Figura 13, é realizado o acabamento final e as peças são encaminhadas para inspeção da qualidade, a fim de conferir as medidas do produto final, bem como as propriedades da borracha após a vulcanização, identificando se a borracha está nas propriedades solicitadas.

4.3 Histórico de Falhas

Com o objetivo de compreender o comportamento das falhas e identificar os sistemas mais críticos do misturador aberto de cilindros, foi analisado o histórico de manutenção do equipamento a partir das ordens de manutenção registradas pela empresa. O banco de dados analisado contempla todas as intervenções executadas no período de 01 de agosto de 2024 a 30 de julho de 2025, abrangendo atividades corretivas relacionadas aos diversos sistemas que compõem o equipamento.

A partir das informações contidas nas ordens de manutenção, foi possível identificar os componentes envolvidos em cada ocorrência, bem como o tempo necessário para execução dos reparos. Posteriormente, os componentes foram agrupados de acordo com o sistema ao qual pertencem, tais como sistema de transmissão de potência, sistema de apoio e regulação, sistema de processamento, sistema elétrico, sistema de controle térmico e sistema de segurança. Essa classificação permitiu consolidar as ocorrências e avaliar a contribuição de cada sistema para a indisponibilidade do equipamento.

A Tabela 2 apresenta a consolidação das falhas registradas no misturador aberto de cilindros durante o período analisado, relacionando cada sistema ao número de ocorrências observadas e ao respectivo tempo total de manutenção:

Tabela 2 - Relação do Número de Falhas e Tempo Total de Parada por Sistema

SISTEMA	Nº DE FALHAS	TEMPO TOTAL DE PARADA
PAINEL ELÉTRICO	11	13h 45min
COMANDO DE ROLOS	4	2h 45min
SISTEMA ELÉTRICO	4	3h 0min
ACIONAMENTO	3	69h 15min
ESTRUTURA	3	10h 10min
LUBRIFICAÇÃO	2	10h 17min
REDUTOR	1	1h
REGULAGEM	1	30min
SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	1	2h 20min
TOTAL =	30	113h

Fonte: Pesquisa Direta (2026)

A Tabela 2 apresenta a consolidação dos dados obtidos durante o período analisado, relacionando cada sistema ao número de falhas registradas e ao tempo total de manutenção acumulado. No total, foram identificadas 30 ocorrências, que resultaram em aproximadamente 113 horas de indisponibilidade do equipamento.

Com base nos dados da Tabela 2, foi possível realizar a distribuição percentual do número total de falhas por sistema, conforme observado na Figura 14:

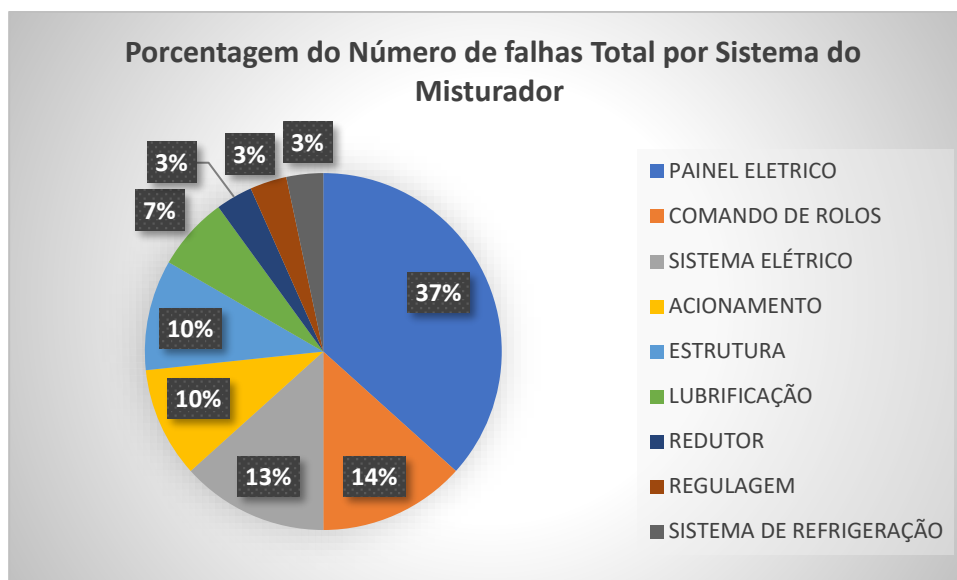


Figura 14: Porcentagem do Número de Falhas Total por Sistema do Misturador.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

A partir dos dados apresentados na Tabela 3 e na Figura 9, observa-se que o painel elétrico foi o sistema que apresentou o maior número de ocorrências, totalizando 11 falhas, o que corresponde a aproximadamente 37% do total registrado. Em seguida, destacam-se os sistemas de comando de rolos e sistema elétrico, com 14% e 13% das ocorrências, respectivamente. Os sistemas de acionamento e estrutura apresentaram participação semelhante, representando cerca de 10% das falhas registradas cada um. Os demais sistemas apresentaram menor frequência de ocorrência ao longo do período analisado.

Embora a frequência de falhas seja um indicador importante para a avaliação da confiabilidade do equipamento, ela não representa isoladamente o impacto causado pelas ocorrências. Dessa forma, torna-se necessário analisar também o tempo de parada associado a cada sistema, uma vez que determinadas falhas, apesar de menos frequentes, podem demandar períodos significativamente maiores para reparo e, conseqüentemente, gerar maiores impactos na disponibilidade operacional do misturador.

Tendo em vista os dados de tempo de parada por sistema, foi elaborado o Gráfico de Pareto relacionando o tempo de parada por sistema e o percentual acumulado, conforme ilustrado pela Figura 15:

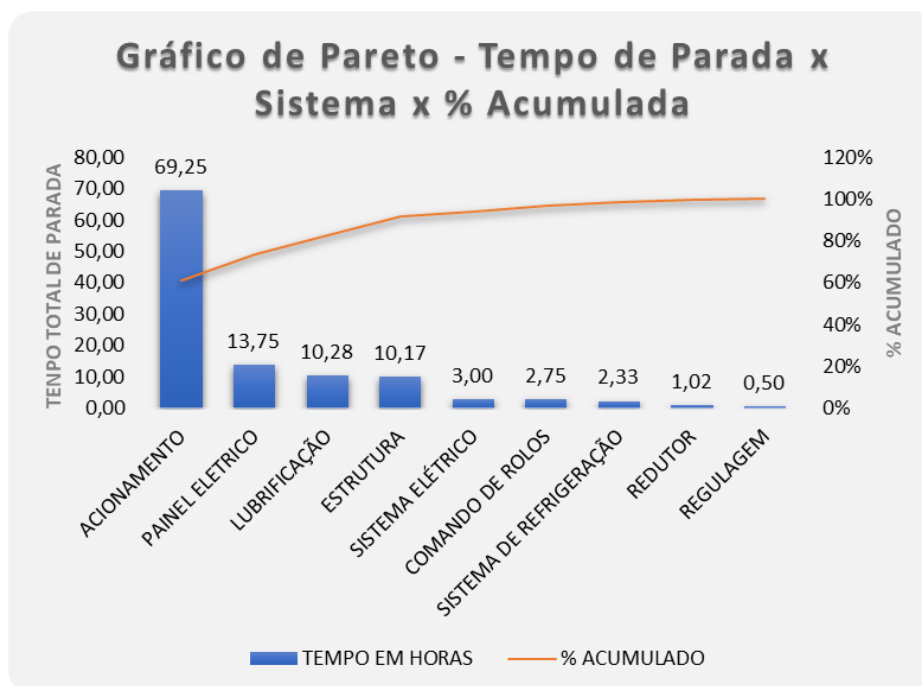


Figura 15: Gráfico de Pareto - Tempo de Parada x Sistema x % Acumulada.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Com base na Figura 15, observa-se que o sistema de acionamento foi responsável pela maior parcela das horas de manutenção registradas, acumulando aproximadamente 69 horas de parada ao longo do período analisado. Apesar de representar apenas três ocorrências, esse sistema concentrou mais de 60% do tempo total de indisponibilidade do equipamento, evidenciando a elevada severidade das falhas associadas aos seus componentes.

Na sequência, destacam-se os sistemas painel elétrico, lubrificação e estrutura, que também contribuíram de forma significativa para o tempo total de manutenção. Em contrapartida, sistemas como regulagem, redutor e sistema de refrigeração apresentaram menor impacto sobre a indisponibilidade do equipamento, tanto em frequência quanto em duração das intervenções.

A análise conjunta da frequência de falhas e do tempo de parada permite identificar comportamentos distintos entre os sistemas avaliados. Enquanto o painel elétrico apresentou o maior número de ocorrências, o sistema de acionamento foi o principal responsável pela indisponibilidade do equipamento. Esse resultado demonstra que a criticidade de um sistema não deve ser avaliada exclusivamente pela quantidade de falhas registradas, mas também pelas consequências operacionais associadas a cada ocorrência.

Portanto, os resultados obtidos indicam que os sistemas de acionamento e painel elétrico devem receber atenção prioritária na elaboração do plano de manutenção preventiva, uma vez

que concentram os maiores impactos sobre a confiabilidade e a disponibilidade operacional do misturador.

Complementando a análise do histórico de falhas, foram calculados os indicadores de manutenibilidade e confiabilidade do equipamento, representados pelo Tempo Médio para Reparo (MTTR) e pelo Tempo Médio Entre Falhas (MTBF). Esses indicadores permitem avaliar não apenas a frequência das falhas, mas também a eficiência das intervenções de manutenção e o comportamento operacional do equipamento ao longo do período analisado.

O MTTR corresponde ao tempo médio necessário para restabelecer as condições operacionais do equipamento após a ocorrência de uma falha. Segundo Kardec e Nascif (2009), esse indicador está diretamente relacionado à manutenibilidade do ativo, sendo utilizado para avaliar a eficiência dos processos de manutenção na execução dos reparos. Para o misturador analisado, o MTTR calculado foi de 3,77 horas, indicando que, em média, cada intervenção demandou aproximadamente 3 horas e 46 minutos para sua conclusão e retorno do equipamento à operação.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de Manutenção}}{\text{Número de Falhas}}$$

Assim, aplicando a equação para o caso:

$$MTTR = \frac{113,05 \text{ horas}}{30} = 3,77 \text{ horas}$$

De forma complementar, o MTBF é um indicador de confiabilidade que representa o intervalo médio de funcionamento do equipamento entre duas falhas consecutivas. De acordo com Kardec e Nascif (2009), quanto maior o valor desse indicador, maior tende a ser a confiabilidade operacional do ativo, uma vez que as interrupções não programadas ocorrem com menor frequência. Para o período analisado, o MTBF obtido foi de 84,3 horas, indicando que o misturador operou, em média, aproximadamente 84 horas entre a ocorrência de uma falha e outra.

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

De forma completar, resultando em:

$$MTBF = \frac{2530 \text{ horas de operação}}{30} = 84,3 \text{ horas}$$

Em conjunto, os indicadores MTTR e MTBF fornecem uma visão abrangente do desempenho do equipamento, permitindo avaliar simultaneamente sua capacidade de operação contínua e a eficiência das atividades de manutenção. Dessa forma, os resultados obtidos servem como importantes parâmetros para a definição das ações preventivas propostas neste trabalho, contribuindo para o aumento da confiabilidade, da disponibilidade operacional e da vida útil do misturador aberto de cilindros.

4.4 Plano de Manutenção Preventiva

4.4.1 Tagueamento dos Equipamentos

Inicialmente, para a elaboração do plano de manutenção preventiva, deve-se adequar a identificação correta dos equipamentos, a fim de padronizar e conferir assertividade no histórico de ordens de manutenção mecânica por meio da identificação adequada.

Essa medida contribui para uma gestão mais eficiente da manutenção, pois facilita a organização e a consulta das informações associadas a cada máquina, conforme afirma Viana (2006). A partir dessa codificação, torna-se possível acompanhar o histórico de intervenções, analisar ocorrências de parada, avaliar a disponibilidade do equipamento e controlar os custos envolvidos (VIANA, 2026).

Atualmente, os equipamentos estão identificados, porém com as informações comprometidas, conforme as Figuras 16, 17 e 18:



Figura 16: Tagueamento Misturador MS 2.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)



Figura 17: Tagueamento Misturador MS 5.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)



Figura 18: Tagueamento Misturador MS 3.
Fonte: Pesquisa Direta (2026).

Conforme observado pelas Figuras 16, 17 e 18, a identificação dos equipamentos encontra-se comprometida, sendo necessário sua substituição integral.

Dessa forma, propõe-se a identificação dos maquinários com adesivamento com material resistente a umidade e altas temperaturas, no modelo proposto pela Figura 19:



Figura 19: Proposta de Tagueamento Misturador MS 2.
Fonte: Pesquisa Direta (2026).

Assim, conforme observado pela Figura 19, as principais informações de identificação estão visíveis e claras para qualquer colaborador.

4.4.2 Plano de Manutenção Preventiva

O plano de manutenção preventiva proposto foi elaborado com base nas recomendações do manual do fabricante e no histórico de falhas analisado no item 4.4.

Nesse sentido, de acordo com as recomendações do fabricante (COPÉ, 2013):

- A cada turno, deve-se acionar a lubrificação antes de ligar a máquina, verificar os níveis de óleo e as pressões de abastecimento (como o sistema pneumático). É essencial testar a parada de emergência, conferir o funcionamento dos instrumentos e garantir que não existam objetos estranhos entre os cilindros;
- Semanalmente, realizar uma limpeza geral, com foco nos mancais, guias de mistura e na zona entre os cilindros;
- Mensalmente: Inspeccionar as engrenagens de comando e os mancais (buscando desalinhamentos ou desgastes), verificar tubulações do sistema térmico e limpar resíduos externos de lubrificantes;
- Semestralmente: Limpar o sistema de aquecimento/refrigeração, inspecionar visual e dimensionalmente os cilindros para possível recuperação e testar as lâmpadas do painel de comando. Também deve-se aferir o nivelamento da máquina a cada seis meses;

- Anualmente: Solicitar uma revisão técnica formal do fabricante para avaliar componentes com maior desgaste que precisem de substituição ou recuperação.

Além disso, o fabricante aborda orientações de acordo com componentes específicos da máquina (COPÉ, 2013):

- Rolamentos: Devem ser mantidos limpos e secos. Caso sejam removidos para inspeção, devem ser lavados com solventes como álcool ou parafina e lubrificados imediatamente após a secagem para evitar corrosão. A condição em serviço deve ser avaliada ouvindo o som do rolamento e monitorando sua temperatura;
- Acoplamentos: Exigem inspeção periódica para correção de desalinhamentos radiais, angulares ou axiais, utilizando preferencialmente um relógio comparador para medições precisas;
- Uniões Rotativas: A manutenção foca na observação do anel grafitado; o escape de vapor pelo visor indica a necessidade de reparo;
- Motores Elétricos: As inspeções incluem verificar níveis de isolamento, elevação de temperatura, fluxo de ar no ventilador e limpeza de poeira ou detritos (usando ar comprimido ou panos secos). Devem-se inspecionar também as conexões de acoplamento e a fixação da base;
- Engrenagens: A manutenção envolve monitorar sinais de deterioração como fadiga superficial (pitting), escoamento plástico ou rupturas;
- Sistema Elétrico: O plano preventivo deve incluir o reaperto constante de parafusos e conexões, além da verificação das condições de cabos e contatos.

O manual do fabricante alerta ainda que, a substituição de qualquer parte ou componente só será realizada se o seu conserto for impossível (COPÉ, 2013).

Com o objetivo de apresentar de forma sistematizada a proposta de manutenção preventiva para o misturador aberto de cilindros, foi elaborado um plano estruturado em formato de checklist mensal. Esse modelo permite organizar as atividades preventivas conforme sua periodicidade, recursos necessários, responsáveis pela execução e registros de acompanhamento. A estrutura proposta busca favorecer a padronização das rotinas de manutenção, a rastreabilidade das intervenções realizadas e o controle das atividades planejadas para o equipamento, conforme ilustrado pelas Figuras 20 e 21.

10		11																																	
Intervenção				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Com a máquina desligada e bloqueada, limpar a zona entre cilindros, mancais e guias de mistura. Remover resíduos soltos, borracha aderida e contaminantes, mantendo a área ao redor limpa e desobstruída.	Semanal	Panos secos; escova de nylon; espátula plástica; material absorvente; Loctite Natural Blue para superfícies pintadas com óleo/graxa	Aspirador industrial; pá coileira; lanterna; escova de nylon; espátula plástica	Óculos de segurança; luvas de proteção mecânica; calçado de segurança; protetor auricular quando houver ruído	•					•							•							•								•			
Com o painel desenergizado e bloqueado por profissional habilitado, verificar cabos, contatos, bornes e conexões. Reapertar parafusos com ferramenta isolada e torque aplicável, substituir terminal/conector danificado e registrar pontos com aquecimento ou mau contato.	Quinzenal	Terminais elétricos; conectores, abraçadeiras de nylon; marcadores de cabo; fita isolante, somente se houver substituição/identificação	Chave de fenda isolada; chave Phillips isolada; torquímetro isolado ou chave de torque; alicate crimpador; alicate de corte; multímetro	Óculos de segurança; luvas isolantes conforme tensão; calçado de segurança; vestimenta de proteção elétrica conforme procedimento interno	•												•																•		
Com o motor desenergizado e bloqueado, verificar isolamento elétrico, temperatura, ventilação, limpeza externa, conexões de acoplamento e fixação da base. Remover poeira ou detritos com pano seco ou ar comprimido, conforme indicado no manual.	Quinzenal	Panos secos; ar comprimido seco; terminais/conectores apenas se houver dano	Megômetro; multímetro; termômetro infravermelho; chave combinada; chave Allen; chave de fenda isolada	Óculos de segurança; luvas isolantes conforme tensão; calçado de segurança; vestimenta de proteção elétrica conforme procedimento interno	•												•																•		
Com a máquina desligada e bloqueada, remover óleo/graxa acumulados na parte externa. Utilizar material absorvente para excesso de lubrificante e, em superfícies pintadas, aplicar Loctite Natural Blue conforme orientação do manual.	Mensal	Panos secos; manta/papel absorvente; Loctite Natural Blue para superfícies pintadas; saco para descarte de resíduo contaminado	Espátula plástica; escova de nylon; pá coileira; recipiente para resíduo	Óculos de segurança; luvas nitrílicas; calçado de segurança; avental impermeável quando houver contato com óleo/graxa	•												•																	•	
Com a máquina em condição segura, limpar o pino graxeiro, aplicar graxa nos mancais dos cilindros conforme o programa de lubrificação e retirar excesso externo para evitar acúmulo de contaminantes.	Mensal	Graxa dos mancais conforme tabela de graxas do manual; pano seco	Engraxadeira manual; bico graxeiro compatível; espátula plástica para remoção de excesso	Óculos de segurança; luvas nitrílicas; calçado de segurança; avental impermeável quando houver contato com óleo/graxa	•												•																		
Com a máquina em condição segura, limpar o pino graxeiro da união rotativa e aplicar graxa compatível com temperatura de trabalho pelo pino graxeiro. Remover excesso externo após a lubrificação.	Bimestral	Graxa compatível com a temperatura de trabalho da união rotativa, conforme programa de lubrificação; pano seco	Engraxadeira manual; bico graxeiro compatível; espátula plástica para excesso	Óculos de segurança; luvas térmicas; calçado de segurança; protetor facial quando houver vapor/linha quente; luvas nitrílicas para contato com graxa	•												•																		
Com profissional habilitado, testar as sinalizações do painel de comando e confirmar o funcionamento das lâmpadas. Caso alguma não acenda, desligar/bloquear a alimentação aplicável e substituir a lâmpada por peça compatível.	Semestral	Lâmpadas de sinalização compatíveis, se houver substituição; etiqueta de identificação	Multímetro; chave de fenda isolada; chave Phillips isolada; alicate universal isolado	Óculos de segurança; luvas isolantes conforme tensão; calçado de segurança; vestimenta de proteção elétrica conforme procedimento interno	•												•																		
Quando os rolamentos forem removidos para inspeção, lavar com álcool ou parafina, secar completamente e lubrificar imediatamente após a secagem para evitar corrosão.	Semestral	Álcool ou parafina; lubrificante após secagem; panos secos	Recipiente de limpeza; pincel de cerdas macias; alicate para anel elástico; saca-rolamento, se aplicável	Óculos de segurança; luvas resistentes a solventes; calçado de segurança; proteção respiratória quando aplicável	•												•																		
Com a máquina desligada, bloqueada e o circuito despressurizado, drenar o sistema conforme procedimento interno, realizar a limpeza do circuito de aquecimento/refrigeração e conferir o retorno da circulação após a recomposição.	Semestral	Água de limpeza ou fluido de limpeza definido no procedimento interno; recipiente para drenagem; panos secos	Mangueira de drenagem; balde/recipiente coileira; chave de grifo; chave combinada; bomba de recirculação, se aplicável	Óculos de segurança; luvas térmicas; calçado de segurança; protetor facial quando houver vapor/linha quente	•												•																		
Programar a revisão com a assistência técnica da Copé e disponibilizar histórico de falhas, plano de manutenção e condições operacionais. Registrar os componentes avaliados e as recomendações de recuperação ou substituição.	Anual	Materiais e peças definidos após diagnóstico da assistência técnica	Checklist do equipamento; histórico de manutenção; paquímetro; micrômetro; relógio comparador; termômetro infravermelho; multímetro; megômetro; chave combinada; chave Allen	Óculos de segurança; luvas de proteção mecânica; calçado de segurança; protetor auricular; luvas isolantes/térmicas quando o escopo envolver sistema elétrico ou térmico	•												•																		
Com o motor parado, desenergizado e bloqueado, limpar o ponto de graxa e aplicar o lubrificante dos rolamentos do motor conforme o programa de lubrificação. Evitar excesso de graxa e registrar horário/data da intervenção.	Anual	Graxa dos rolamentos do motor conforme tabela de graxas do manual; pano seco; etiqueta de identificação	Engraxadeira manual; bico graxeiro compatível; pano para limpeza do ponto	Óculos de segurança; luvas isolantes conforme tensão; calçado de segurança; vestimenta de proteção elétrica conforme procedimento interno; luvas nitrílicas para contato com graxa	•												•																		
Com a máquina desligada e bloqueada, drenar o óleo usado do redutor em recipiente apropriado, fechar o dreno, abastecer com óleo recomendado pelo manual até o nível indicado e identificar a data/horímetro da troca.	A cada 1 ano e meio	Óleo lubrificante do redutor conforme tabela do manual; recipiente coileira para óleo usado; panos secos; etiqueta de identificação	Funil com bico ou bomba manual de transferência; chave combinada ou chave Allen para bujões; bandeja de contenção	Óculos de segurança; luvas nitrílicas; calçado de segurança; avental impermeável quando houver contato com óleo/graxa	•												•																		

Figura 21: Plano de manutenção misturador aberto de cilindros.

Fonte: Pesquisa Direta (2026)

As Figuras 20 e 21 apresentam a visão geral do plano de manutenção preventiva desenvolvido para o misturador aberto de cilindro. O documento foi organizado em duas partes principais: a primeira destinada às atividades de inspeção e a segunda direcionada às intervenções preventivas. Essa separação permite diferenciar as ações de verificação, acompanhamento e diagnóstico das atividades que envolvem limpeza, lubrificação, ajustes, reapertos, substituições condicionais e revisões programadas.

Na Figura 20, observa-se a primeira parte do plano, composta pelas atividades de inspeção preventiva. Essas atividades têm como finalidade identificar antecipadamente condições anormais de funcionamento, como falhas de lubrificação, vazamentos, desgastes, desalinhamentos, mau contato elétrico, aquecimento, ruídos anormais e presença de resíduos na área operacional. A organização dessas inspeções permite que a equipe de manutenção acompanhe periodicamente os sistemas críticos do equipamento e atue antes que as falhas evoluam para paradas corretivas.

A Figura 21 apresenta a segunda parte do plano, voltada às intervenções preventivas. Nessa etapa são contempladas ações que exigem atuação direta sobre o equipamento, como limpeza de componentes, lubrificação, reaperto de conexões, verificação de motores elétricos, drenagem de sistemas, substituição de itens danificados e programação de revisão técnica. Essas intervenções foram distribuídas conforme a periodicidade recomendada, considerando as condições operacionais do misturador e as orientações do fabricante.

Com intuito de melhor visualização, o plano de manutenção proposto conforme observado pela Figura 20 e Figura 21, será detalhado abaixo.

Na Figura 22, é detalhado o indicador 1 indicado na Figura 20:

Plano de Manutenção Preventiva	1
Equipamento: Misturador de cilindros abertos MS 2	

Figura 22: Indicador 1 da Figura 20.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Na Figura 22, é apresentada a identificação do documento, contendo o título do plano e o equipamento ao qual ele se aplica. Essa informação é fundamental para garantir a correta aplicação do procedimento, evitando que atividades de manutenção sejam executadas em equipamentos diferentes ou sem a devida associação ao ativo correspondente.

Na Figura 23, foi detalhado o indicador 2, o qual lista as atividades de Inspeção do plano de manutenção:

Inspeção	2
Antes da operação, acionar individualmente o botão/barra de emergência, confirmar a parada total do acionamento e verificar se o rearme só ocorre após o reset do comando. Registrar qualquer falha de atuação.	
Com atenção à temperatura/pressão do sistema, observar o visor da união rotativa e verificar o anel grafitado. Escape de vapor pelo visor indica desgaste total do anel e necessidade de retirada da união para reparo.	
Antes de ligar o misturador, acionar o sistema/dispositivo de lubrificação e verificar se os pontos previstos estão recebendo lubrificante. Somente liberar a partida após confirmar a condição de lubrificação.	
Com a máquina parada e em condição segura, verificar o nível no visor ou vareta do redutor/reservatório. Caso esteja abaixo do nível indicado, completar com óleo recomendado pelo manual e limpar resíduos externos.	
Antes da partida, verificar a pressão indicada no manômetro do sistema pneumático, quando existente, e confirmar se está dentro da faixa operacional definida internamente.	
Antes da operação, conferir se instrumentos, indicadores e comandos do painel respondem corretamente à condição do equipamento. Registrar qualquer indicação divergente para correção.	
Antes da partida, inspecionar visualmente a zona entre os cilindros e retirar ferramentas, resíduos soltos ou contaminantes. Somente liberar a operação com a área de trabalho livre.	
Executar a atividade com a máquina em condição segura, seguindo o procedimento interno e registrando o resultado da inspeção.	
Com o circuito desenergizado e bloqueado, inspecionar cabos e contatos quanto a rompimento, ressecamento, mau contato, aquecimento e oxidação. Confirmar continuidade elétrica com multímetro quando aplicável e substituir cabos/contatos danificados.	
Com o acionamento bloqueado, verificar alinhamentos radial, angular e axial do acoplamento. Utilizar relógio comparador com base magnética e corrigir desalinhamentos conforme tolerâncias do fornecedor do acoplamento.	
Com o sistema térmico em condição segura, inspecionar visualmente tubulações, conexões, mangueiras e uniões rotativas. Verificar vazamentos, folgas, oxidação, trincas e aperto das conexões, sem atuar em linha quente ou pressurizada.	
Com a máquina desligada e bloqueada, acessar o comando de rolos e realizar inspeção visual das engrenagens. Verificar presença de pitting, desgaste, escoamento plástico, rupturas, excesso de graxa, ruído anormal e sinais de desalinhamento.	
Com a máquina em condição segura, inspecionar os mancais quanto a desalinhamentos, rebarbas, desgastes unilaterais, ruídos e aquecimento. Quando aplicável, medir a temperatura e comparar com a condição normal de operação.	
Com a máquina parada, posicionar o nível de precisão nos pontos de referência da estrutura e verificar o nivelamento. Caso necessário, ajustar niveladores/calços e reapertar fixações.	
Com a máquina desligada e a área entre cilindros livre, inspecionar visualmente as superfícies dos cilindros quanto a riscos, desgaste e marcas. Realizar conferência dimensional com paquímetro/micrômetro e registrar necessidade de recuperação quando houver desgaste relevante.	

Figura 23: Indicador 2 da Figura 20.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

A Figura 23 detalha o campo destinado às atividades de inspeção. Nesse campo são descritas as verificações a serem realizadas no equipamento, contemplando aspectos operacionais, mecânicos, elétricos e de segurança. As inspeções incluem, por exemplo, o teste dos dispositivos de emergência, a verificação da lubrificação, o controle do nível de óleo, a inspeção de cabos e contatos, a análise de mancais, engrenagens, acoplamentos, sistema térmico e superfícies dos cilindros. Essa estrutura permite que as verificações sejam realizadas de forma padronizada, reduzindo a possibilidade de omissões durante a rotina de manutenção.

Em continuidade, na Figura 24 foram detalhados os indicadores 3 e 4 localizados na Figura 20:

MÊS:			
4			
Frequência	Material de consumo	Equipamentos de apoio	EPI's necessários
Diária	3	Botão de emergência; barras de segurança; painel de comando	Óculos de segurança; calçado de segurança
Diária	Não aplicável; anel grafitado somente se houver reparo/substituição	Lanterna; espelho de inspeção; chave combinada; chave de grifo; chave inglesa	Óculos de segurança; luvas térmicas; calçado de segurança; protetor facial quando houver vapor/linha quente
Diária	Óleo ou graxa do ponto aplicável, conforme programa de lubrificação do manual	Dispositivo de lubrificação da máquina; engraxadeira manual, se o ponto for por graxa	Óculos de segurança; luvas nitrílicas; calçado de segurança; avental impermeável quando houver contato com óleo/graxa
Diária	Óleo lubrificante recomendado pelo manual; pano seco para limpeza	Visor ou vareta de nível; funil com bico; lanterna	Óculos de segurança; luvas nitrílicas; calçado de segurança; avental impermeável quando houver contato com óleo/graxa
Diária		Manômetro do sistema; regulador de pressão; lanterna	Óculos de segurança; calçado de segurança
Diária		Painel de comando; botões de comando; sinalizadores; multímetro, se necessário	Óculos de segurança; calçado de segurança
Diária		Lanterna; gancho não metálico ou pinça longa para retirada de resíduos, com a máquina desligada	Óculos de segurança; luvas de proteção mecânica; calçado de segurança; protetor auricular quando houver ruído
Diária		Lanterna; instrumentos de inspeção visual	Óculos, luvas, calçado de segurança e protetor auricular quando aplicável
Diária	Cabos elétricos compatíveis; terminais; conectores; abraçadeiras de nylon; identificadores de cabo	Multímetro; alicate decapador; alicate crimpador; alicate de corte; chave de fenda isolada; chave Phillips isolada	Óculos de segurança; luvas isolantes conforme tensão; calçado de segurança; vestimenta de proteção elétrica conforme procedimento interno
Quinzenal	Não aplicável; calços de alinhamento somente se houver correção	Relógio comparador; base magnética; jogo de calços calibrados; chave combinada; chave Allen; chave catraca com soquetes	Óculos de segurança; luvas de proteção mecânica; calçado de segurança; protetor auricular quando houver ruído
Mensal	Não aplicável; substituir vedações, mangueiras ou conexões somente se identificado dano	Lanterna; chave combinada; chave de grifo; chave inglesa; pano seco para evidenciar vazamentos	Óculos de segurança; luvas térmicas; calçado de segurança; protetor facial quando houver vapor/linha quente
Mensal	Não aplicável; utilizar graxa adesiva somente se houver ponto de lubrificação previsto no programa	Lanterna; espelho de inspeção; chave Allen; chave combinada; chave catraca com soquetes	Óculos de segurança; luvas de proteção mecânica; calçado de segurança; protetor auricular quando houver ruído
Mensal		Lanterna; termômetro infravermelho; estetoscópio mecânico ou bastão de escuta; régua de aço; paquímetro	Óculos de segurança; luvas de proteção mecânica; calçado de segurança; protetor auricular quando houver ruído
Semestral	Calços de nivelamento, se houver ajuste; marcador industrial para identificação	Nível de precisão; chave combinada; chave catraca com soquetes; macaco hidráulico de baixa elevação, se aplicável	Óculos de segurança; luvas de proteção mecânica; calçado de segurança; protetor auricular quando houver ruído
Semestral		Paquímetro; micrômetro externo; régua de aço retificada; lanterna; relógio comparador com base magnética, se necessário	Óculos de segurança; luvas de proteção mecânica; calçado de segurança; protetor auricular quando houver ruído

Figura 24 : Indicadores 3 e 4 da Figura 20.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Conforme observado pela Figura 24, o indicador 3 detalha:

- “Frequência” localizado na primeira coluna;
- “Material de consumo”, localizado na segunda coluna;

- “Equipamentos de apoio”, localizado na terceira coluna, e;
- “EPI’s necessários”, localizado na quarta coluna.

Nesse sentido, a frequência determina o tempo em que a atividade será realizada, a qual foi definida de acordo com a frequência foi definida considerando as recomendações do fabricante, criticidade dos componentes, histórico de falhas, necessidade de reduzir paradas corretivas, segurança operacional do misturador.

Adicionalmente, o material de consumo detalha quais materiais serão consumidos no momento da realização da atividade. Assim, os equipamentos de apoio detalham quais os equipamentos necessários para a realização da atividade. Por fim, os EPI’s necessários caracterizam os itens que devem ser utilizados pelo operador no momento da realização da atividade, a fim de garantir a segurança do colaborador e evitar acidentes de trabalho.

A Figura 25, destaca o indicador 5 da Figura 21:

OPERADOR:																												

Figura 25: Indicador 5 da Figura 20.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Desse modo, na Figura 25 apresenta o campo destinado à assinatura e identificação do colaborador responsável pela execução das atividades no respectivo dia. Esse registro contribui para a rastreabilidade da manutenção, permitindo identificar quem realizou a verificação ou intervenção e em qual data a atividade foi executada. Esse controle também facilita auditorias internas, acompanhamento de pendências e análise de recorrência de falhas. Em sequência, a Figura 26 sinaliza o indicador 6, o qual detalha a atividade planejada a ser realizada no dia, de acordo com a frequência determinada de cada atividade. A organização e sinalização dessas atividades, foi realizada através da legenda, detalhada pelo indicador 7, indicado pela Figura 27:

Conforme observado pela Figura 26, é apresentado o calendário mensal de execução das atividades. Os dias do mês foram organizados em colunas, permitindo visualizar quais tarefas devem ser executadas em cada data. Esse formato facilita o acompanhamento da rotina preventiva, pois permite ao responsável pelo plano verificar rapidamente as atividades previstas, as tarefas já concluídas e eventuais pendências. Assim, o quadro de legendas, observado pela Figura 27, exemplifica como o quadro deve ser preenchido, o qual simboliza o dia que a tarefa deve ser executada, e ✓ caracteriza que a tarefa foi concluída.

Por seguinte, a Figura 28, detalha os indicadores 8 e 9 da Figura 20:

Data Início do Plano: ____/____/____ Data Final do Plano: ____/____/____ Data Revisão do Plano: ____/____/____	8
Responsável pela Equipe de Manutenção: Nome do Responsável: Ass.:	9
Equipe de Manutenção: Nome dos Integrantes:	

Figura 28 : Indicadores 8 e 9 da Figura 20.
Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Nessa perspectiva, o indicador 8, apresentado na Figura 28, reúne as informações referentes ao controle do plano de manutenção preventiva. Nesse campo são registrados a data de início de vigência do plano, a data prevista para seu encerramento, quando aplicável, e a data da última revisão realizada. Essas informações permitem controlar a validade do documento e acompanhar as atualizações decorrentes de alterações nas atividades, periodicidades ou procedimentos de manutenção.

Por sua vez, o indicador 9 observado na Figura 28, corresponde à identificação da equipe responsável pela execução do plano de manutenção preventiva. Nesse campo são registrados o nome do responsável técnico, sua assinatura e a identificação dos integrantes da equipe de manutenção envolvidos na execução das atividades previstas. Essas informações têm como finalidade garantir a rastreabilidade das intervenções realizadas, bem como definir os

responsáveis pela implementação, acompanhamento e atualização do plano de manutenção preventiva.

Em seguida, a Figura 29 detalha o indicador 10 apresentado pela Figura 22:

Intervenção	10
Com a máquina desligada e bloqueada, limpar a zona entre cilindros, mancais e guias de mistura. Remover resíduos soltos, borracha aderida e contaminantes, mantendo a área ao redor limpa e desobstruída.	
Com o painel desenergizado e bloqueado por profissional habilitado, verificar cabos, contatos, bornes e conexões. Reapertar parafusos com ferramenta isolada e torque aplicável, substituir terminal/conector danificado e registrar pontos com aquecimento ou mau contato.	
Com o motor desenergizado e bloqueado, verificar isolamento elétrico, temperatura, ventilação, limpeza externa, conexões de acoplamento e fixação da base. Remover poeira ou detritos com pano seco ou ar comprimido, conforme indicado no manual.	
Com a máquina desligada e bloqueada, remover óleo/graxa acumulados na parte externa. Utilizar material absorvente para excesso de lubrificante e, em superfícies pintadas, aplicar Loctite Natural Blue conforme orientação do manual.	
Com a máquina em condição segura, limpar o pino graxeiro, aplicar graxa nos mancais dos cilindros conforme o programa de lubrificação e retirar excesso externo para evitar acúmulo de contaminantes.	
Com a máquina em condição segura, limpar o pino graxeiro da união rotativa e aplicar graxa compatível com temperatura de trabalho pelo pino graxeiro. Remover excesso externo após a lubrificação.	
Com profissional habilitado, testar as sinalizações do painel de comando e confirmar o funcionamento das lâmpadas. Caso alguma não acenda, desligar/bloquear a alimentação aplicável e substituir a lâmpada por peça compatível.	
Quando os rolamentos forem removidos para inspeção, lavar com álcool ou parafina, secar completamente e lubrificar imediatamente após a secagem para evitar corrosão.	
Com a máquina desligada, bloqueada e o circuito despressurizado, drenar o sistema conforme procedimento interno, realizar a limpeza do circuito de aquecimento/refrigeração e conferir o retorno da circulação após a recomposição.	
Programar a revisão com a assistência técnica da Copé e disponibilizar histórico de falhas, plano de manutenção e condições operacionais. Registrar os componentes avaliados e as recomendações de recuperação ou substituição.	
Com o motor parado, desenergizado e bloqueado, limpar o ponto de graxa e aplicar o lubrificante dos rolamentos do motor conforme o programa de lubrificação. Evitar excesso de graxa e registrar horímetro/data da intervenção.	
Com a máquina desligada e bloqueada, drenar o óleo usado do redutor em recipiente apropriado, fechar o dreno, abastecer com óleo recomendado pelo manual até o nível indicado e identificar a data/horímetro da troca.	

Figura 29 : Indicador 10 da Figura 21.

Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Nessa mesma perspectiva, o indicador 10, detalhado na Figura 29, reúne as instruções de execução das atividades previstas no plano de manutenção preventiva. Nesse campo são especificados os procedimentos que deverão ser realizados em cada intervenção, incluindo as condições operacionais do equipamento, os componentes a serem inspecionados, os métodos de execução e os cuidados necessários durante a manutenção. A padronização dessas informações tem como objetivo garantir que todas as intervenções sejam executadas de forma uniforme, em conformidade com as recomendações do fabricante e com os procedimentos adotados pela empresa.

Por fim, o indicador 11 é destacado pela Figura 30 abaixo:

11			
Semanal	Panos secos; escova de nylon; espátula plástica; material absorvente; Loctite Natural Blue para superfícies pintadas com óleo/graxa	Aspirador industrial; pá coileira; lanterna; escova de nylon; espátula plástica	Óculos de segurança; luvas de proteção mecânica; calçado de segurança; protetor auricular quando houver ruído
Quinzenal	Terminais elétricos; conectores; abraçadeiras de nylon; marcadores de cabo; fita isolante, somente se houver substituição/identificação	Chave de fenda isolada; chave Phillips isolada; torquímetro isolado ou chave de torque; alicate crimpador; alicate de corte; multímetro	Óculos de segurança; luvas isolantes conforme tensão; calçado de segurança; vestimenta de proteção elétrica conforme procedimento interno
Quinzenal	Panos secos; ar comprimido seco; terminais/conectores apenas se houver dano	Megômetro; multímetro; termômetro infravermelho; chave combinada; chave Allen; chave de fenda isolada	Óculos de segurança; luvas isolantes conforme tensão; calçado de segurança; vestimenta de proteção elétrica conforme procedimento interno
Mensal	Panos secos; manta/papel absorvente; Loctite Natural Blue para superfícies pintadas; saco para descarte de resíduo contaminado	Espátula plástica; escova de nylon; pá coileira; recipiente para resíduo	Óculos de segurança; luvas nitrílicas; calçado de segurança; avental impermeável quando houver contato com óleo/graxa
Mensal	Graxa dos mancais conforme tabela de graxas do manual; pano seco	Engraxadeira manual; bico graxeiro compatível; espátula plástica para remoção de excesso	Óculos de segurança; luvas nitrílicas; calçado de segurança; avental impermeável quando houver contato com óleo/graxa
Bimestral	Graxa compatível com a temperatura de trabalho da união rotativa, conforme programa de lubrificação; pano seco	Engraxadeira manual; bico graxeiro compatível; espátula plástica para excesso	Óculos de segurança; luvas térmicas; calçado de segurança; protetor facial quando houver vapor/linha quente; luvas nitrílicas para contato com graxa
Semestral	Lâmpadas de sinalização compatíveis, se houver substituição; etiqueta de identificação	Multímetro; chave de fenda isolada; chave Phillips isolada; alicate universal isolado	Óculos de segurança; luvas isolantes conforme tensão; calçado de segurança; vestimenta de proteção elétrica conforme procedimento interno
Semestral	Alcool ou parafina; lubrificante após secagem; panos secos	Recipiente de limpeza; pincel de cerdas macias; alicate para anel elástico; saca-rolamento, se aplicável	Óculos de segurança; luvas resistentes a solventes; calçado de segurança; proteção respiratória quando aplicável
Semestral	Água de limpeza ou fluido de limpeza definido no procedimento interno; recipiente para drenagem; panos secos	Mangueira de drenagem; balde/recipiente coletor; chave de grifo; chave combinada; bomba de recirculação, se aplicável	Óculos de segurança; luvas térmicas; calçado de segurança; protetor facial quando houver vapor/linha quente
Anual	Materiais e peças definidos após diagnóstico da assistência técnica	Checklist do equipamento; histórico de manutenção; paquímetro; micrômetro; relógio comparador; termômetro infravermelho; multímetro; megômetro; chave combinada; chave Allen	Óculos de segurança; luvas de proteção mecânica; calçado de segurança; protetor auricular; luvas isolantes/térmicas quando o escopo envolver sistema elétrico ou térmico
Anual	Graxa dos rolamentos do motor conforme tabela de graxas do manual; pano seco; etiqueta de identificação	Engraxadeira manual; bico graxeiro compatível; pano para limpeza do ponto	Óculos de segurança; luvas isolantes conforme tensão; calçado de segurança; vestimenta de proteção elétrica conforme procedimento interno; luvas nitrílicas para contato com graxa
A cada 1 ano e meio	Óleo lubrificante do redutor conforme tabela do manual; recipiente coletor para óleo usado; panos secos; etiqueta de identificação	Funil com bico ou bomba manual de transferência; chave combinada ou chave Allen para buíões; bandeja de contenção	Óculos de segurança; luvas nitrílicas; calçado de segurança; avental impermeável quando houver contato com óleo/graxa

Figura 30: Indicador 11 da Figura 21.

Fonte: Pesquisa Direta (2026)

Conforme observado pela Figura 30, apresenta a continuidade dos campos de frequência, material de consumo, equipamentos de apoio e EPI's necessários para as atividades de intervenção. A repetição dessa estrutura nas duas partes do plano garante uniformidade na apresentação das informações e facilita a aplicação prática do documento pela equipe de manutenção. Além disso, permite prever antecipadamente os recursos necessários para a execução das atividades, contribuindo para o planejamento de materiais, ferramentas e mão de obra.

A elaboração do plano de manutenção preventiva apresentado neste capítulo foi conduzida a partir da integração entre a caracterização técnica do misturador aberto de cilindros, a análise do histórico de falhas, as recomendações do fabricante e os fundamentos teóricos relacionados à gestão da manutenção. Essa construção permitiu direcionar as atividades preventivas para os sistemas mais relevantes do equipamento, considerando tanto a frequência das ocorrências quanto o impacto das falhas sobre a disponibilidade operacional.

A definição das atividades de manutenção considerou as necessidades específicas de cada sistema do equipamento, contemplando ações de inspeção, limpeza, lubrificação, reaperto, verificação de componentes, substituições condicionais e testes funcionais. Além disso, a definição das periodicidades buscou compatibilizar as recomendações técnicas do fabricante com a realidade operacional do equipamento, permitindo que as intervenções fossem organizadas de forma sistemática, planejada e aplicável à rotina da equipe de manutenção.

Outro aspecto relevante na construção do plano foi a padronização das informações necessárias para sua execução, incluindo a identificação dos sistemas, a descrição das atividades, os materiais de consumo, os equipamentos de apoio, os EPIs necessários, os responsáveis pela execução e os registros de acompanhamento. Essa estrutura favorece o controle das atividades realizadas, a rastreabilidade das intervenções e o acompanhamento das condições do equipamento ao longo do tempo.

Dessa forma, o plano de manutenção preventiva proposto constitui uma ferramenta técnica voltada à redução das intervenções corretivas no misturador aberto de cilindros, uma vez que estabelece ações antecipadas para identificação e tratamento de possíveis anomalias antes da ocorrência da falha funcional. Com a diminuição da dependência de manutenções corretivas emergenciais, espera-se minimizar paradas não programadas, perdas produtivas, atrasos no processo de fabricação, custos não planejados com peças e mão de obra, além de reduzir riscos à segurança dos colaboradores. Ressalta-se, contudo, que a efetividade do plano depende de sua aplicação contínua, do preenchimento adequado dos registros de manutenção e

da revisão periódica das atividades e periodicidades, com base no comportamento real do equipamento após sua implantação.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo propor um plano de manutenção preventiva para o misturador aberto de cilindros, considerando as recomendações do fabricante e o histórico de falhas do equipamento. A partir da análise realizada, foi possível identificar a importância da manutenção como ferramenta estratégica para o aumento da confiabilidade, da disponibilidade operacional e da segurança no processo produtivo.

Durante o desenvolvimento do estudo, observou-se que a ausência de uma rotina preventiva estruturada pode contribuir para o aumento de intervenções corretivas, paradas não programadas, maior desgaste dos componentes e dificuldade no planejamento das atividades de manutenção. Dessa forma, a elaboração do plano proposto buscou organizar as ações de inspeção e intervenção de maneira sistemática, estabelecendo periodicidades, materiais de consumo, equipamentos de apoio, EPIs necessários e registros de acompanhamento.

O plano de manutenção preventiva desenvolvido contemplou atividades voltadas à inspeção dos principais sistemas do equipamento, como lubrificação, sistema elétrico, mancais, engrenagens, acoplamentos, união rotativa, sistema térmico e cilindros. Além disso, foram propostas intervenções preventivas relacionadas à limpeza, lubrificação, reaperto, verificação de componentes, substituições condicionais e revisão técnica programada.

Por fim, conclui-se que o plano proposto apresenta aplicabilidade prática e pode contribuir para a padronização das rotinas de manutenção do equipamento. Sua implementação tende a favorecer a identificação antecipada de falhas, a redução de paradas inesperadas, o melhor aproveitamento dos recursos de manutenção e o aumento da segurança dos colaboradores envolvidos na operação e manutenção do misturador.

Ressalta-se, entretanto, que os resultados efetivos do plano dependem de sua aplicação contínua, do registro adequado das atividades executadas e da revisão periódica das frequências estabelecidas. Assim, o plano elaborado representa uma proposta inicial de organização da manutenção preventiva, podendo ser aperfeiçoado conforme o acompanhamento dos indicadores de desempenho e das condições reais de operação do equipamento.

5.2 Recomendações

Após a elaboração do plano de manutenção preventiva para o misturador aberto de cilindros, são propostas as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- Aplicação prática do plano de manutenção preventiva proposto, a fim de verificar sua aderência à rotina operacional da empresa;
- Análise da eficiência do plano de manutenção, por meio do acompanhamento dos indicadores de manutenção;
- Realização de melhorias no plano de manutenção com base nos resultados obtidos após sua implementação, ajustando periodicidades, atividades e critérios de inspeção quando necessário;
- Análise comparativa de custos com manutenção antes e após a implementação do plano de manutenção.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

HERTZ, D. L. Theory and practice of vulcanization. **Elastomerics**, v. 116, n. 11, p. 17-21, 1984.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. 2. ed. New York: Industrial Press, 1997.

NAKAJIMA, Seiichi. **Introduction to TPM: total productive maintenance**. Cambridge: Productivity Press, 1988.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Manual de gestão da manutenção: volume 1**. 1. ed. Brasília: Engeteles Editora, 2020.

XENOS, Harilaus Georgius D'Philippus. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

OLIVEIRA, Maria Aparecida de Souza; CASSU, Silvana Navarro; MELLO, Sandra Aparecida Coelho de; DUTRA, Jorge Carlos Narciso. Influência do método de vulcanização nas propriedades mecânicas e na densidade de ligações cruzadas da borracha natural. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 26, n. especial, p. 43-48, 2016. DOI: 10.1590/0104-1428.2051. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2051>. Acesso em: 12 dez. 2025.

COPÉ. **Manual de instruções: misturador de cilindros abertos MAC-1000**. [S.l.]: COPÉ, 2013.

PIRES, Arthur Bernardes Ramos. **Proposta de um plano de manutenção preventiva de moinhos horizontais por via úmida utilizados em uma indústria química**. 2022. 52 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/4671/1/MONOGRAFIA_PropostaPlan%0aManuten%c3%a7%c3%a3o.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.

SERRA, Luiz Fernando Nascimento. **Proposta de um plano de manutenção preventiva para bombas de polpa de rejeitos de minério**. 2018. 63 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1572/6/MONOGRAFIA_PropostaPlanoManuten%c3%a7%c3%a3o.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOEIRO, Marcus Vinícius de Abreu; OLIVIO, Amauri; LUCATO, André Vicente Ricco. **Gestão da manutenção**. 1. ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.

THIAGO NETO, Nilton Costa Pereira de S. **Elaboração do plano de manutenção preventiva do dispositivo robótico de inspeção de ambientes restritos e confinados: EspeleoRobô**. 2022. 71 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/4650/1/MONOGRAFIA_Elabora%c3%a7%c3%a3oPlanoManuten%c3%a7%c3%a3o.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM: planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

VIEIRA, Tarciso Prata Pena. **Proposta de um plano de manutenção para um caminhão bomba lança de concreto de uma empresa da construção civil**. 2023. 79 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5727/1/MONOGRAFIA_PropostaPlanoManuten%c3%a7%c3%a3o.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 6: Equipamento de Proteção Individual — EPI**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2024.