



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



RENAN BARTELLI RUI

ESTUDO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE FALHAS PARA A ANÁLISE DE FALHAS EM UM ROLAMENTO DE UMA BOMBA ALIMENTADORA DE POLPA PARA UM MOINHO DE BOLAS EM UMA EMPRESA MINERADORA.

OURO PRETO - MG
2023

RENAN BARTELLI RUI
E-mail: renan.rui@aluno.ufop.edu.br

ESTUDO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE FALHAS PARA A ANÁLISE DE FALHAS EM UM ROLAMENTO DE UMA BOMBA ALIMENTADORA DE POLPA PARA UM MOINHO DE BOLAS EM UMA EMPRESA MINERADORA.

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

Professor orientador: DSc. Washington Luís Vieira da Silva

OURO PRETO – MG
2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R934e Rui, Renan Bartelli.

Estudo do sistema de tratamento de falhas para a análise de falhas em um rolamento de uma bomba alimentadora de polpa para um moinho de bolas em uma empresa mineradora. [manuscrito] / Renan Bartelli Rui. - 2023.

52 f.

Orientador: Prof. Dr. Washington Luís Vieira Silva.

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

1. Localização de falhas (Engenharia). 2. Vida útil (Engenharia) - Manutenção. 3. Confiabilidade (Engenharia). I. Silva, Washington Luís Vieira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621



FOLHA DE APROVAÇÃO

Renan Bartelli Rui

Estudo do Sistema de Tratamento de Falhas para a análise de falhas em um rolamento de uma bomba alimentadora de polpa para um moinho de bolas em uma empresa mineradora

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 09 de março de 2023

Membros da banca

DSc. Washington Luis Vieira da Siva - Orientador(a) (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 Luis Vieira da Siva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 16/03/2023



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/03/2023, às 09:02, 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 **0498220** e o código CRC **5B2957EA**.

A Deus que sempre me acompanhou, aos meus Pais que nunca descreditaram.

Aos diversos Doutores nessa jornada, que me mostraram o que é “ser”. Aos meus amigos que não me fizeram experimentar da solidão.

A Ouro Preto, lar adquirido, pela imparidade.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Washington Luis Vieira da Silva, pelo incentivo.

Ao Sávio, sábio.

A todos docentes do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições, diretas e indiretas, para o aprimoramento do trabalho.

A vida republicana de Ouro Preto.

Aos que me acompanharam e compartilharam da minha jornada, toda experiência torna-se válida, o que não é benção é lição.

“Sejamos sempre a companhia que esperamos refletida noutro. Que nossa prioridade seja, primariamente, a própria. Feliz aquele que consegue agregar outrem nessa esfera. Tal cumplicidade torna a vida fluida”.

Renan Bartelli Rui

RESUMO

O estudo tem o principal objetivo de analisar, através do Sistema de Tratamento de Falhas, a detecção de falhas no rolamento do lado oposto ao acionamento (LOA), em uma bomba de polpa de alimentação de um moinho em uma empresa mineradora. Para a aplicação do estudo, foram adotadas as seguintes classificações quanto a metodologia: qualitativa, exploratória, bibliográfica e estudo de caso. O estudo de caso evidencia a falha ocorrida em um rolamento de uma bomba de polpa de minério de ferro de um moinho de bolas de uma empresa de mineração. A bomba apresentava emissão de fumaça e elevada vibração enquanto operava. As evidências primárias de mau funcionamento do equipamento (vibração, temperatura excessiva, emissão de fumaça, projeção de particulado, etc.) foram identificadas e tratadas paliativamente. No estudo é evidenciado que equipes de manutenção sinalizaram que havia o mau funcionamento citado previamente e atuaram corretivamente no que julgaram, por *expertise*, ser a causa provável, (falta de lubrificação) e realizaram uma nova lubrificação intervenção, essa ineficaz. A partir da análise do Sistema de Tratamento de Falhas foram identificadas as causas prováveis (falta de lubrificação, proteção de partes móveis inadequada, luva de proteção do eixo sem revestimento) e a causa raiz (falha no sistema de água de selagem). Na aplicação do estudo foram aplicadas etapas do Sistema de Tratamento de Falhas com as causas citadas identificadas e elaborada uma árvore de falhas baseada nas hipóteses prováveis levantadas para análise e finalmente a criação de um plano de ação em face à causa raiz identificada pela árvore de falhas, permeando todas as variáveis envolvidas que tenham influência significativa na falha e direciona os esforços diretamente na causa raiz da problemática, além de sanar avarias oriundas da mesma. Somente por meio das ferramentas teóricas, como o 5W1H, agregadas à experiência das lideranças, foi possível identificar, planejar e executar as intervenções realmente necessárias para o tratamento da falha e consequentemente evitar novas possíveis falhas no conjunto e em seus semelhantes. A causa raiz identificada foi uma falha no sistema de água de selagem da bomba que, devido à baixa pressão, o fluido de trabalho invadiu a caixa de gaxetas da mesma, apresentando um desgaste da luva de proteção do eixo e posteriormente projetando-se sobre a vedação do mancal, o que contaminou severamente o lubrificante, promovendo uma degradação acelerada do rolamento LOA (Lado Oposto ao Acionamento) resultando na falha. Na elaboração do plano de ação foram indicadas as seguintes contramedidas: execução de novo projeto da linha de selagem, estudo de aplicação e aplicação de luvas protetivas do eixo revestida, remoção de jumper lógico do sistema de selagem e a mobilização da equipe de manutenção preditiva. Logo, percebe-se que a contribuição do Sistema de Tratamento de Falhas foi significativa para a identificação da causa e proposto contramedidas para que evitar que a falha reincida.

Palavras-chave: confiabilidade, falhas, análises, criticidade, anormalidade, preditiva, Sistema de Tratamento de Falhas, 5W1H, árvore de falhas, plano de ação, causa raiz, sistema de selagem, rolamento LOA, contramedidas, intervenções.

ABSTRACT

The main objective of study is the analyzing, through the Failure Mode and Effect Analysis, the detection of faults in the bearing on the Opposite Side Drive (OSD), of a slurry feed pump of a mill of a mining company. For the application of the study, the following classifications were adopted regarding the methodology: qualitative, exploratory, bibliographical and case study. The case study shows the failure that occurred in a bearing of an iron ore slurry pump in a ball mill of a mining company. The pump exhibited smoke emission and high vibration while operating. The primary evidence of equipment malfunction (vibration, excessive temperature, smoke emission, particulate projection, etc.) were identified and palliatively treated, as they resulted from a root problem not yet identified. The study shows that maintenance teams signaled that there was a previously mentioned malfunction and acted correctively in what they judged, through expertise, to be the probable cause (lack of lubrication) and carried out a new lubrication intervention, which was ineffective. For the application of the study, the following steps of the Failure Mode and Effect Analysis were carried out: the 5W1H - Who, What, Where, When, Why, and How, the elaboration of a fault tree based on the probable hypotheses raised for analysis: operational misalignment, lack of bearing lubrication, inadequate protection of moving parts, lack of coating on the shaft protection sleeve and failure in the sealing system and finally the creation of a fault plan action towards the root cause identified by the fault tree, permeating all the variables involved that have a significant influence on the failure and directing efforts to the root cause of the problem, in addition to remedying malfunctions arising from it. Only through the aforementioned theoretical tools, added to the know-how of the leaders, it was possible to identify, plan and execute the interventions really necessary for the perfect treatment of the failure and consequently to avoid new possible failures in the set and in its similar ones. From the analysis of the Failure Mode and Effect Analysis, the probable causes and the root cause were identified. The root cause identified was a failure in the pump sealing water system which, due to the low pressure, the working fluid invaded the stuffing box of the same, showing a wear of the shaft protection sleeve and later projecting itself over the bearing sealing, which severely contaminated the lubricant, promoting an accelerated degradation of the OSD bearing, resulting in failure. In the preparation of the action plan, the following countermeasures were indicated: execution of a new project for the sealing line, study of the application and application of protective sleeves on the coated shaft, removal of the logical jumper from the sealing system and mobilization of the predictive maintenance team. Therefore, it is clear that the contribution of the Failure Mode and Effect Analysis was significant for identifying the cause and proposing countermeasures to prevent recurring failure.

Keywords: *reliability, failures, analysis, criticality, abnormality, predictive, Failure Mode and Effect Analysis, 5W1H, fault tree, action plan, root cause, sealing system, LOA bearing, countermeasures, interventions.*

LISTA DE SIMBOLOS

LISTA DE IMAGENS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Sistema de Tratamento de Falhas | 2 |
| Figura 2 - Tipos de manutenção. | 8 |
| Figura 3 - Classificação das falhas | 13 |
| Figura 4 - Relação entre o Esforço e a Resistência | 16 |
| Figura 6 - Curva da Banheira – Combinação dos Modelos de Falhas | 18 |
| Figura 7 - Fluxograma 1: Metodologia da pesquisa. | 21 |
| Figura 8 - Fluxograma 2: Procedimento metodológico da pesquisa. | 23 |
| Figura 9 - Fluxograma geral do processo produtivo de pelotas de minério de ferro..... | 26 |
| Figura 10 - Componentes de uma bomba. | 28 |
| Figura 11 – Situação da bomba antes da parada..... | 30 |
| Figura 12 – Condição do rolamento LOA. | 31 |
| Figura 13 – Contaminação interna do mancal e rolamento LOA..... | 31 |
| Figura 14 – Árvore de Falha..... | 32 |
| Figura 15 – Status das bombas ao longo das coletas preditivas. | 33 |
| Figura 16 – Gráfico cascata das coletas preditivas realizadas..... | 33 |
| Figura 17 – Luva de proteção do eixo. | 34 |
| Figura 18 – Ordens de execução de lubrificação..... | 35 |
| Figura 19 – Nota de lubrificação. | 35 |
| Figura 20 – Detalhe da proteção de partes móveis. | 36 |
| Figura 21 – Gráfico PIMS de pressão e vazão de selagem. | 37 |
| Figura 22 – Árvore de falhas sinalizada. | 38 |
| Figura 23 – Ordem e nota de serviço de avaria criada. | 39 |
| Figura 24 – Plano de ação..... | 40 |
| Figura 25 – Novo Projeto da linha de Selagem..... | 41 |

| | |
|--|----|
| Figura 26 – Estudo de viabilidade de aplicação de luvas revestidas. | 42 |
| Figura 27 – Data de alteração do desenho da luva revestida. | 42 |
| Figura 28 – Alteração do desenho para aplicação da luva revestida. | 43 |
| Figura 29 – Regularização da vazão e pressão de trabalho. | 44 |
| Figura 30 – Regularização da vazão e pressão de trabalho. | 44 |
| Figura 31 – Retorno dos planos de manutenção preditiva. | 45 |
| Figura 32 – Quadro comparativo proposto x realizado. | 45 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Métodos de manutenção e suas características..... | 2 |
| Tabela 2 - Variáveis e Indicadores | 24 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Formulação do Problema..... | 1 |
| 1.2 | Justificativa..... | 4 |
| 1.3 | Objetivos..... | 4 |
| 1.3.1 | Geral | 4 |
| 1.3.2 | Específicos..... | 4 |
| 1.4 | Estrutura do Trabalho | 4 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 6 |
| 2.1 | Manutenção: Conceito, características e benefícios | 6 |
| 2.2 | Métodos de manutenção | 8 |
| 2.3 | Sistema de Tratamento de Falhas | 11 |
| 2.3.1 | Breve Conceito de Falhas | 11 |
| 2.3.2 | Classificação das Falhas | 14 |
| 2.3.3 | As causas mais comuns de falha de máquina | 14 |
| 2.3.4 | Curva da Banheira | 18 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 21 |
| 3.1 | Tipo de pesquisa | 21 |
| 3.2 | Materiais e Métodos | 22 |
| 3.3 | Instrumento de coleta de dados | 24 |
| 3.4 | Tabulação de dados | 24 |
| 3.5 | Considerações finais do capítulo | 24 |
| 4 | RESULTADOS | 26 |
| 4.1 | Características da Empresa..... | 26 |
| 4.2 | Descrição do Equipamento..... | 27 |
| 4.3 | Deteção e Análise de Falhas a partir do Sistema de Tratamento de Falhas..... | 29 |
| 4.3.1 | Desalinhamento operacional..... | 32 |
| 4.3.2 | Falta de revestimento na luva de proteção do eixo..... | 33 |
| 4.3.3 | Falta de lubrificação do mancal..... | 34 |
| 4.3.4 | Proteção de partes móveis do mancal inadequada..... | 36 |
| 4.3.5 | Falha do sistema de selagem | 36 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.3.6 | Análise final dos eventos | 38 |
| 4.3.7 | Manutenção Corretiva (remoção do sintoma) | 38 |
| 4.4 | Plano de Ação após Análise da Falha..... | 40 |
| 4.4.1 | Execução do novo projeto da linha de selagem..... | 40 |
| 4.4.2 | Estudo de viabilidade de aplicação de luvas revestidas | 41 |
| 4.4.3 | Aplicação de luvas revestidas..... | 42 |
| 4.4.4 | Regularização da vazão e pressão de trabalho (retirada do jumper). | 43 |
| 4.4.5 | Retorno dos planos de manutenção preditiva | 44 |
| 5 | CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES | 47 |
| 5.1 | Conclusão | 47 |
| 5.2 | Recomendações | 48 |
| | REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA | 49 |
| | ANEXO..... | 52 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Para indústrias com uso intensivo de ativos, a manutenção é importante para sustentar o desempenho confiável de equipamentos e máquinas, segurança, eficiência energética, conformidade regulatória e cobertura de garantia. Além disso, a manutenção preventiva pode ter um impacto significativo nos custos de operação, ao invés de lidar de forma reativa com um problema quando ele ocorre. Almeida (2014, p. 15) afirma que “não somente ao reparo de equipamentos, máquinas, moldes, ferramentas e peças, a manutenção atua também na concepção de projetos, com intuito de obedecer a critérios, a fim de facilitar as manutenções futuras”.

Conforme NBR 5462/1994 *apud* Xenos (1998, p. 18), manutenção define-se como “a combinação de 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”, ou seja, cuidar para que um equipamento mantenha seu desempenho e funções ao qual foi projetado inicialmente.

Dessa forma, conforme Xenos (1998, p. 19),

a manutenção é a chave para reduzir custos, tempo e inatividade do equipamento, melhorar a vida útil e a eficiência dos ativos e aumentar a segurança no local de trabalho. Ela é crucial para qualquer empresa que busca reduzir os custos e para evitar que acidentes ou falhas de equipamento ocorram antes que aconteçam.

Essas falhas de equipamento referem-se a qualquer evento em que qualquer equipamento não consiga cumprir sua finalidade ou tarefa pretendida. Também pode significar que, conforme Kardec e Nascif (2009, p. 50), “o equipamento parou de funcionar, não está funcionando como desejado ou não está atendendo às expectativas”.

Ainda segundo Kardec e Nascif (2009, p. 50), “a falha do equipamento leva à perda de disponibilidade do ativo, desvio do procedimento padrão, não cumprimento da qualidade e quantidade esperada, perda de tempo, trabalho e dinheiro e perda do sistema integrado”. A falha do equipamento pode ser evitada ou reduzida por meio de gerenciamento de manutenção adequado, inspeção, localização oportuna de problemas, retificação de problemas e reparo.

Vários são os métodos de manutenção existentes, ainda como explica Xenos (1998, p.22-25), na tabela 1.

Tabela 1 - Métodos de manutenção e suas características

| MÉTODOS DE MANUTENÇÃO | CARACTERÍSTICAS |
|---------------------------|---|
| Manutenção Corretiva | Feita após a ocorrência da falha. |
| Manutenção Preventiva | Realizada regularmente em uma peça ou equipamento para diminuir a probabilidade de falha. |
| Manutenção Preditiva | Permite otimizar a reforma dos componentes, otimizando a troca de peças e maximizando o intervalo de manutenção; permite uma visão do limite de vida da peça ou componente. |
| Melhoria dos Equipamentos | Permite a melhora gradativa e contínua dos equipamentos para além de suas especificações originais. |
| Prevenção de Manutenção | Consiste em atividades, junto com o fabricante, que visam minimizar o volume de demandas de manutenção durante a operação. |
| Manutenção Produtiva | Visa a otimização de fatores econômicos da produção, garantindo maior e melhor produtividade e utilização dos equipamentos e com um custo reduzido. |

Fonte: Xenos (1998).

Quando se fala em Sistema de Tratamento de Falhas, pode-se afirmar que é, fundamentalmente, uma estrutura formal de gerenciamento de informações sobre falhas e das ações subsequentes, conforme figura 1.

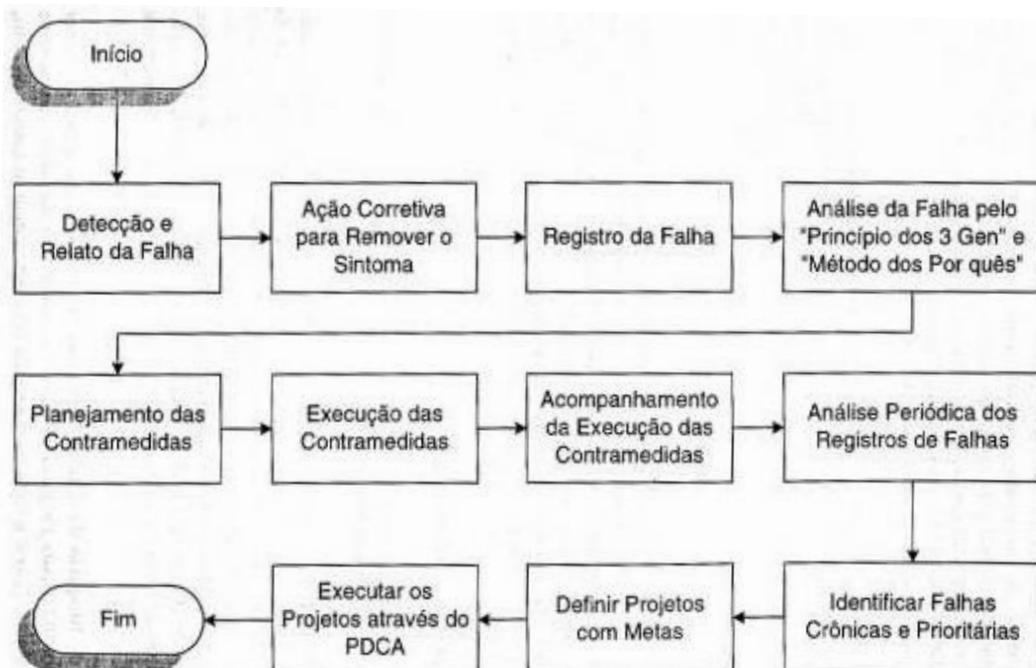


Figura 1 - Sistema de Tratamento de Falhas

Fonte: Xenos (1998)

Com base no sistema de tratamento de falhas, ilustrado na Figura 1 (evidenciar o 5W1H) são destacadas as seguintes etapas: detecção e relato da falha; ação corretiva para remover o sintoma; registro e análise das falhas para identificar suas causas fundamentais; planejamento e execução das contramedidas para bloquear as causas fundamentais; acompanhamento da execução das contramedidas; análise periódica dos registros de falhas para identificar falhas crônicas e prioritárias e definir projetos com metas; e execução dos projetos através do Ciclo PDCA de Solução de Problemas” conforme XENOS (1998, p. 84).

Portanto, segundo Xenos (1998), com a investigação cuidadosa desses aspectos, é possível uma redução drástica dos tempos de reparo dos equipamentos, minimizando o processo de interrupção da produção. O Procedimento Operacional Padrão (POP) é um dos principais documentos utilizados nas ações corretivas imediatas, que visa localizar as falhas para remoção e instalação de componentes, como motores, bombas e redutores, e para a montagem e desmontagem dos equipamentos ou parte deles.

Sabe-se que a principal tarefa dos serviços de manutenção em mineração é garantir o funcionamento contínuo dos equipamentos e máquinas. O efeito mensurável dessas ações deve ser a redução dos custos de manutenção desses equipamentos e, conseqüentemente, a redução dos custos de produção. Dessa forma, para efeito de aplicação, foi escolhido o rolamento do lado oposto ao acionamento (LOA), um componente da bomba de polpa de alimentação de um moinho de bolas de uma empresa de mineração, para realização de um sistema de tratamento de falhas, evitando assim, um ciclo de falhas.

A bomba de polpa é um dos equipamentos mais utilizados em empresas de mineração, responsável por direcionar o minério e a água para um moinho de bolas primário, onde há cominuição do material. Assim, foi observado que a bomba apresentava danos como barulho anormal com emissão de fumaça, com indícios de falha no rolamento LOA. A partir do problema observado, surgiu a proposta de utilizar o Sistema de Tratamento de Falhas como metodologia de contribuição para a análise da falha.

Diante do contexto apresentado, tem-se a seguinte problemática:

Como o Sistema de Tratamento de Falha pode contribuir na análise de falhas em um rolamento de uma bomba de polpa alimentadora de um moinho de bolas em uma empresa mineradora?

1.2 Justificativa

Cada vez mais as fábricas estão se tornando complexas e automatizadas, com um volume alto de produção e conseqüentemente as exigências por qualidade também estão crescentes. Com isso, mesmo as pequenas interrupções da produção, com parte da equipe perdendo grande tempo concentrada nas falhas de equipamentos, a manutenção torna-se indispensável à produção e pode ser considerada como a base de toda atividade industrial (XENOS, 1998).

Este estudo justifica-se pela importância do sistema de tratamento de falhas no diagnóstico da bomba de polpa de alimentação de um moinho de bolas de uma empresa de mineração. Com a análise de falhas, será possível minimizar a duração de interrupção do equipamento, bem como aumentando a melhoria e confiabilidade do equipamento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Um estudo para, através do Sistema de Tratamento de Falhas, detecção de falhas do rolamento do lado oposto ao acionamento (LOA), de uma bomba de polpa de alimentação de um moinho de uma empresa de mineração.

1.3.2 Específicos

- Apresentar os principais conceitos sobre: Manutenção, Métodos de Manutenção e Sistema de Tratamento de Falhas
- Elaborar um procedimento metodológico para possibilitar a aplicação do estudo;
- Elaborar um plano de ação adaptado no 5W1H;
- Aplicar as etapas do Sistema de Tratamento de Falhas do rolamento (LOA) da bomba de polpa como forma de contribuição para análise da falha;

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado com base nos fundamentos dos teóricos: Almeida (2014), Xenos (1998), Kardec (2009), Belmonte e Scandelari (2005), entre outros, bem como a norma NBR 5462/1994, que define os termos relacionados com a confiabilidade e manutenibilidade.

No primeiro capítulo, será descrito um breve conceito sobre manutenção e sua importância para a produção. Será abordado também sobre os Métodos de Manutenção e o Sistema de Tratamento de Falhas e suas características, bem como um breve conceito de falhas, sua classificação, causas mais comuns de falha de máquina e a relação entre esforço e resistência. Ainda no primeiro capítulo, será abordado os modelos de falhas, exemplificando a curva da banheira.

No segundo capítulo, será apresentado a importância do Procedimento Operacional Padrão (POP), um documento utilizado nas ações corretivas imediatas, que visa localizar as falhas para remoção e instalação de componentes.

No terceiro capítulo, será discorrido sobre o Fluxo de Sistema de Falhas e Plano de Ação com base nos 5W1H, para que se evite o ciclo de falhas.

Como conclusão, buscará responder sobre a problemática levantada de como o Sistema de Tratamento de Falhas pode contribuir na análise de falha do equipamento estudado - a bomba de polpa - utilizado na empresa de mineração.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manutenção: Conceito, características e benefícios

Em muitas instalações de produção, segundo Almeida (2014), desde a produção de alimentos até a produção de peças, a quebra de uma máquina pode significar uma perda séria de produtividade e, eventualmente, lucros. Quando uma máquina quebra por falta de manutenção do equipamento, ela não consegue mais produzir o produto que a empresa comercializa, levando à perda de vendas, entre vários outros prejuízos.

Ainda segundo Almeida (2014, p. 15), pode-se entender manutenção como “o conjunto de cuidados e procedimentos técnicos necessários ao bom funcionamento e também ao reparo de máquinas, equipamentos, peças, moldes e ferramentas”. A derivação da palavra é do latim *manus tenere*, que significa “manter o que se tem”.

Não somente em equipamentos e máquinas, a manutenção atua também na criação de um projeto, com o foco de acompanhar e obedecer aos critérios, a fim de contribuir para o bom funcionamento e facilidade nos serviços de manutenção futuras (ALMEIDA, 2014).

Xenos (1998, p. 18), afirma que as atividades de manutenção existem para:

Evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso. Esta degradação se manifesta de diversas formas, desde a aparência externa ruim dos equipamentos até perdas de desempenho e paradas da produção, fabricação de produtos de má qualidade e poluição ambiental.

Em um sentido mais amplo, Xenos (1998, p. 18), afirma ainda que “a manutenção também deve envolver a modificação das condições originais do equipamento através da introdução de melhorias para evitar a ocorrência ou reincidência de falhas”.

Para Levitt (2010), o objetivo principal da manutenção é manter a produção e outros equipamentos operacionais e prevenir ou minimizar interrupções causadas por convencionais e não convencionais falhas. Essas interrupções causam custos financeiros inesperados, seja para sua remoção ou devido a interrupção da produção planejada (LEVITT, 2010).

Já para Gross (2008), o objetivo da manutenção eficaz é reduzir as indesejáveis anomalias e acidentes inesperados, ou seja, a chamada manutenção reativa, e para substituí-los por tempos de inatividade planejados, a chamada manutenção preventiva. Quando se faz a manutenção correta do equipamento de produção, reduz as falhas e aumenta sua produtividade (GROSS, 2008).

Em um cenário de mudanças rápidas, de tecnologia avançada, a manutenção em máquinas e equipamentos tornou-se uma medida estratégica e indispensável à produção, como afirma Santos *et al* (2007).

Muitos são os benefícios e vantagens quando se fala em manutenção. Com a melhoria da manutenção há uma redução de custos, aumentando a produtividade, promovendo maior produtividade, tornando o equipamento mais confiável e disponível. Isso aumenta a competitividade para a empresa (MENDES e RIBEIRO, 2011).

Dessa forma, quando a manutenção é usada adequadamente, essa minimiza a quantidade de falhas durante a operação, traz confiança, reduzindo o tempo gasto com parada da máquina, aumentando sua produtividade e qualidade (SLACK *et al*, 2006).

Para Palady (1997), dentre as vantagens da manutenção, é que ela previne os modos de falha dos equipamentos antes mesmo que eles ocorram, servindo para o auxílio para o desenvolvimento de novos projetos eficazes de manutenção preventiva e previsão rápida de problemas.

Lu *et al* (2021), concordam que uma das vantagens de se fazer a manutenção em equipamentos é que durante a produção, o funcionamento contínuo da máquina aumenta a probabilidade de falha, e com o planejamento de manutenção é possível ir eliminando as falhas.

Outro benefício apontado, é a diminuição dos desperdícios de tempo, mão de obra e materiais. Quando se faz uma correta e preventiva manutenção, os resultados são satisfatórios. Além do que, toda a linha de produção da empresa depende do bom funcionamento dessas máquinas, o que mantêm o volume de produção dentro do que foi planejado (VIANA, 2002).

Para Almeida (2014, p. 18), “as vantagens da manutenção são: equilíbrio da utilização de recursos humanos; eliminação de tempo de espera para aquisição de peças; bom funcionamento dos equipamentos, o que traz confiabilidade nas entregas da produção; cliente satisfeito; gestão ambiental”.

Portanto, as vantagens e benefícios da manutenção são inúmeros, uma delas, conforme defende Xenos (1998, p. 19), é o “aumento significativo da produtividade através da redução dos custos de manutenção”, e mais “qualquer degradação das condições físicas do equipamento poderá afetar seu desempenho, sua produtividade e a qualidade dos produtos e serviços da empresa”.

2.2 Métodos de manutenção

Existem diversas maneiras de classificação dos métodos de manutenção entre vários teóricos, que serão demonstrados e detalhados individualmente, conforme mostra a figura 2.

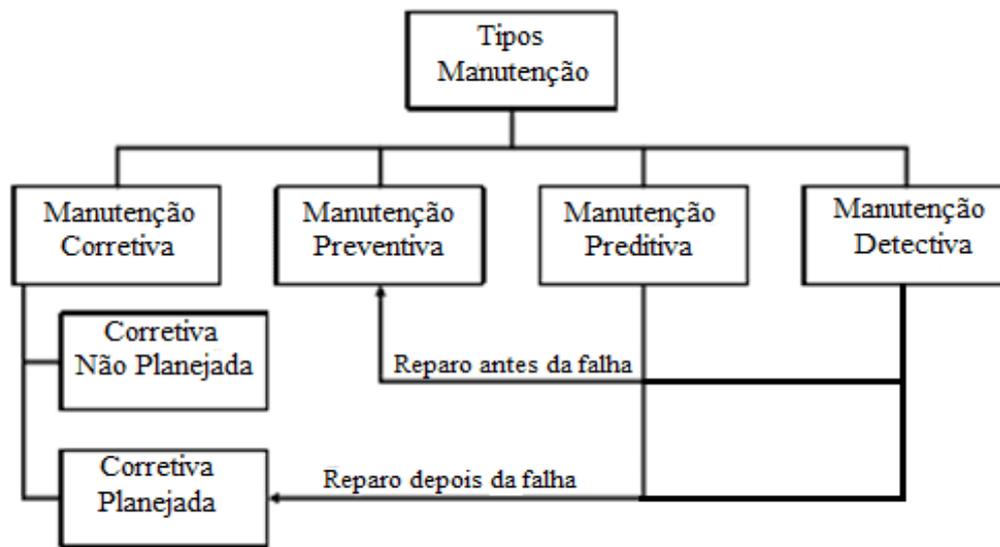


Figura 2 - Tipos de manutenção.
Fonte: Xenos (1998)

A manutenção preventiva envolve tomar as precauções e ações necessárias para evitar que acidentes ou falhas de equipamento ocorram antes que eles aconteçam. Seu objetivo é prevenir a falha do equipamento antes que ela ocorra e reduzir o risco de acidentes (ALMEIDA, 2014).

Xenos (1998, p. 24), defende que:

A manutenção preventiva, feita periodicamente, deve ser a atividade principal de manutenção em qualquer empresa. Na verdade, a manutenção preventiva é o coração das atividades de manutenção. Ela envolve algumas tarefas sistemáticas, tais como as inspeções, reformas e trocas de peças, principalmente. Uma vez estabelecida, a manutenção preventiva deve ter caráter obrigatório.

O teórico Pallerosi (2007) afirma que a manutenção preventiva, é a manutenção realizada regularmente em uma peça do equipamento para diminuir a probabilidade de falha. É a manutenção de rotina programada com base em informações de dados. Uma tarefa de manutenção preventiva é realizada enquanto o equipamento ainda está funcionando para que ele não quebre inesperadamente e crie tempo de inatividade não planejado.

Para Viana (2002), quando a empresa escolhe fazer a manutenção preventiva em seus equipamentos, traz qualidade para a manutenção, enquanto que para Garcia (2006), a

manutenção preventiva é classificada como moderna, se iniciando com o advento da aviação comercial, sendo, na época, o salto principal da qualidade de manutenção.

Afirma ainda Garcia (2006), que a manutenção moderna busca monitorar constantemente os equipamentos, com o objetivo de prever as falhas e controlar as paradas dos equipamentos.

Uma desvantagem da manutenção preventiva é enfatizada pelos autores Pinto e Xavier *apud* Garcia (2006). Segundo eles, para se utilizar a manutenção preventiva, faz-se necessário paralisar o processo de produção, o que gera impacto na produção. Outro fator negativo seria a introdução de defeitos e falhas não existentes nas máquinas, devido às falhas humanas, nos sobressalentes e dos procedimentos de manutenção.

Em resumo, uma empresa pode enfrentar certos riscos quando se trata de segurança de clientes e funcionários, operação e segurança de equipamentos e manutenção de propriedade, entre outras áreas. Portanto, tomar medidas regulares de manutenção preventiva garantirá que a empresa esteja protegida contra riscos e acidentes substanciais, mantendo intactos seus objetivos de negócios e de segurança.

Segundo Almeida (2014, p. 16), “a manutenção corretiva é a categoria de tarefas de manutenção que são realizadas para retificar e reparar sistemas e equipamentos defeituosos, com objetivo de restaurar sistemas que quebraram. Ela pode ser sinônimo de avaria ou manutenção reativa”.

Seus pedidos são normalmente iniciados quando um problema adicional é descoberto durante uma ordem de serviço. Por exemplo, se um técnico de manutenção detectar um problema durante um reparo de emergência, como parte de uma inspeção de rotina ou no processo de realização de manutenção preventiva, esse problema pode se transformar em uma ordem de manutenção corretiva. Diante disso, a tarefa de manutenção corretiva é então planejada e agendada para um momento futuro que será reparado, restaurado ou substituído conforme necessário (PALLEROSI, 2007).

A manutenção corretiva pode ser não planejada - realizada após uma falha não esperada na máquina ou equipamento - e a planejada, quando detecta-se o baixo desempenho do equipamento e a correção é feita de forma planejada (PINTO e XAVIER *apud* GARCIA, 2006).

Do ponto de vista de Xenos (1998, p. 23), “a manutenção corretiva é sempre feita depois da ocorrência da falha, levando em conta os fatores econômicos”. O autor ainda questiona se “é mais barato consertar uma falha do que tomar ações preventivas?”

Caso seja, a manutenção corretiva é uma excelente opção. Não esquecendo também das perdas por eventuais paradas do equipamento, pois poderá sair muito caro o resultado da produção.

Quanto à manutenção preditiva, ainda Xenos (1998, p. 24), menciona,

ser uma modalidade mais onerosa, olhando pelo prisma de custos, pois os componentes e peças dos equipamentos são reformados ou mesmo trocados antes sequer de atingirem seus limites de vida. Esse tipo de manutenção permite otimizar a remoção das peças, troca ou reforma dos componentes, estendendo o intervalo de manutenção e permitindo prever o tempo de vida das peças ou componentes.

Idealmente, segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção preditiva permite que a frequência de manutenção seja a mais baixa possível, pois usa dados históricos e em tempo real de várias partes de sua operação para prever os problemas antes que eles aconteçam.

Quando a manutenção preditiva está funcionando efetivamente como uma estratégia de manutenção, ela só é realizada nas máquinas ou equipamentos quando é necessária. Ou seja, pouco antes de ocorrer a falha. Isso traz várias economias de custo (KARDEC e NASCIF, 2009).

De acordo com Almeida (2014) o tipo de equipamento ou máquina e a coleta de dados, é determinada a periodicidade das inspeções, de modo a manter o equipamento em condições normais de funcionamento sem que o defeito possa interferir na qualidade e principalmente na operação segura da máquina ou do equipamento.

Dessa forma, “as informações recolhidas são registradas em uma ficha, possibilitando ao responsável pela manutenção preditiva tê-las em mãos para o planejamento e execução de intervenções” (ALMEIDA, 2014, p. 23).

Almeida (2014, p. 25) ainda descreve sobre outro tipo importante de manutenção, a produtiva:

Foi desenvolvido o conceito de manutenção produtiva total, conhecido pela sigla TPM, que abrange programas de manutenção preventiva e preditiva, além de incluir um programa de treinamento para os operadores, que passam a auxiliar no monitoramento da máquina no exercício das atividades (prática de manutenção preditiva) e executam operações de manutenção que não exigem muito domínio, como troca de filtro de óleo – prática da manutenção preventiva.

Cinco são os pilares da produção produtiva sobre os quais é construído um programa de TPM, envolvendo toda a empresa com a finalidade de alcance de metas, como zero de defeitos, zero de falhas, lucratividade e potencialidade do equipamento. Esses pilares são: eficiência; autorreparo; planejamento; treinamento e ciclo de vida (ALMEIDA, 2014).

Conforme Almeida (2014), esses pilares têm como base os seguintes princípios:

- Operações de manutenção preditiva e preventiva, aumentando a eficiência do equipamento;
- Criação de um programa de operações básicas de manutenção para serem executadas pelos operadores;
- Estabelecimento de cronograma de atividades para evitar paradas imprevistas;
- Criação e um programa de treinamento para capacitação dos operadores e mecânicos;
- Implantação de um sistema de gerenciamento do equipamento.

Para Xenos (1988, p. 28), também tem como princípios que “somente as ações do departamento de manutenção serão insuficientes para melhorar o desempenho dos equipamentos e busca a estreita cooperação com outros departamentos da empresa”.

Diante do exposto, pode-se dizer que a manutenção produtiva tem como base principal a prevenção na fonte, isto é, identificar e eliminar a fonte de deterioração do equipamento ao invés da abordagem tradicional de deixar o equipamento ou máquina falhar para então repará-lo, ou realizar manutenção preditiva e preventiva para identificar reparos no equipamento antes da deterioração ocorrer e causar a necessidade de reparos de alto custo para a empresa (WICKRAMASINGHE e PERERA, 2016).

Por fim, existem diferentes tipos de estratégias de manutenção, pois existem também diferentes tipos de ativos. Máquinas diferentes quebram por motivos diferentes e de maneiras também diferentes, por isso existem tantos métodos.

2.3 Sistema de Tratamento de Falhas

2.3.1 Breve Conceito de Falhas

Falha de máquina, ou falha de equipamento, é qualquer evento em que uma peça de maquinário industrial tenha um desempenho inferior, total ou parcialmente, ou deixe de

funcionar da forma pretendida. O termo “falha de máquina” pode abranger diferentes cenários e níveis de gravidade (NORTON, 2013).

De acordo com a NBR 5462/1994 *apud* Xenos (1998, p. 67), falha caracteriza-se “pela incapacidade de um item em desempenha uma função requerida”. Estabelece ainda a diferença entre quebra e falha – a primeira como um “estado” e a segunda como um “evento”. Ou seja, pode-se deparar com um tipo de evento de uma falha, sem, contudo, impedir o funcionamento da máquina.

Uma falha, neste contexto, não são apenas aqueles problemas críticos que interrompem totalmente a produção, mas também incluem qualquer perda de utilidade dentro de uma máquina. O limite de tolerância para falha da máquina irá variar com base nas circunstâncias, uma vez que todos os sistemas degradam e perdem eficácia de uma forma ou de outra ao longo do tempo. Mesmo perdas menores de utilidade percebidas podem levar a um grande desperdício de recursos em grande escala (XENOS, 1998).

Conforme Callister (2008, p. 130),

A falha de materiais de engenharia é quase sempre um evento indesejável por vários motivos: vidas humanas que são colocadas em perigo, perdas econômicas, e a interferência na disponibilidade de produtos ou serviços. Embora as causas da falha e comportamento de materiais possam ser conhecidas, a prevenção de falhas é uma condição difícil de ser garantida. As causas usuais são a seleção e o processamento dos materiais de uma maneira não apropriada, e o projeto inadequado do componente ou sua má utilização. É uma das responsabilidades do engenheiro antecipar e planejar considerando possíveis falhas e, no caso de uma falha de fato ocorrer, avaliar a sua causa e então tomar as medidas de prevenção apropriadas para futuros incidentes (CALLISTER, 2008, p. 130).

Para Xenos (1998, p. 67), existem duas condições extremas possíveis para um equipamento:

Ele pode estar em perfeitas condições de funcionamento ou completamente quebrado. Entretanto, ele pode estar funcionando numa velocidade menor do que quando era novo ou estar produzindo produtos defeituosos. Dependendo das funções exigidas do equipamento, estas condições intermediárias podem ou não ser vistas como falha do equipamento. Dessa forma, as falhas devem estar sempre associadas a parâmetros mensuráveis ou indicações claras, para que os critérios de falha não sejam ambíguos (XENOS, 1998, p. 67).

Como afirma Siqueira (2005), a falha define-se pela incapacidade de uma máquina ou equipamento de exercer suas funções, podendo ser divididas em vários fatores: extensão,

origem, manifestação, velocidade, idade ou criticidade, conforme demonstra a figura 3, adotada pela Manutenção Centrada na Confiabilidade.

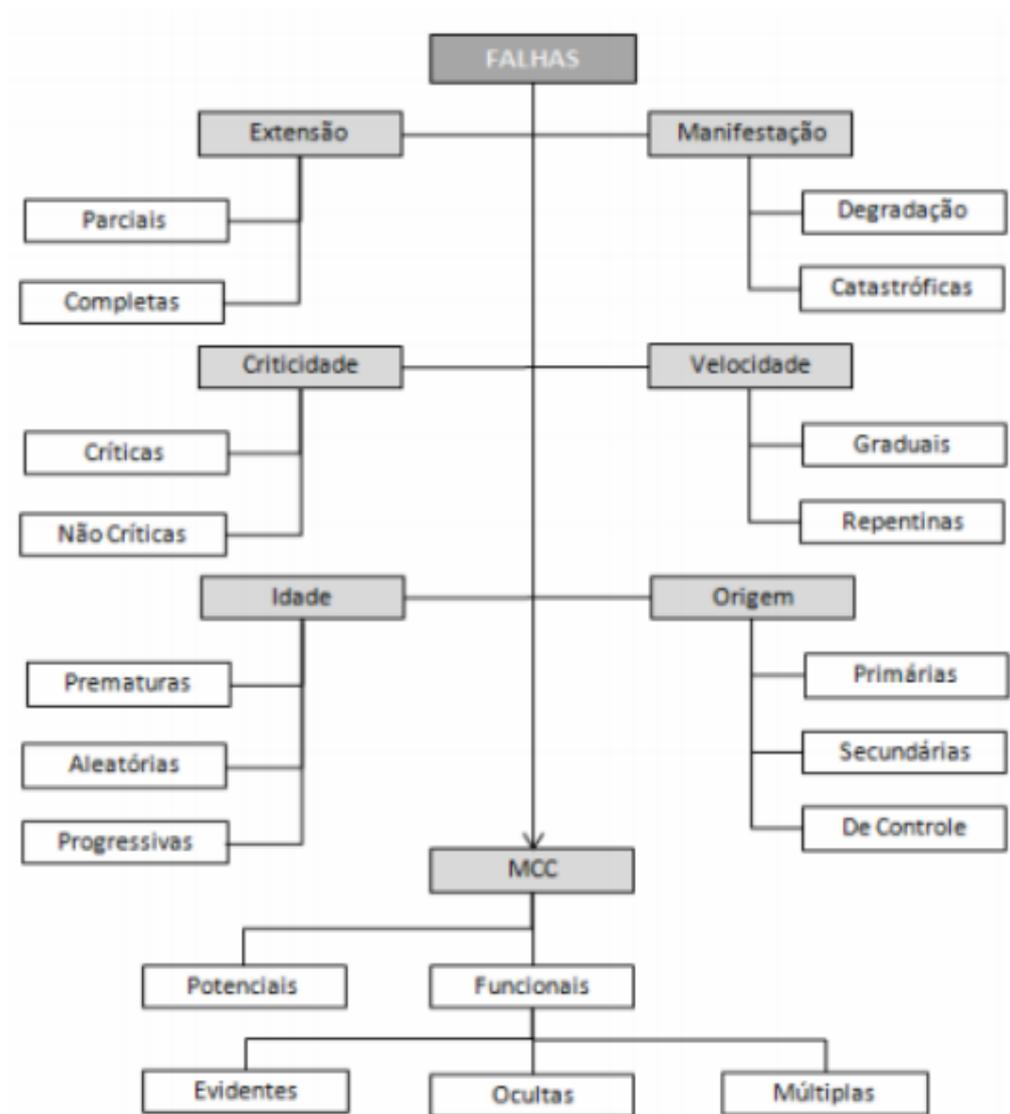


Figura 3 - Classificação das falhas
Fonte: Siqueira (2005)

Falha do equipamento acontece. O impacto disso pode variar desde facilmente corrigido com perdas mínimas até catastrófico, dependendo de fatores como custos de reparo, tempo total de inatividade, implicações de saúde e segurança e impacto na produção e entrega de serviços (SIQUEIRA, 2005).

2.3.2 Classificação das Falhas

A falha da máquina é um espectro, e muitas falhas não podem ser atribuídas a um momento específico. Enquanto alguns são falhas aparentes que tornam o equipamento extinto, outros insidiosamente aumentam, enquanto outros ainda drenam a eficácia quanto mais tempo ficam sem manutenção (PEREIRA, 2009).

Segundo Pereira (2009), existem três classificações principais de falha da máquina. A Falha Súbita, que acontece quando a linha de produção está em funcionamento e uma falha inesperada, mas óbvia, acontece. Acontecimentos como uma ferramenta quebrada, banda quebrada, fio derretido, etc., se enquadram nesta categoria.

Outra falha é a Intermitente, como um motor crepitante na linha de produção. O equipamento é reiniciado, continua funcionando como planejado por mais um tempo, embora começa a falhar novamente. Falhas intermitentes vêm e vão, geralmente em direção a uma falha total da máquina. Essas falhas esporádicas ou aleatórias podem, por sua natureza, ser difíceis de identificar. Falhas intermitentes podem frequentemente ser evitadas com manutenção (PEREIRA, 2009).

Segundo Pereira (2009), a Falha Gradual são as falhas que podem ser identificadas com o tempo, à medida que a utilidade de uma máquina diminui continuamente. Isso inclui casos como uma correia que está se desfazendo lentamente, lâminas que ficam mais cegas, canos que eventualmente entopem com o acúmulo de resíduos. A maioria das falhas graduais pode ser evitada por meio de manutenção regular, munida de uma compreensão da vida útil esperada das peças disponíveis.

2.3.3 As causas mais comuns de falha de máquina

O fracasso começa em algum lugar. Para Xenos (1998, p. 68) existem muitas causas possíveis para as falhas nos equipamentos que são: falta de resistência, uso inadequado ou manutenção inadequada. Quando identificadas essas causas mais frequentes de falha da máquina, podem ser usadas para analisar, preparar e prevenir ocorrências futuras de mau funcionamento.

Xenos (1998) define a falta de resistência como uma característica do próprio equipamento e resulta de deficiências de projeto, falha de rolamento, fadiga de metal,

corrosão, desalinhamento e degradação geral da superfície, ou mesmo erros na especificação de materiais, ineficiência na fabricação e montagem do equipamento; o uso inadequado como uma aplicação de esforços que estão fora da capacidade do equipamento, podendo resultar em erros durante a operação. Se os operadores são pressionados tanto quanto os equipamentos e as metas de produção são tão rígidas, que eles sentem que não podem parar a produção, ou para resolver um problema com segurança e conclusão, então as falhas são inevitáveis.

Como manutenção inadequada, ainda Xenos (1998) ressalta que as ações preventivas com a finalidade de evitar que o equipamento se deteriore, são pouco suficientes ou não estão sendo tomadas corretamente. Isso aponta para pouca manutenção, e se for muito frequente, pode levar a falha da máquina. A manutenção que ocorre com pouca frequência pode deixar os problemas passarem despercebidos, o que pode levar a um ciclo vicioso de falhas.

Na Relação entre Esforço e Resistência, Xenos (1998) afirma que os equipamentos e máquinas quando iniciam suas operações estão sujeitos a um grande esforço, dependendo da linha de produção, causando deteriorações.

Segundo Xenos (1998, p. 68), “durante o tempo de uso, essas deteriorações vão comprometendo a resistência do equipamento, causando uma falha sempre que os esforços forem acima da capacidade que o equipamento suporta”, conforme demonstra a figura 4.

Ainda na figura 4, tanto a resistência (R) quanto o esforço (E), são variáveis e são representados pelas distribuições estatísticas com base em um valor médio. Levando em consideração as situações que se encontram, na prática, esta é uma consideração realista. Caso não haja sobreposição das distribuições, conseqüentemente não haverá falhas, pois a resistência será maior que o esforço.

Entretanto, à medida que o equipamento sofre desgaste, sua resistência também reduz, podendo haver uma sobreposição das distribuições depois de um intervalo de tempo. Dessa forma, qualquer equipamento que esteja localiza na cauda esquerda da distribuição (R), sujeito a um grande esforço na cauda direita da distribuição (E), apresentará falha no tempo t.

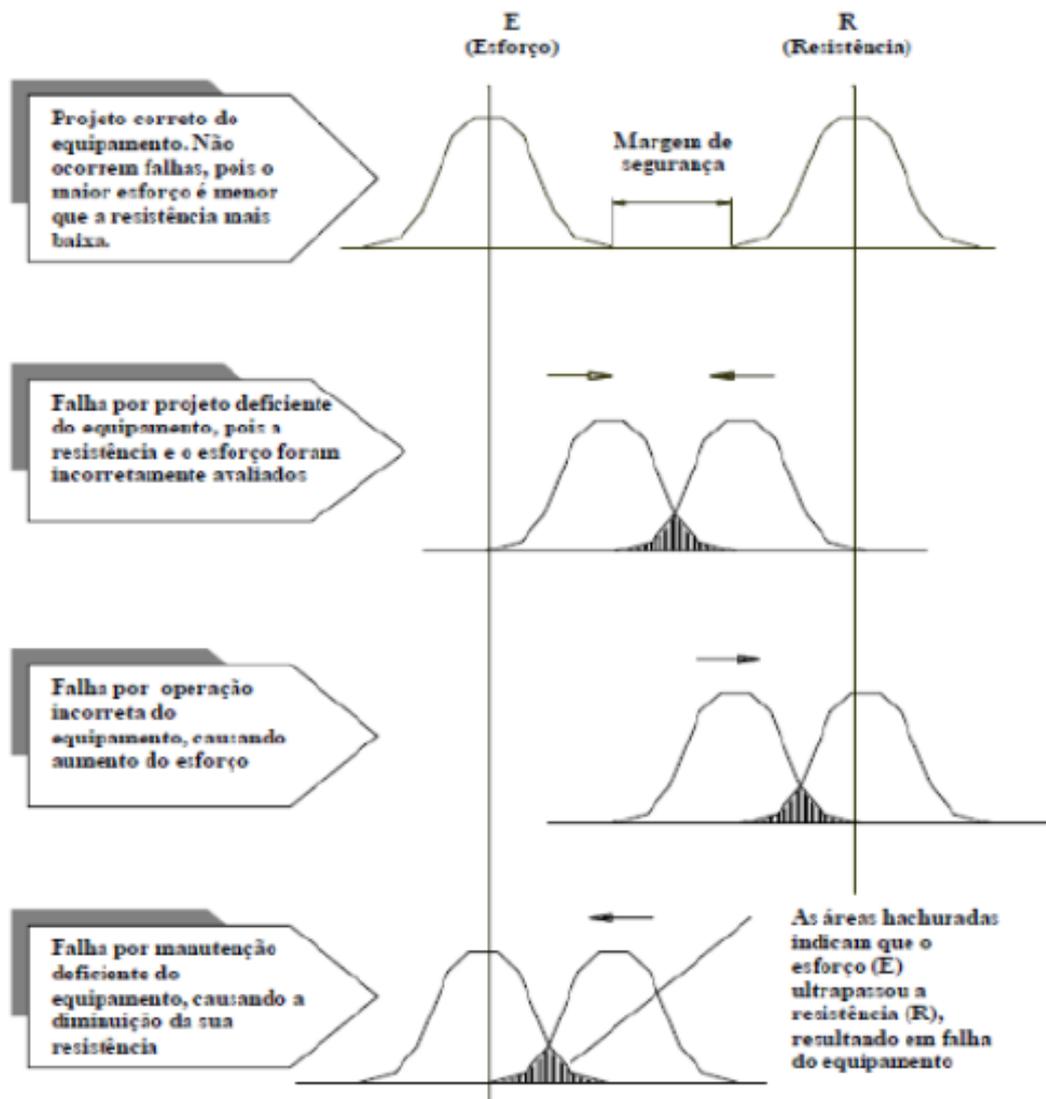


Figura 4 - Relação entre o Esforço e a Resistência
Fonte: Xenos (1998)

Conforme descreve Xenos (1998), e demonstra na figura 5, a frequência de ocorrência de falhas, em uma máquina ou equipamento, varia de três diferentes formas, podendo ser constante, crescente ou decrescente.

A Frequência Constante, conforme define Xenos (1998), é quando as falhas dos equipamentos têm como causa os eventos aleatórios, que resultam em esforços excedendo a resistência do equipamento, por exemplo: sobrecargas acidentais, erros de operação e manutenção constantes, não variando as quantidades de ocorrências à medida que o equipamento envelhece.

Entretanto, a Frequência Crescente ocorre em situação de fadiga de material, desgaste ou corrosão. A ocorrência de falhas pode aumentar à medida que o equipamento envelhece. Várias peças do equipamento vão se comportar dessa forma, principalmente as que se deterioram com o tempo, sujeitas a esforços cíclicos e repetitivos ou aquelas que entram em contato direto com a matéria-prima ou produto final (XENOS, 1998).

Já a Frequência Decrescente, ainda conforme Xenos (1998), é característica de equipamento cuja confiabilidade aumenta com o tempo. Isso implica na substituição dos componentes e peças por outros de maior confiabilidade. Com isso, a frequência de ocorrência de falhas diminui no início da vida útil dos equipamentos, assim que os problemas vão sendo resolvidos.

A combinação dessas três frequências originou um modelo bem típico de falhas – a curva da banheira – em caráter de seu formato característico, conforme mostra a figura 5.

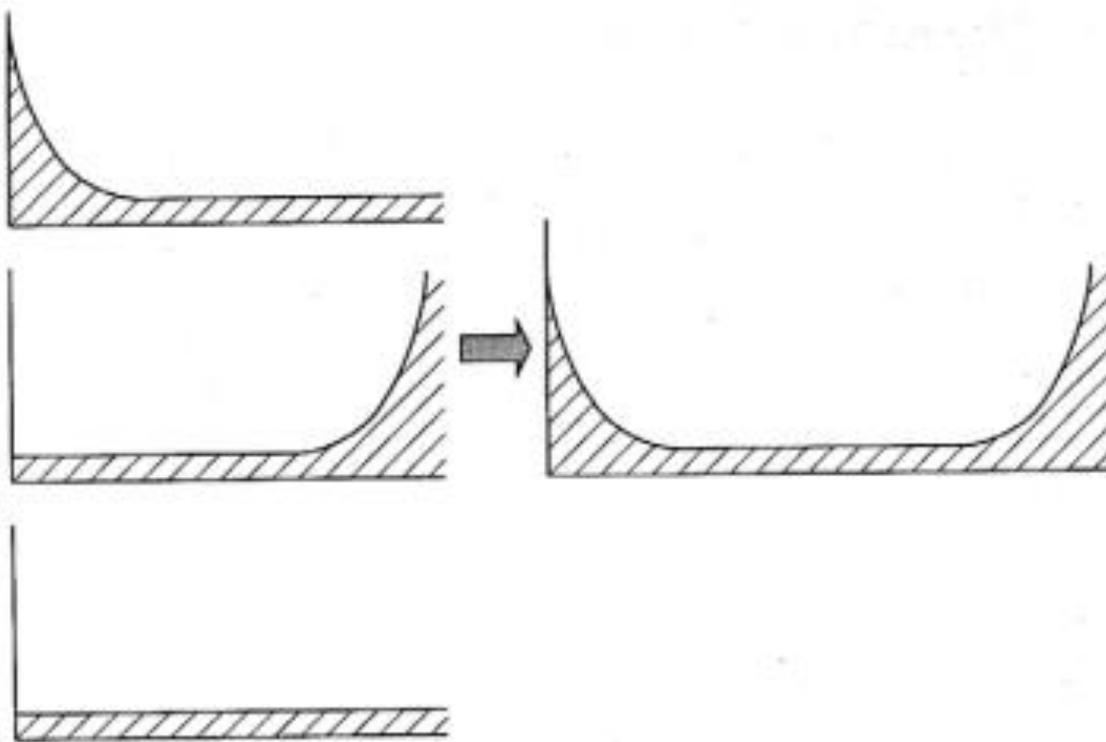


Figura 5 - Modelos de Falhas
Fonte: Xenos (1998)

2.3.4 Curva da Banheira

A curva da banheira, segundo Souza (2011), é um modelo de falha que, no geral, é aceito e representa a combinação de diferentes modelos de falhas. Ela ilustra o comportamento da frequência de ocorrência de falhas em vários tipos de equipamentos. É uma representação visual da taxa de falha de um produto ou grupo de produtos ao longo do tempo, como demonstra figura 6.

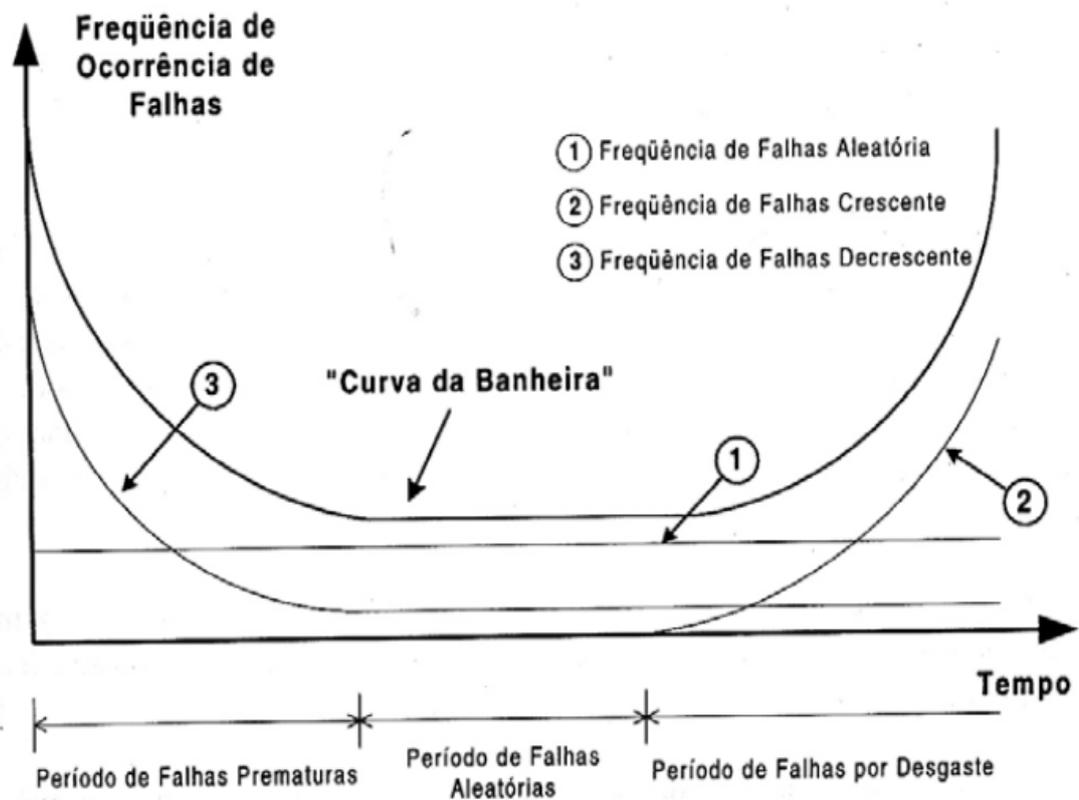


Figura 6 - Curva da Banheira – Combinação dos Modelos de Falhas
Fonte: Xenos (1998)

Segundo Siqueira (2005), ao representar graficamente as ocorrências de falha ao longo do tempo, a curva da banheira mapeia três períodos que um equipamento experimenta durante sua vida útil:

2.3.4.1 Período de mortalidade infantil

O período de mortalidade infantil, também conhecido como período de falha precoce, começa quando um produto é usado pela primeira vez. É um intervalo caracterizado por uma

taxa de falha decrescente, e começa a partir de uma alta ocorrência de falha, diminuindo rapidamente para uma taxa de falha mais baixa e chegando ao platô (SIQUEIRA, 2005).

Siqueira (2005) comenta que as falhas que ocorrem nesse período são geralmente causadas por defeitos de fabricação ou problemas de instalação. Outras causas de eventos de falha neste período podem ser falhas de projeto ou procedimentos de inicialização inadequados.

No período de vida normal, Siqueira (2005) afirma que uma vez que a taxa de falha se estabiliza após o período inicial de operação, a vida normal é ativada. Esta região da curva também é conhecida como o período de vida útil, e os operadores esperam que os equipamentos nela tenham uma taxa de falha relativamente constante. A maioria dos equipamentos passará a maior parte de sua vida operacional nesse estado.

Assumir uma taxa de falha constante também implica que as avarias são devidas a eventos aleatórios. Com o aumento do uso e à medida que os equipamentos sofrem desgastes normais, os eventos de falha se tornam menos aleatórios e mais previsíveis. Isso marca o início do próximo período na curva da banheira (SIQUEIRA, 2005).

Ainda de acordo com Siqueira (2005), os equipamentos se deterioram naturalmente com o tempo. O número de ocorrências de falha que um equipamento experimenta aumenta previsivelmente após um determinado período de uso. A região de desgaste na curva da banheira é caracterizada por esta tendência de aumento da taxa de falhas. Como as taxas de falha aumentam rapidamente antes do final do ciclo de vida de um equipamento, a curva da banheira se inclina acentuadamente para cima. Eventualmente, isso leva à falha total de um equipamento.

A curva da banheira define as expectativas de como um ativo normalmente executa ao longo de seu ciclo de vida. Cada período ao longo da curva sugere estratégias específicas para equipes que trabalham para estender a vida útil de um ativo. Com base na idade e no desempenho de um ativo, certas técnicas de manutenção preditiva podem detectar falhas antes que elas ocorram. Isso é especialmente benéfico para as equipes quando os ativos caem nas regiões da curva com taxas de falha mais altas (SIQUEIRA, 2005).

Dessa forma, faz-se importante uma boa escolha de manutenção das máquinas e equipamentos de produção de uma empresa, pois se esta quebra ou danifica, pode parar toda

uma produção causando perdas em faturamento, funcionários parados, aguardando o conserto da máquina.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi considerado a metodologia explicita no fluxograma abaixo:



Figura 7 - Fluxograma 1: Metodologia da pesquisa.

Fonte: Pesquisa direta (2022)

3.1 Tipo de pesquisa

Estão demonstradas, a seguir, as estratégias metodológicas previstas para a execução da pesquisa, em consonância com as investigações e os objetivos propostos, esclarecendo: o tipo de estudo, a forma de abordagem e os procedimentos técnicos pelos quais os dados foram analisados e discutidos.

Ao notar a abordagem do estudo, apresenta-se a dimensão qualitativa na natureza da pesquisa. Segundo Triviños (1987), a abordagem de cunho qualitativo trabalha os dados buscando seu significado, tendo como base a percepção do fenômeno dentro do seu contexto.

A abordagem qualitativa consoante os estudos elaborados por Goldenberg (1997, p. 34) explica que:

A pesquisa qualitativa não se preocupa com a responsabilidade numérica, mas, sim com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc. Os pesquisadores que adotam a abordagem qualitativa opõem-se ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências, já que as ciências sociais têm sua especificidade, o que pressupõe uma metodologia própria. Assim pesquisadores qualitativos recusam o modelo positivista ao estudo da vida social, uma vez que o pesquisador não pode fazer julgamentos nem permitir que seus preconceitos e crenças contaminem a pesquisa.

No que se refere aos objetivos, esta pesquisa pode ser classificada como exploratória. De acordo com Gil (1999) os estudos exploratórios têm como objetivo principal desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Segundo palavras do autor, o tipo de pesquisa exploratória é aquela com menor grau de planejamento, pois tem como escopo proporcionar uma visão geral, de tipo aproximativo e sua comparação com outros métodos.

Quanto aos procedimentos, será realizada pesquisa bibliográfica conforme conceituado por Lakatos e Marconi (2001, p. 183) “é aquela que abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema estudado, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, materiais cartográficos, etc.”, e sua finalidade é “colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto”.

Para Vergara (2000), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente, de livro e artigos científicos e é importante para o levantamento de informações básicas sobre os aspectos direta e indiretamente ligados à nossa temática.

Será utilizado também, juntamente com a pesquisa bibliográfica, o estudo de caso. Para Hartley, o estudo de caso consiste em uma investigação detalhada de uma ou mais organizações, ou grupos dentro de uma organização, com vistas a prover uma análise do contexto e dos processos envolvidos no fenômeno em estudo.

O fenômeno não está isolado de seu contexto (como nas pesquisas de laboratório), já que o interesse do pesquisador é justamente essa relação entre o fenômeno e seu contexto. A abordagem de estudo de caso não é um método propriamente dito, mas uma estratégia de pesquisa (HARTLEY, 1994).

Apropriado para pesquisadores individuais, o estudo de caso proporciona a oportunidade para que um aspecto de um problema seja estudado em profundidade, dentro de um período de tempo limitado (BELL, 1989).

Assim, o estudo de caso possibilitará ao pesquisador centrar-se em uma situação ou aspecto específico e identificar os diversos processos que interagem no contexto estudado. Esses processos podem permanecer ocultos em pesquisas de larga escala, porém são importantes para o sucesso de organizações ou sistemas (BELL, 1989).

3.2 Materiais e Métodos

O fluxograma ilustra o procedimento metodológico que será usado na pesquisa.

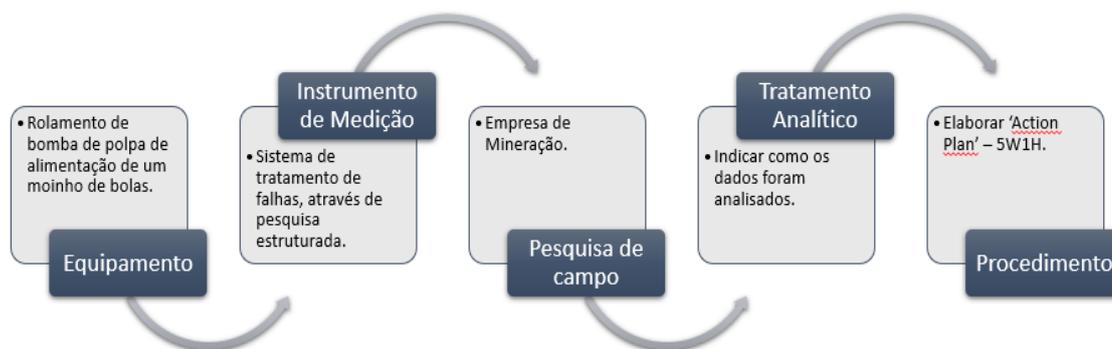


Figura 8 - Fluxograma 2: Procedimento metodológico da pesquisa.
 Fonte: Pesquisa direta (2022).

Para a pesquisa bibliográfica foram selecionadas leituras de teóricos renomados para um confronto com o estudo de caso. O equipamento selecionado para o referido estudo foi o rolamento de bomba de polpa de alimentação de um moinho de bolas, dentro de uma empresa de mineração.

O instrumento de medição utilizado para a detecção do problema do equipamento, ou seja, a bomba de polpa de alimentação, será o Sistema de Tratamento de Falhas. Para isso será escolhida uma empresa de mineração – para a pesquisa de campo – onde será feito o tratamento analítico do referido equipamento, indicando como os dados foram analisados, se houve ou não normalidade, se os testes indicados sustentam os achados de maneira significativa. Dessa forma, diante dos resultados, será elaborado um plano de ação com base nos 5W1H. O mesmo será adaptado de acordo com as evidências disponibilizadas pela organização da empresa para a elaboração do estudo, tais evidências serão demonstradas previamente.

As variáveis são conceitos operacionais para testar hipóteses de forma quantificável. Elas podem ser qualitativas ou quantitativas e devem ser mensuráveis. Ou seja, é tudo que o que assume diferentes valores, desde o ponto de vista qualitativo ou quantitativo. A capacidade de controlar, medir ou estudar uma variável dar-se pelo fato de que varia, sendo que esta variação pode medir, estudar e observar (HERCULANO, 2014).

Já os indicadores, como o nome diz, indicam algo, podendo ser métricas e instrumentos para monitorar e avaliar, ou seja, mostrar se o projeto faz sentido, bem como seus impactos e resultados. Servem também para perceber se os recursos previstos de uma empresa são suficientes e necessários, se as ações estão desenhadas de uma forma correta, se

as metas e ações a serem atingidas demonstram viabilidade. Portanto, ajudam na tomada de decisão de uma empresa pois mede, compara e avalia o programa ou projeto desenvolvido (MENDES, 2020).

Tabela 2 - Variáveis e Indicadores

| Variáveis | Indicadores |
|---------------------------------|--|
| Sistema de Tratamento de Falhas | <ul style="list-style-type: none"> - Conceito de falhas; - Classificação das falhas; - Falha gradual; - Causas mais comuns de falha de máquina; - Manutenção inadequada; - Período de vida normal; - Período de desgaste. |

Fonte: Pesquisa direta (2022).

3.3 Instrumento de coleta de dados

Para a coleta de dados da pesquisa foi utilizado o *software* SAP R3P, *Plant Information Management Systems* (PIMS), *software Microsoft Excel 2016* e Ordens de Manutenção extraídas através do SAP.

3.4 Tabulação de dados

Os resultados coletados foram ordenados e averiguados, por meio de análise dos dados, sendo representados por tabelas, para avaliar o conhecimento sobre Manutenção de Equipamentos e Sistema de Tratamento de Falhas, utilizando programas como *Microsoft Office Word*, *Microsoft Office Excel*, *Microsoft Powerpoint* para apresentar os resultados adquiridos.

3.5 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.

No capítulo seguinte, serão apresentadas as análises dos resultados, como os dados do Sistema de Falhas foram analisados, se houve algum tipo de anormalidade no equipamento

estudado, e a criação de um plano de ação, seguido de discussão confrontando com o referencial teórico.

4 RESULTADOS

O presente trabalho demonstra ferramentas de tratamento de falhas aplicadas em uma bomba de polpa de um moinho de bolas que é um equipamento de atuação importante no tratamento de minérios na mineração.

4.1 Características da Empresa

A empresa onde foi realizada o trabalho é do setor de mineração de extração e beneficiamento de minério de ferro itabirítico, de baixo teor de ferro e elevada canga. Sua mina está localizada no estado de Minas Gerais. A lavra e o beneficiamento deste minério envolvem equipamentos de grande porte como perfuratrizes, pás carregadeiras, escavadeiras, caminhões fora de estrada, britadores de mandíbulas e moinhos de bola.

O minério itabirítico possui baixo teor de ferro, diante disso, devem ser tratados em cinco etapas de beneficiamento que são britagem, moagem, classificação por tamanho, concentração gravítica e flotação. A Figura 9 mostra o fluxograma do processo produtivo de pelotas através do beneficiamento do minério itabirítico.

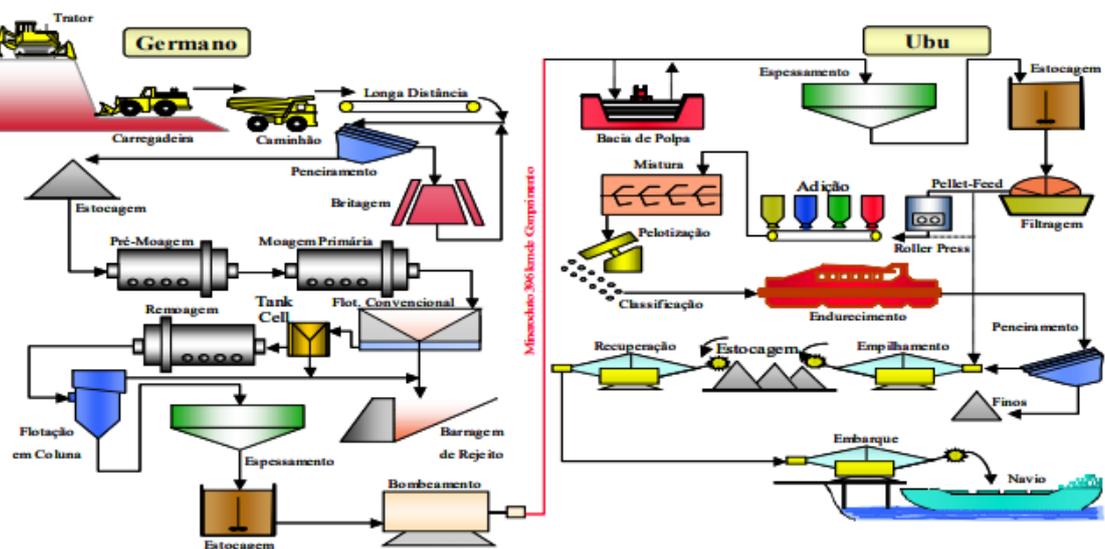


Figura 9 - Fluxograma geral do processo produtivo de pelotas de minério de ferro.
 Fonte: Mapa (2006).

O minério é transportado ao setor de beneficiamento por correia transportadora. A primeira etapa do processo consiste em cominuir o minério através de britadores de mandíbulas. Esse processo auxilia na adequação granulométrica do material para fazer o

transporte até a usina de beneficiamento e concentração, na qual são responsáveis por eliminar a ganga e elevar o teor de ferro no concentrado final.

O material em seguida é transportado até o setor de moagem para realizar a fragmentação do material na faixa de centímetros ao micrômetro. Os moinhos são construídos em forma de cilindros rotativos e utilizam bolas de ferro fundido como corpos moedores.

A concentração do minério é feita pelo processo de flotação. Esse processo ocorre em meio aquoso, na qual consiste na separação seletiva entre as partículas de quartzo (ganga) e os óxidos de ferro. Neste sistema é adicionado amina graxa, onde é adsorvida na superfície do quartzo transformando em partículas hidrofóbicas e são removidos na forma de espuma. O produto final é removido pelo fundo da polpa, sendo obtido o pellet feed, que são partículas com granulometria menores que 0,15mm.

4.2 Descrição do Equipamento

O presente trabalho foi realizado para auxiliar na análise e detecção de falhas em bomba de polpa. As bombas de polpa, Figura 10, foram desenvolvidas para utilização em processo mineral, e são equipamentos capazes de realizar bombeamento de argila, lama, areia na faixa granulométrica de até 2mm (CARVALHO, 1999).

De acordo com Carvalho (1999), os componentes presentes em uma bomba de polpa são:

- Flange de sucção
- Rotor
- Carcaça ou caixa espiral
- Flange de descarga
- Eixo
- Cavalete
- Caixa de óleo
- Rolamentos
- Retentor
- Tampa da caixa de óleo
- Defletor
- Sobreposta ou aperta-gaxetas
- Estojo de gaxetas

- Cadeado hidráulico
- Gaxetas
- Anel de desgaste traseiro
- Chaveta
- Furos de compensação
- Porca do rotor
- Anel de desgaste dianteiro

Apesar de possuir um projeto simples, existem poucos equipamentos na indústria que trabalham sob condições tão severas quanto as bombas de polpa. Seus sistemas são de suma importância para todos os processos úmidos, operando a todo momento sob condições variáveis de teor de sólidos, vazão, pressão, entre outros. A figura 10 mostra os componentes de uma bomba.

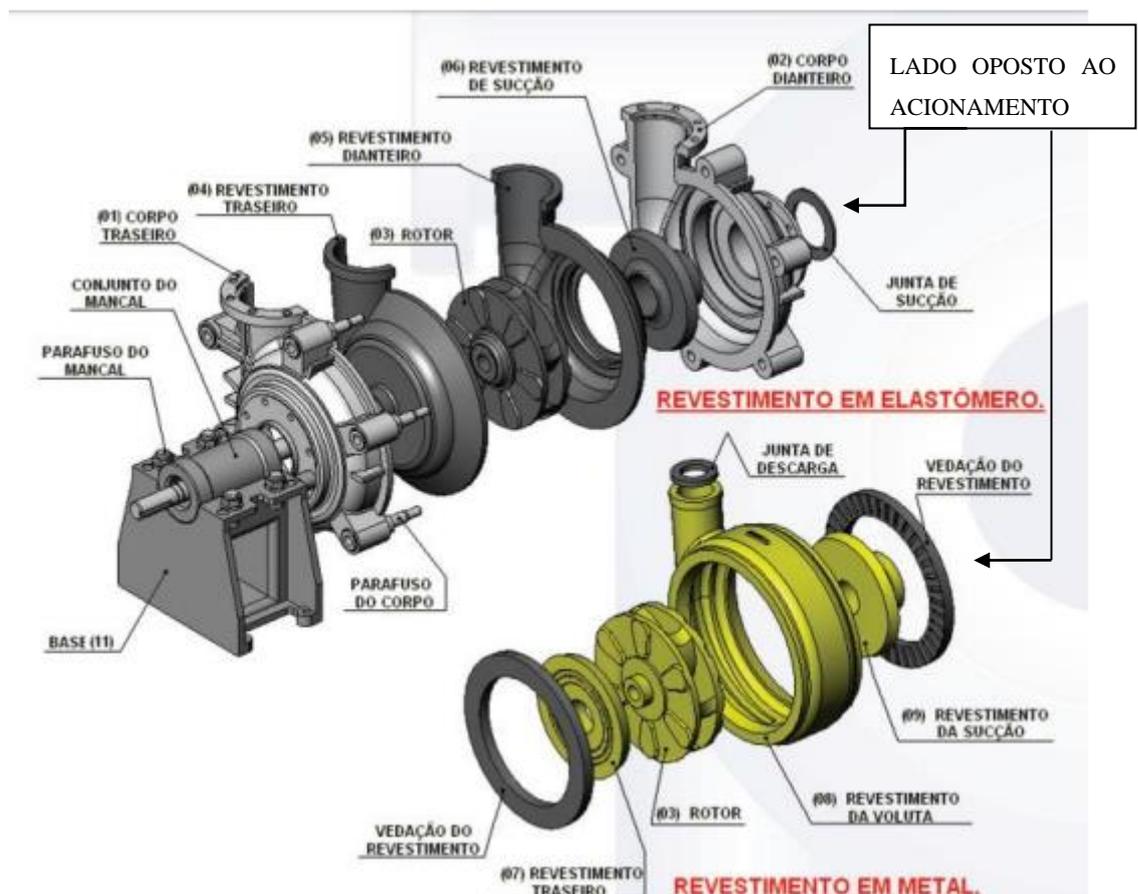


Figura 10 - Componentes de uma bomba.
Fonte: Catálogo de bombas Reval.

O rotor da bomba de polpa é constituído por palhetas por entre as quais o fluido escoava suavemente. O rotor e a carcaça possuem a função de bombear a polpa através da energia cinética que a bomba de polpa produz. A altura manométrica do rotor é definida através do diâmetro do mesmo em qualquer velocidade, quanto maior o diâmetro maior será a altura manométrica alcançada (METSU, 2022).

Para serviços altamente abrasivos é recomendado a utilização de rotores grandes, pois proporcionam maior vida útil e mesmo apresentando eficiência razoáveis em comparação com rotores menores (METSU, 2022).

As carcaças não fornecem energia à polpa, são apenas conversores de energia. A carcaça possui a função de captar a polpa que abandona o rotor dirigindo-o até o bocal de saída, transformando parte da energia cinética em energia de pressão. Através da redução da velocidade de vazão. As carcaças podem ter a forma voluta, semi-voluta e concêntrica. A forma voluta apresenta maior eficiência em conversão de energia e menores cargas radiais. O modelo da carcaça pode ser inteiriço ou bipartido a depender do material da bomba de polpa. A bipartição possui um custo mais elevado a bomba, porém facilita a troca de peças (METSU, 2022).

O engaxamento serve para vedar peças e eixos, além de permitir a saída do fluido em operação. Consiste na compressão de um material dentro do espaço formado pelo eixo e a caixa de vedação da bomba. A gaxeta precisa estar lubrificada e úmida, pois o seu ressecamento pode ocasionar em danos ao eixo ou na luxa eixo (CIMM, 2022).

A luva eixo serve para proteger o eixo e deve ser de material compatível com a polpa bombeada. A luva deve ser mais dura que as gaxetas e composta de material resistente a choques térmicos. A função do eixo é transmitir o torque na partida e durante a operação, e de suportar o impelidor e outras partes rotativas (METSU, 2022).

4.3 Detecção e Análise de Falhas a partir do Sistema de Tratamento de Falhas

Para a realização do estudo, foram coletadas informações sobre a mineradora, dados de operação e manutenção do equipamento, observações sobre todo o processo de beneficiamento de minérios e informações específicas sobre manutenção em bombas, rolamentos e mancais.

Durante a operação do equipamento o operador através de inspeção visual identificou que a bomba de polpa apresentava anormalidade (emissão de fumaça) juntamente com

vazamento de polpa de minério. Imediatamente, solicitou junto à sala de controle a parada do equipamento e, em paralelo, a intervenção da equipe de manutenção corretiva. A equipe de manutenção foi direcionada ao local e após aguardar o conjunto reduzir a temperatura, realizou nova lubrificação na bomba, retornando à operação. Algumas horas depois, a operação realizou nova parada da bomba em virtude do barulho anormal durante o funcionamento com indícios de falha severa no rolamento LOA (lado oposto ao acionamento), além do risco de danos catastróficos ao conjunto de acionamento em caso de travamento da bomba. A figura 11 mostra a situação da bomba antes da parada.



Figura 11 – Situação da bomba antes da parada.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

Após desmontagem do componente, a equipe de manutenção identificou alta sujidade e contaminantes abrasivos no mancal, lubrificação totalmente comprometida e o rolamento LOA avariado, apresentando desgaste externo do anel, ruptura do anel externo (em destaque apresentado na figura 12) e desprendimento dos rolos, como demonstrado nas figuras 12 e 13.

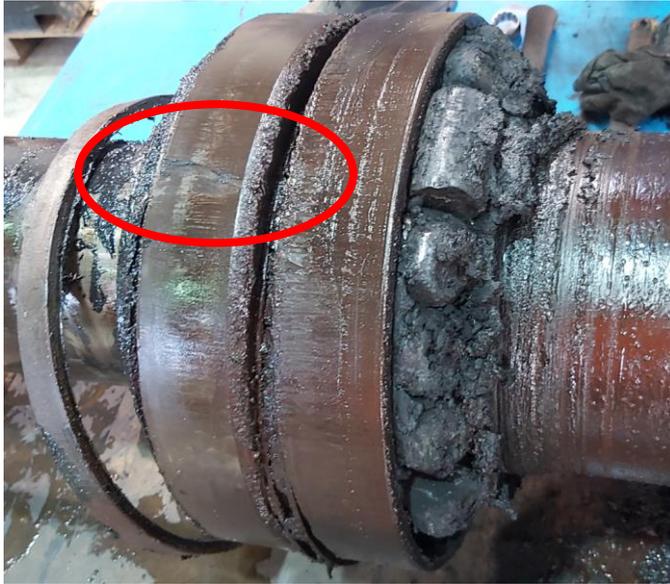


Figura 12 – Condição do rolamento LOA.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

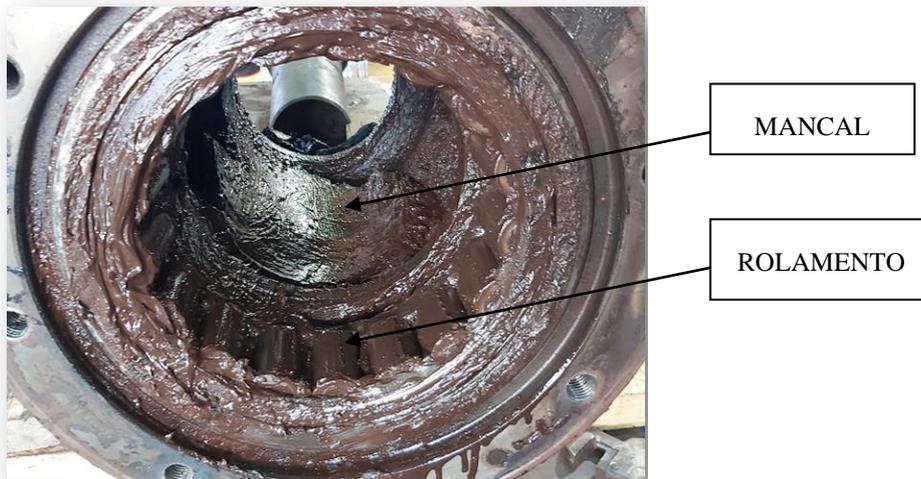


Figura 13 – Contaminação interna do mancal e rolamento LOA.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

A fim de identificar a causa raiz do problema, que ocasionou a quebra do rolamento LOA da bomba, foi utilizado o método de análise Árvore de Falhas, demonstrado na figura 14, uma ferramenta da qualidade que visa encontrar e eliminar causas que podem ter correlação com a falha do equipamento. A equipe de manutenção formada por engenheiros, técnicos, planejamento, mecânicos, eletricitas, inspetores, instrumentistas, lubrificadores, através de reuniões internas da organização, configuraram a seguinte árvore de falha, através do mapeamento de uma gama de eventos com as possíveis causas da falha do componente.

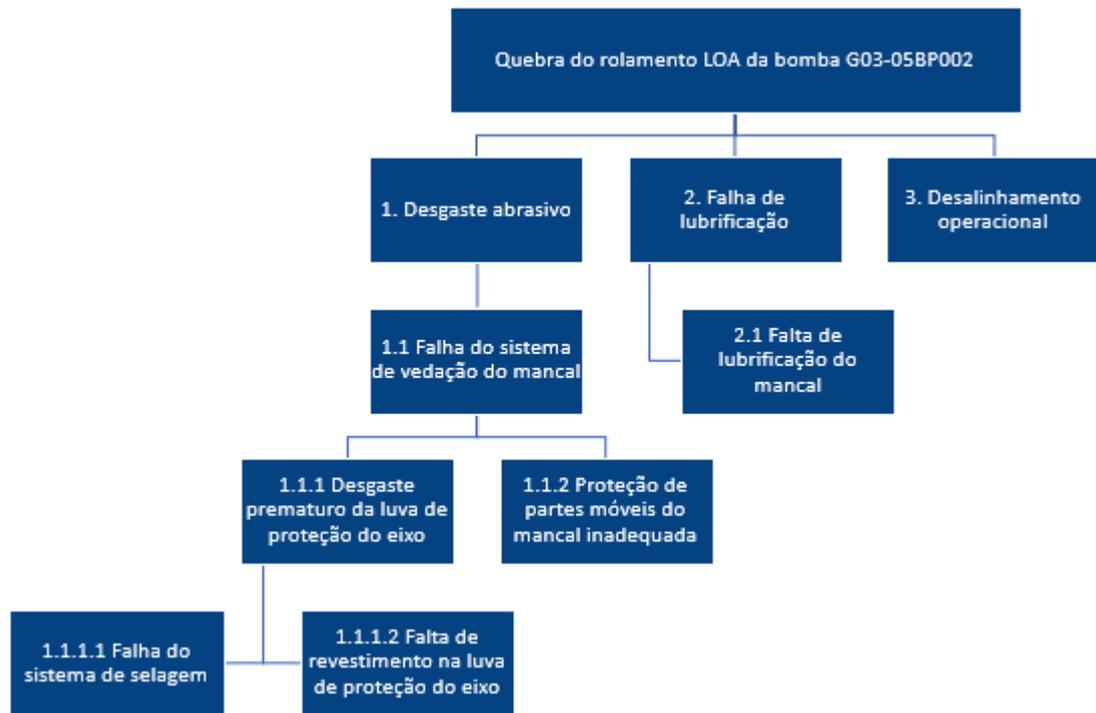


Figura 14 – Árvore de Falha.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

4.3.1 Desalinhamento operacional

Conforme coletas preditivas realizadas, evidenciado nas figuras 15 e 16, não havia falha que pudesse ser relacionada ao desalinhamento operacional, até mesmo porque a natureza da falha observada indicava inicialmente carpete elevado (curva acentuada no gráfico de análise de vibração), trazendo a suspeita sobre a falha de lubrificação e posteriormente arraste dos elementos girantes, porém mais tarde observou-se que a falha se deu por contaminação do lubrificante.

Em uma primeira análise o ativo passou para status de observação em 17/03/2021, com indícios de falhas no rolamento, duas semanas depois (05/04/2021) foi observado a falta de lubrificação, tal indicação, semáforo em azul, decorreu devido ao nível de contaminação e vazamentos observados no sistema de selagem, onde foi solicitada a nova lubrificação. Foi observado também a quebra da gaiola e alteração para status de emergência (semáforo em vermelho). A quebra da gaiola do rolamento foi ocasionada por uma grande contaminação no componente e conseqüentemente a hipótese em questão foi descartada, uma vez que algum agravante dentro do sistema ocasionou a quebra da mesma.

| Data da Condição | Data Coleta | Técnica | Status | Condição de Operação | Tipo Inspeção | Tendência |
|------------------|-------------|----------|------------|----------------------|---------------|-----------|
| 05/04/2021 16:02 | 05/04/2021 | VIBRAÇÃO | Emergência | Operando | Em Rota | Estável |
| 30/03/2021 14:09 | 29/03/2021 | VIBRAÇÃO | Alerta | Operando | Em Rota | Estável |
| 17/03/2021 10:50 | 15/03/2021 | VIBRAÇÃO | Observação | Operando | Em Rota | Estável |
| 01/03/2021 19:39 | 01/03/2021 | VIBRAÇÃO | Normal | Operando | Em Rota | Estável |
| 18/02/2021 09:50 | 15/02/2021 | VIBRAÇÃO | Normal | Operando | Em Rota | Estável |
| 05/02/2021 10:27 | 02/02/2021 | VIBRAÇÃO | Normal | Operando | Em Rota | Estável |
| 26/01/2021 15:40 | 25/01/2021 | VIBRAÇÃO | Normal | Operando | Em Rota | Estável |
| 25/01/2021 11:37 | 20/01/2021 | VIBRAÇÃO | Normal | Operando | Em Rota | Estável |
| 13/01/2021 20:35 | 16/12/2020 | VIBRAÇÃO | Normal | Operando | Em Rota | Estável |

Figura 15 – Status das bombas ao longo das coletas preditivas.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

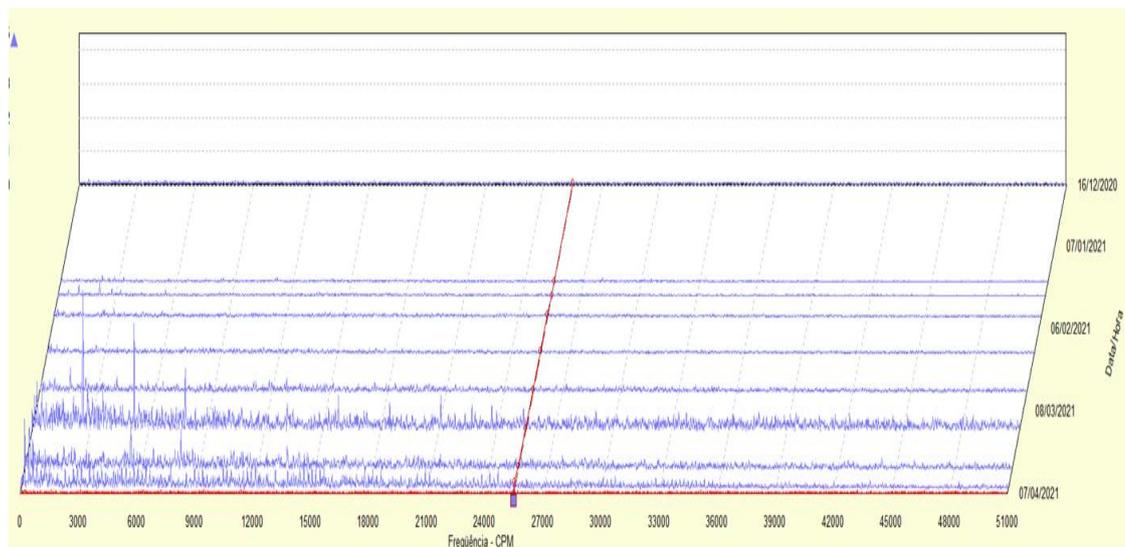


Figura 16 – Gráfico cascata das coletas preditivas realizadas.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

Pode-se comparar o gráfico de cascata, figura 16, com as datas de intervenção, figura 15. Observa-se que a vibração registrada no componente sofre uma elevação que coincide com a data em que o status do ativo de “observação” foi atribuído ao mesmo. Dessa forma é possível visualizar que os instrumentos de coleta juntamente com as manutenções preditivas estavam em perfeita comunicação, e dessa forma a hipótese apresenta baixa probabilidade de ser a causa raiz.

4.3.2 Falta de revestimento na luva de proteção do eixo

A luva de desgaste removida é confeccionada em aço INOX ASTM A743, em destaque na figura 17, material este que não apresenta alta resistência ao desgaste quando comparadas às revestidas, é uma luva padrão comercializada que não apresenta revestimento. Materiais revestidos de carbeto de tungstênio, cerâmica e alto cromo apresentam durabilidade

muito mais adequada para este tipo de aplicação. A luva apresentava um desgaste que já era esperado conforme finalidade a qual foi projetada, dessa forma torna-se uma hipótese pouco provável uma vez que, sozinha, não seria a causa raiz do problema.



Figura 17 – Luva de proteção do eixo.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

Conforme observado, a luva de proteção do eixo desempenhou o seu papel, protegendo o subconjunto do sistema (eixo). Caso o componente viesse a colapsar, a bomba poderia ser comprometida assim como o processo, uma vez que intervenções corretivas, parada da linha produtiva e novos projetos seriam necessários, acarretando prejuízo e custo elevado de troca/reparação.

4.3.3 Falta de lubrificação do mancal

A natureza da falha observada, assim como a situação dos rolamentos demonstram que o lubrificante estava presente, porém muito contaminado com material abrasivo.

Em evidência retirada do SAP, figuras 18 e 19, observou-se que o mancal foi lubrificado repetidas vezes e inclusive no dia da falha na parte da manhã a equipe de

lubrificação esteve presente no local e realizou a lubrificação do mesmo, e como os planos de lubrificação foram seguidos e registrados no *software*, a hipótese torna-se de caráter pouco provável.

| | | | | | | |
|----------|------|----------------------------|------------|--------------|--------------------------------|------------|
| S2021-14 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 FOP | 3500429394 | IP1020210322 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 22.03.2021 |
| S2021-14 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | 3500429312 | IP1020210322 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 22.03.2021 |
| S2021-13 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 FOP | 3500428856 | IP1020210321 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 21.03.2021 |
| S2021-13 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | 3500428432 | IP1020210317 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 17.03.2021 |
| S2021-12 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 FOP | 3500427752 | IP1020210314 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 14.03.2021 |
| S2021-12 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | 3500427021 | IP1020210310 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 10.03.2021 |
| S2021-11 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 FOP | 3500426485 | IP1020210307 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 07.03.2021 |
| S2021-11 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | 3500426053 | IP1020210303 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 03.03.2021 |
| S2021-10 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 FOP | 3500425663 | IP1020210228 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 28.02.2021 |
| S2021-10 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | 3500425183 | IP1020210224 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 24.02.2021 |
| S2021-09 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 FOP | 3500424516 | IP1020210221 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 21.02.2021 |
| S2021-09 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | 3500424213 | IP1020210219 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 19.02.2021 |
| S2021-08 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 FOP | 3500420577 | IP1020210214 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 14.02.2021 |
| S2021-08 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | 3500420071 | IP1020210213 | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 13.02.2021 |
| S2021-07 | ENTE | LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | 3500414782 | CRT_HSANTO | SM_MNG_G03_BENE_PRIM_BOMB_BP02 | 09.02.2021 |

Figura 18 – Ordens de execução de lubrificação.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

Exibir nota PM: Nota Informativa

Nota

M1

Status

NHIS

Ordem

Nota
Responsabilidades
Síntese de datas
Detalhes

Objeto de referência

Loc. instalação

Equipamento

Conjunto

G03-05BP002 BBA POLPA ALIM CLASSIF PRIM.

Situação

Origem Inspeção da Área

Descrição

05.04.2021 09:20:48 BRAZIL (CRT_MARCVF)
FOI REALIZADO A DRENAGEM DE ÓLEO PARA TROCA DO ELEMENTO VEDANTE DO EIXO DE SAÍDA E REPOSIÇÃO DO ÓLEO.

LUBRIFICAÇÃO DAS SELAGENS DO REDUTOR E LUBRIFICAÇÃO DOS MANCAIS E SELAGEM DOS MANCAIS DA BOMBA.

Datas-base

Início desejado

Concl.desejada

Prioridade

Parada

Figura 19 – Nota de lubrificação.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

4.3.4 Proteção de partes móveis do mancal inadequada

A proteção de partes móveis do mancal, embora não seja suficiente para pressurizar o fluido (água/polpa) expulso pela caixa de gaxetas, apresenta características construtivas suficientes para direcionar o fluido ao labirinto do rolamento, provocando uma degradação acelerada de sua capacidade de vedação. Como pode ser visto na figura 20, a proteção é totalmente fechada e posicionada muito próxima ao mancal. Primariamente esta hipótese foi levantada como uma possível causa para a falha.

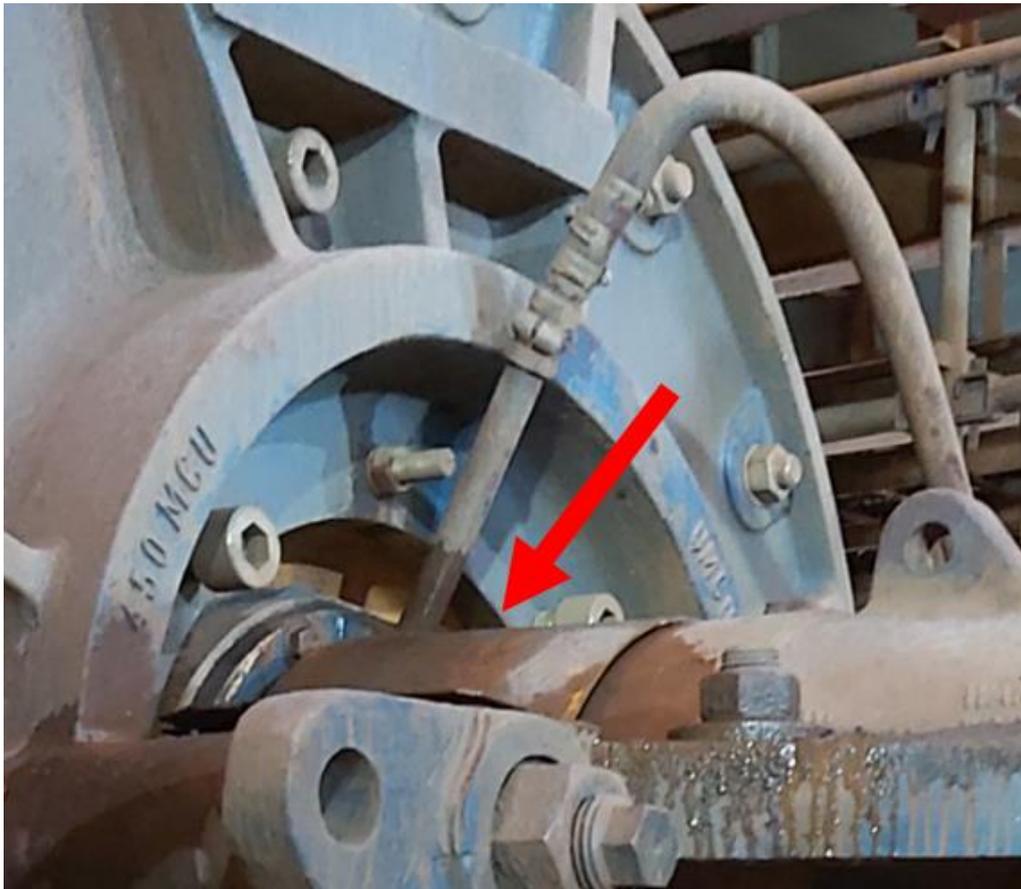


Figura 20 – Detalhe da proteção de partes móveis.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

4.3.5 Falha do sistema de selagem

O desgaste prematuro da luva de proteção do eixo é acarretado devido a falha do sistema de selagem.

A água de selagem da mineradora desde o retorno operacional a pouco mais de 2 anos apresentou uma série de problemas, para tanto foi feito um projeto para adequação, porém até

que fosse implementado, a bancada de selagem foi ligada à tomada do sistema auxiliar que vinha sendo utilizado, em consulta ao PIMS por repetidas vezes o sistema não atingiu a pressão mínima (8kgf/cm²) para a selagem adequada. Durante o período anterior a falha, o sistema apresentou pressão inferior a 6kgf/cm², como demonstrado na figura 21 e destacado na própria.

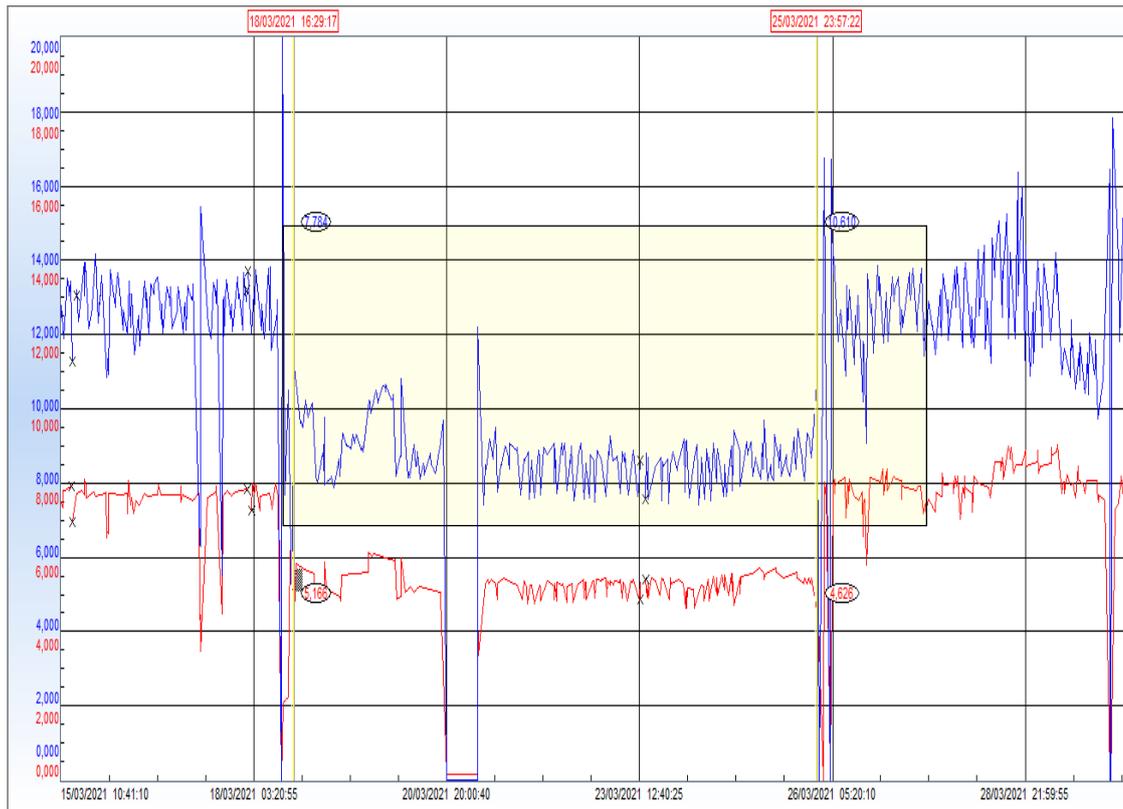


Figura 2115 – Gráfico PIMS de pressão e vazão de selagem.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

Observa-se que no intervalo compreendido entre 18/03/2021 e 25/03/2021 a pressão de selagem apresentou uma brusca queda, fato esse que, atrelado às análises de vibração e as repetidas atividades de lubrificação, direcionam as atenções a esse agravante evidenciado na árvore de falhas já comentada.

A partir do dia 25/03/2021, foram realizadas atividades de troca de gaxeta e mancal, o que garantiu um retorno à pressão mínima necessária de selagem.

Pode-se destacar que quando a pressão de selagem é inferior à pressão de recalque ocorre o retorno de polpa na caixa de gaxetas, provocando entupimentos do sistema e desgaste acelerado do conjunto luva/gaxetas.

Neste sentido, com o desgaste da luva aumenta o volume de água/polpa vazando pela caixa de gaxetas e conseqüentemente a projeta sobre a vedação do mancal a qual insere grande volume de contaminantes no interior do cartucho, provoca assim uma degradação acelerada dos rolamentos. Sendo este o item que acarretou a falha do componente.

4.3.6 Análise final dos eventos

Os eventos que foram levantados como possíveis causas da quebra do rolamento foram sinalizados por semáforo na árvore de falhas, figura 23, a fim de se identificar visualmente qual o evento mais provável e o fluxo de eventos que levaram à essa causa raiz.



Figura 22 – Árvore de falhas sinalizada.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

4.3.7 Manutenção Corretiva (remoção do sintoma)

Imediatamente após registro da falha do componente, criaram-se notas técnicas e ordens de manutenção para intervenção corretiva, figura 23, com o objetivo de início das

ações de preparação da área onde serão executadas as contramedidas planejadas e elaboradas no plano de ação.

The image contains two screenshots of a software interface. The left screenshot is titled "Modificar OM Planejada 3100590534: cabeçalho central". It shows a form with the following fields: "Ordem" (ZPM1) 00590534, "05BP002-TROCAR O MANCAL/LUVA DA BOMBA", "Stat.sst." ENCE CONF CAPC NOLQ SCDM, and "ENTE. ENCE". Below this are tabs for "DdsCabeç.", "Operações", "Componentes", "Custos", "Parceiro", "Objetos", and "Dados adic.". The "Responsáveis" section includes "Gr.planej." / MGER, "CenTrabRes" SMEC201 / MGER, and "Manutenção Mecá...". The "Dados" section includes "InícioBase" 06.04.2021 07:00, "Prioridade" P2 - Importante, "Fim-base" 07.04.2021 18:00, and "Revisão" USL2AB21 PARADA LINHA 02 CONCENTRAD... The "Objeto de referência" section includes "LocInstal." SM_MNG_G03_BENE_P_ and "G03-05BP002 BBA POLPA ALIM CLASSIF PRIM.". The right screenshot is titled "Exibir nota PM: Nota de Avaria". It shows a form with the following fields: "Nota" 11041419, "M2 05BP002-TROCAR O MANCAL/LUVA DA BOMBA", "Status" MSEN ORDA, "NBIIS", and "Ordem" 3100590534. Below this are tabs for "Nota", "Responsabilidades", "Síntese de datas", and "Detalhes". The "Objeto de referência" section includes "Loc.Instalação" SM_MNG_G03_BENE_P_ and "G03-05BP002 BBA POLPA ALIM CLASSIF PRIM.". The "Equipamento" and "Conjunto" fields are empty. The "Situação" section includes "Origem" H. E. S / MAN / Manutenção, "Descrição" 05BP002-TROCAR O MANCAL/LUVA DA BOMBA, and a log of events: "29.03.2021 13:44:54 BRAZIL (MARCIOSILV)", "05BP002-TROCAR O MANCAL/LUVA DA BOMBA", and "07.04.2021 16:03:11 BRAZIL (MARCIOSILV)". The "Planejamentos em anexo." field is empty. The "Dados-base" section includes "Início desejado" 29.03.2021 13:43:52, "Prioridade" P2 - Importante, "Concl.desejada" 00:00:00, and a "Parada" checkbox.

Figura 23 – Ordem e nota de serviço de avaria criada.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

As notas técnicas são criadas pela equipe de manutenção preditiva, uma vez que são os responsáveis por indicar qualquer anormalidade nos componentes monitorados. Notas atribuídas com status “importante” são dispensadas de planejamento/programação para serem mantidas, uma vez que são de criticidade elevada no processo. A criticidade é definida em consideração com a possível parada produtiva em caso de falha.

Uma vez notificada a ocorrência, elabora-se ordem de manutenção derivada da nota técnica. Essa por sua vez é direcionada à equipe de manutenção e seus responsáveis e, nesse caso específico, assume também prioridade de status “importante”, possibilitando ao time de manutenção um direcionamento à atividade extra a programação semanal do mapa de 52 semanas elaborado pelo time de planejamento e programação.

Observa-se na ordem que descreve a atividade: o local de instalação do ativo a ser mantido, a data de criação da notificação técnica, o texto breve da atividade, anexo contendo o planejamento da atividade, o status de prioridade, o status em que a ordem de manutenção se encontra no sistema, a origem da ordem, a gerência responsável pela atividade, as datas de início e término da atividade e detalhes que se julgam necessários.

4.4 Plano de Ação após Análise da Falha

Diante de todos eventos ocorridos e após análise dos mesmos pelos setores responsáveis, elaborou-se um planejamento de ações de contramedidas (os itens do plano de ações sofreram adaptações devido ao não fornecimento de alguns pontos do 5W1H por parte da organização) frente à falha ocorrida, demonstrado a seguir na figura 24.

| ITENS DO PLANO DE AÇÃO | DATAS | | CLASSIFICAÇÃO DA AÇÃO |
|---|----------|-----------|--|
| | PREVISTO | REALIZADO | |
| 1 Execução do novo projeto da linha de selagem da bomba; | 30/04 | | Eliminar, Substituir, Engenharia (Alta Hierarquia) |
| 2 Estudo de viabilidade de aplicação de luva revestida para aplicação na bomba de polpa; | 17/05 | | ADM ou EPI (Baixa Hierarquia) |
| 3 Aplicação de luva revestida na bomba de polpa; | 17/07 | | Eliminar, Substituir, Engenharia (Alta Hierarquia) |
| 4 Remoção do jumper do sistema de selagem atuante em caso de baixa vazão ou baixa pressão; | 07/05 | | Eliminar, Substituir, Engenharia (Alta Hierarquia) |
| 5 Verificar a mobilização dos inspetores sensitivos para execução das atividades previstas nos planos de sensitiva. | 30/04 | | ADM ou EPI (Baixa Hierarquia) |

Figura 24 – Plano de ação.

Fonte: Pesquisa direta (2022).

Nota-se que altos níveis hierárquicos foram envolvidos na elaboração do plano de ação, uma vez que pela gravidade da falha ocorrida, atrelada ao porte do componente, trata-se de uma onerosa intervenção no sistema produtivo, tanto no aspecto técnico quanto financeiro.

Melhorias no sistema que atua em conjunto ao ativo também foram englobadas no plano para que outros fatores garantam uma confiabilidade ainda maior do componente e consequentemente evitar futuras intervenções de tal porte.

4.4.1 Execução do novo projeto da linha de selagem

Seguindo o fluxo de atividades definidas no plano de ação, um novo projeto da linha de selagem da bomba foi desenvolvido levando-se em consideração as variáveis que foram exaltadas ao decorrer deste estudo (pressão necessária e vazão volumétrica). A data prevista para a conclusão do novo projeto havia sido definida para 30/04/2021, sendo que na data de 19/03/2021 o projeto já havia sido concluído.

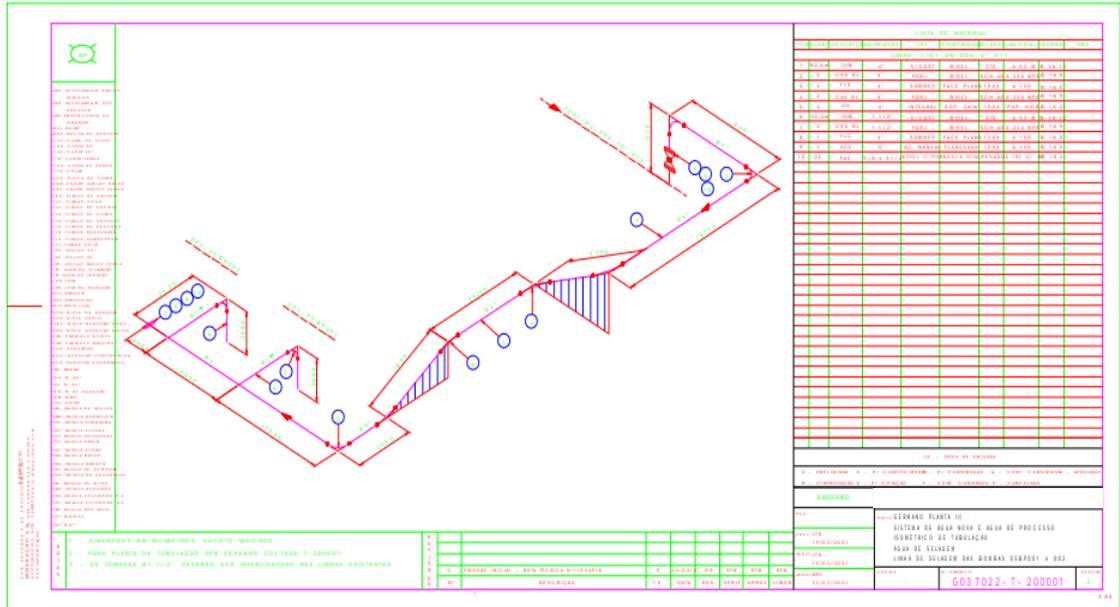


Figura 25 – Novo Projeto da linha de Selagem.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

4.4.2 Estudo de viabilidade de aplicação de luvas revestidas

De acordo com as etapas estabelecidas para o saneamento de todas as avarias prováveis identificadas na árvore de falhas, um estudo referente à viabilidade de aplicação de luvas revestidas com carbeto de tungstênio foi desenvolvido.

Pode-se evidenciar, de acordo com a figura 26, que orçamentos com fornecedores e com as especificações necessárias foram solicitados. Os novos estudos visam as possibilidades de: envio de luva já existente em estoque para aplicação de revestimento de carbeto de tungstênio com fornecedor externo; fabricação de nova luva em aço inoxidável 410 com tratamento térmico e com aplicação de carbeto de tungstênio; fabricação de nova luva em aço inox 420 sem tratamento térmico.

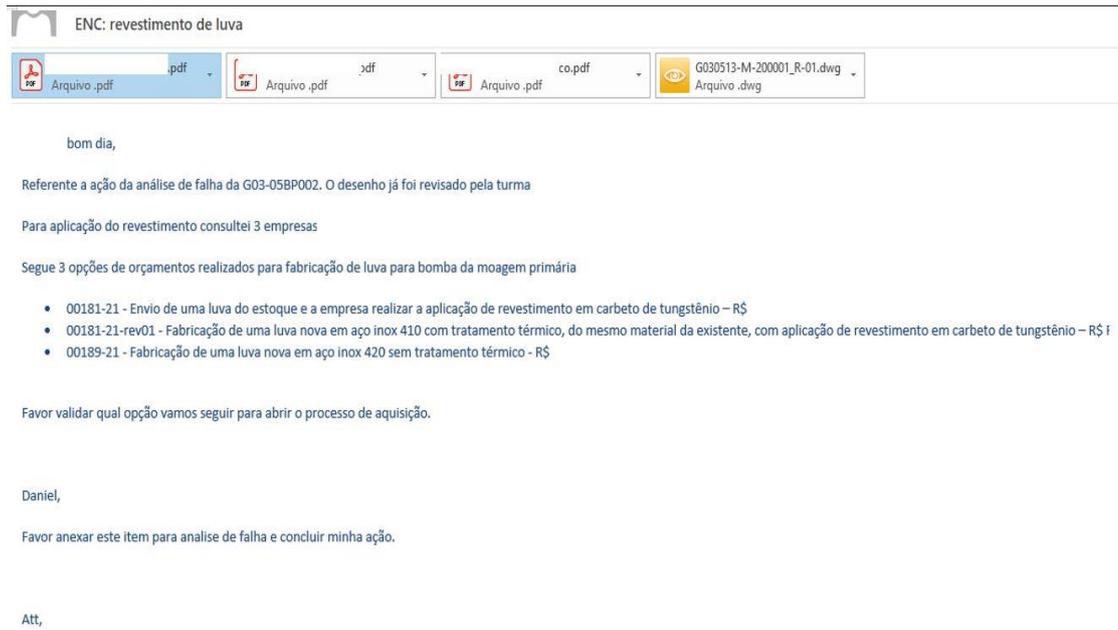


Figura 26 – Estudo de viabilidade de aplicação de luvas revestidas.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

4.4.3 Aplicação de luvas revestidas

Foi definida que a nova luva de desgaste a ser aplicada seria dada pela fabricação de uma nova luva em aço inoxidável 410 com tratamento térmico e com aplicação de carbeto de tungstênio. A data limite definida no plano de ação previa a conclusão da aplicação da nova luva no dia 17/07/2021. Nota-se que no dia 15/04/2021, o novo desenho da luva foi inserido no *software* SAP, figura 27.

Relatório de Acompanhamento de Documentos

Processos... Executar distribuição

| TP | Documento | DP | Vs | Título | Status document | n. Emissão | Nr. folhas | Dt.entrada | C |
|-----|------------------|-----|-------------|---|-----------------|-------------------|------------|------------|---|
| ROW | G030513-M-200001 | 000 | 00 | LUVA DE DESGASTE BOMBA DE POLPA TAG G03-05BP001/002 DESENHO DE DETALHAMENTO MOAGEM PRIMÁRIA | Obsoleto | E - P/ Construção | 1 | 12/11/2014 | 1 |
| ROW | 000 | 01 | G03-05BP001 | G03-05BP002 LUVA DE DESGASTE BOMBA DE POLPA DESENHO DE DETALHAMENTO MOAGEM PRIMÁRIA | Liberado | E - P/ Construção | 1 | 15/04/2021 | 2 |

Alteração do desenho

Figura 27 – Data de alteração do desenho da luva revestida.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

O desenho alterado, figura 28, evidencia a utilização de revestimento de carbeto de tungstênio na nova luva, a fim de se evitar um desgaste prematuro no componente e garantir uma maior confiabilidade do conjunto.

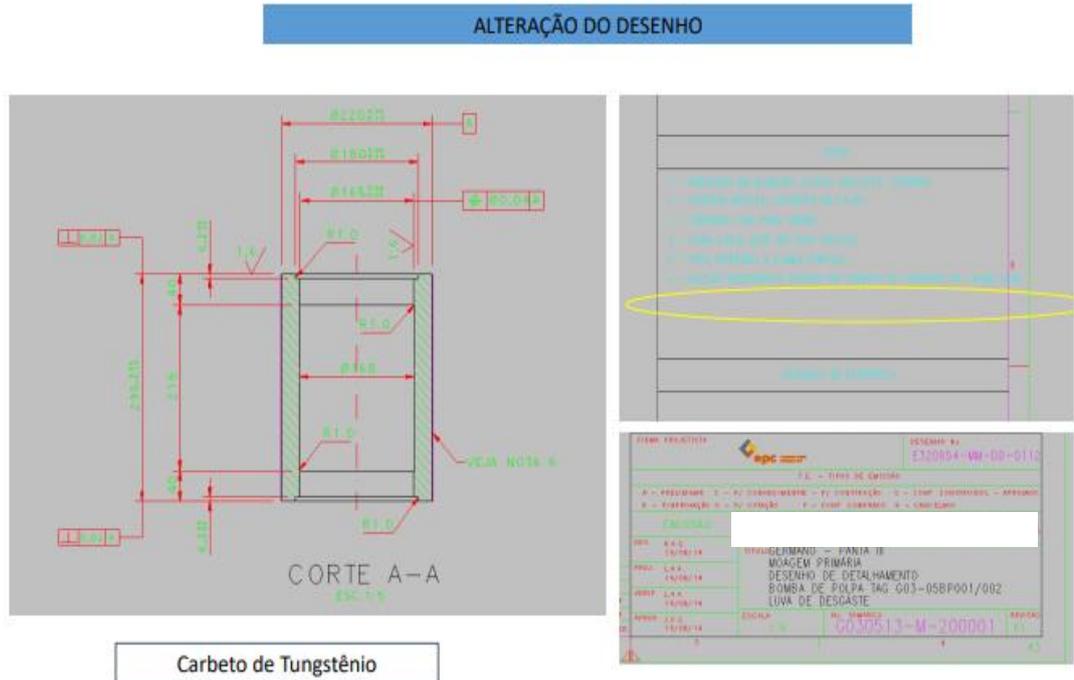


Figura 28 – Alteração do desenho para aplicação da luva revestida
Fonte: Pesquisa direta (2022).

4.4.4 Regularização da vazão e pressão de trabalho (retirada do jumper).

Conforme citado anteriormente, um jumper lógico foi realizado a fim de se manter o funcionamento do ativo. A selagem do equipamento estava sendo feita através de um sistema auxiliar e toda vez que a pressão da linha decaía, outra bomba entra em operação para compensar a queda de pressão.

A pressão de trabalho mínima para garantir a selagem do ativo é de 8 kgf/cm², previamente citado no tópico 4.3.5. Observa-se que, após o projeto da nova linha de selagem atrelada à retirada do jumper lógico, a pressão e vazão de trabalho voltaram à normalidade, conforme demonstrado nas figuras 29 e 30.

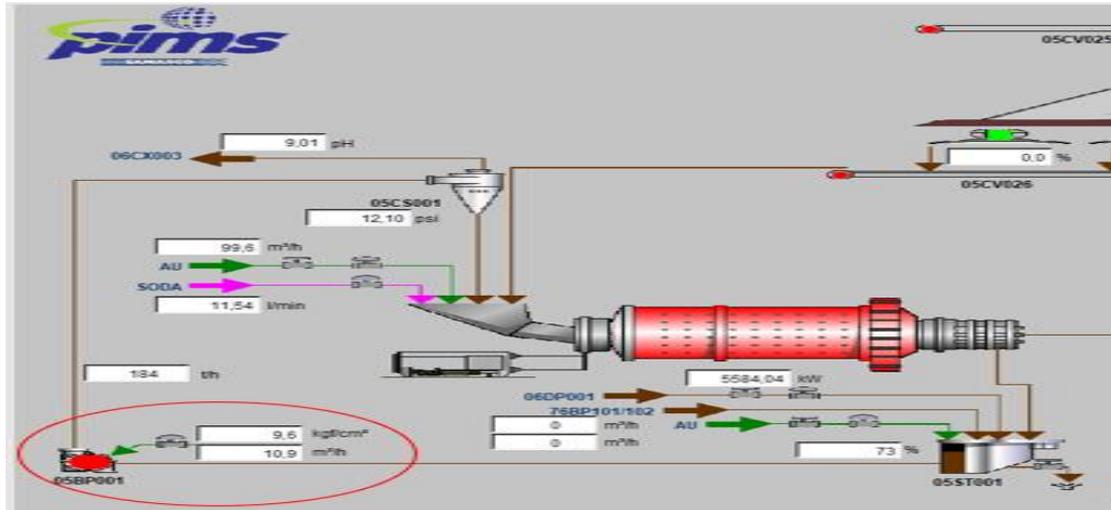


Figura 29 – Regularização da vazão e pressão de trabalho.
Fonte: Pesquisa direta (2022).



Figura 30 – Regularização da vazão e pressão de trabalho.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

4.4.5 Retorno dos planos de manutenção preditiva

Com as alterações relevantes citadas ao decorrer do tópico 4.4, a equipe de manutenção preditiva realizou um planejamento de atividades visando a análise de variáveis imprescindíveis para o perfeito funcionamento do processo. Dentre elas: Boroscopia no rotor da bomba e monitoramento das variáveis: temperatura, nível de óleo e vibração. A seguir, figura 31, observamos que datas foram definidas para cada atividade, a fim de garantir a confiabilidade do conjunto.

| Id | C N | Ordem | Nota | Data de criação | C | H fim des. | Status usuário | Descrição | L | C |
|----|-----|-------|--------|-----------------|---|------------|----------------|--|---|---|
| | M J | 31006 | 111... | 21.09.2021 | | 00:00:00 | GHIS | G03-05BP002-BOROSCOPIA NO ROTOR | S | S |
| | M A | 33001 | 111... | | 1 | 13:30:13 | GHIS | G03-05BP002 Monitorar temperatura reduto | S | S |
| | M A | 33001 | 111... | | 0 | 07:00:13 | NHIS | G03-05BP002 Monitorar temperatura | S | S |
| | M L | 33001 | 111... | | 1 | 12:00:00 | GHIS | G03-05BP002- Monitoramento redutor. | S | S |
| | M L | 33001 | 111... | | 1 | 11:45:00 | NHIS | G03-05BP002- Monitoramento redutor. | S | S |
| | M A | 33001 | 111... | | 1 | 10:30:08 | NHIS | G03-05BP002 Monitorar temperatura | S | S |
| | M L | 33001 | 111... | 22.09.2021 | | 00:00:00 | NHIS | G03-05BP002- Monitoramento redutor. | S | S |
| | M A | 33001 | 111... | 26.09.2021 | 2 | 22:29:13 | NHIS | G03-05BP002 Monitorar temperatura | S | S |
| | M C | 35004 | 111... | 27.09.2021 | | 00:00:00 | GHIS | MNT-LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | S | C |
| | M C | 31006 | 111... | 30.09.2021 | | 00:00:00 | GHIS | G03-05BP002 VERIFICAR NÍVEL DE ÓLEO | S | C |
| | M | 35004 | 111... | 02.10.2021 | | 00:00:00 | NHIS | EST INSP BBA POLPA G03-05BP002 | S | C |
| | M C | 35004 | 111... | 04.10.2021 | | 00:00:00 | GHIS | MNT-LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | S | C |
| | M C | 35004 | 111... | | | 00:00:00 | GHIS | MNT-LUBRIFICAR G03-05BP002 FOP | S | C |
| | M C | 31006 | 111... | 06.10.2021 | | 00:00:00 | GHIS | G03-05BP002INSPEÇÃO E COMPLEMENTO DE ÓLE | S | C |
| | M C | 35004 | 111... | 07.10.2021 | | 00:00:00 | GHIS | MNT-LUBRIFICAR G03-05BP002 OP | S | C |

Figura 31 – Retorno dos planos de manutenção preditiva.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

Após o levantamento das hipóteses prováveis da causa da falha observada ao longo deste estudo e analisando as avarias isoladamente, nota-se que o sistema de tratamento de falhas, corretamente aplicado, pôde evidenciar a causa raiz da falha em questão como também identificou outros pontos que necessitavam de melhorias para o funcionamento do conjunto, conforme explicitado na figura 32.

| | ATIVIDADES PERTINENTES IDENTIFICADAS PELA ÁRVORE DE FALHAS | | | | |
|---|--|------------|------------|-------------|--|
| | ITENS PROPOSTOS NO PLANO DE AÇÃO | REALIZADO? | PREVISTO | REALIZADO | OBSERVAÇÕES |
| 1 | EXECUÇÃO NOVO PROJETO DA LINHA DE SELAGEM | SIM | 30/04/2021 | 19/03/2021 | Projeto alterado pelas lideranças; Regularização do abastecimento de água; Normalização pressão de trabalho. |
| 2 | LUVAS REVESTIDAS CARBETO TUNGSTÊNIO | SIM | 17/07/2021 | 15/04/2021 | Melhoria do conjunto; Desenvolvimento para outros componentes; Maior confiabilidade; Menor risco de falhas. |
| 3 | ATUALIZAÇÃO JUMPER LÓGICO | SIM | 07/05/2021 | 07/05/2021 | Retirada do jumper lógico; Quedas de pressão resolvidas; Processo normal; Adequação PIMS. |
| 4 | MOBILIZAÇÃO MANUTENÇÃO PREDITIVA | SIM | 30/04/2021 | 21/09/2021* | Equipe interna mobilizada; Retorno dos planos de manutenção; Análises extras de variáveis. |

* Registros gerados apenas pós intervenções e melhorias no processo citadas ao longo da dissertação.

Figura 32 – Quadro comparativo proposto x realizado.
Fonte: Pesquisa direta (2022).

Nota-se que por se tratar de um componente com elevada criticidade no processo produtivo, as tratativas foram rapidamente sanadas, antes mesmo da data limite estipulada no plano de ação já citado previamente. No caso da mobilização da manutenção preditiva, a

própria empresa já havia a seu dispor a equipe selecionada e logo após a manutenção corretiva realizada, citada previamente, a equipe já atuava para controle dos parâmetros. Somente após as intervenções propostas no plano de ação, o acompanhamento da equipe foi reestabelecido de acordo com os planos de manutenção existentes na empresa, sendo assim registrada a data referente ao retorno do cumprimento dos planos.

Assim, observa-se que o Sistema de Tratamento de Falhas contribuiu com o plano de ação para análise de falhas em um rolamento de uma bomba de polpa de alimentação de um moinho de bolas de uma empresa de mineração.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

A utilização das ferramentas de manutenção demonstradas ao longo deste estudo, auxiliadas por *softwares* de controle e com coordenação de toda a equipe técnica, sanou a situação problema proposta: Como o Sistema de Tratamento de Falhas pode contribuir na análise de falhas em um rolamento de uma bomba de polpa de alimentação de um moinho de bolas de uma empresa de mineração?

Considerando todos os elementos apresentados no presente estudo, conclui-se que a causa da falha está diretamente relacionada às oscilações do sistema de selagem, que apresentou em diversos momentos pressões abaixo do necessário para garantir a selagem adequada do ativo.

Em face da baixa pressão de selagem, a polpa invadiu a caixa de gaxetas, acentuando o desgaste da luva de proteção do eixo e posteriormente projetando-se sobre a vedação do mancal, o que contaminou severamente o lubrificante, promovendo uma degradação acelerada do rolamento LOA resultando na falha. Diante disso, foi elaborado um plano de ação necessário para atingir o resultado desejado, sanando o problema para que não volte a ocorrer.

Para a elaboração do plano de ação seguiu-se a linha de utilização de ferramentas como o 5W1H - *Who, What, Where, When, Why, and How* (Quem, Oque, Onde, Quando, Por que e Como) adaptado conforme informações disponibilizadas pela organização. Posteriormente às respostas dessas variáveis, elaborou-se a árvore de falhas, onde foi sinalizado quais hipóteses apresentariam um nível maior de influência na falha. Com a hipótese mais provável identificada, criou-se um plano de ação, definido pelas lideranças da organização e designada às áreas responsáveis.

Com as tratativas do plano de ação, que englobou as seguintes atividades: execução do novo projeto da linha de selagem da bomba, estudo de viabilidade de aplicação de luva revestida para aplicação na bomba de polpa, aplicação de luva revestida na bomba de polpa, remoção do jumper do sistema de selagem atuante em caso de baixa vazão ou baixa pressão e mobilização dos inspetores sensitivos para execução das atividades previstas nos planos de sensitiva, o Sistema de Tratamento de Falhas pôde contribuir na análise de falhas em um rolamento de uma bomba de polpa de alimentação de um moinho de bolas em uma empresa mineradora com a aplicação das atividades citadas anteriormente.

Ainda decorrente das ações do plano proposto, pontos do sistema como um todo obtiveram melhorias, como: um novo projeto de sistema de água de selagem alterado pelas lideranças, regularização do abastecimento da água de selagem, normalização pressão e vazão de trabalho, retirada do jumper lógico, quedas de pressão resolvidas, processo normalizado, adequação ao *software* PIMS, melhoria do conjunto, desenvolvimento para outros componentes, maior confiabilidade, menor risco de falhas, equipe interna de manutenção preditiva mobilizada, retorno dos planos de manutenção, análises extras de variáveis.

Vale ressaltar que posteriormente ao alinhamento realizado pelas lideranças, seguindo as ações estabelecidas no plano de ação e delegadas aos setores responsáveis por intervir e manter o ativo, não houveram avarias significativas relevantes no sistema de selagem, uma vez que manutenções preventivas e preditivas foram adotadas.

5.2 Recomendações

A partir do estudo realizado recomendam-se os seguintes trabalhos futuros:

- Um estudo sobre pequenas oscilações nos parâmetros de trabalho da água de selagem de bombas que podem acarretar no desalinhamento operacional do conjunto;
- Estudo sobre propriedades mecânicas de materiais revestidos de elevada dureza de modo a garantir maior confiabilidade de conjuntos e subconjuntos aplicados em operações de trabalho agressivas de alta vibração e de elevada contaminação;
- Estudo da NR12 – proteções de partes móveis e conjuntos rotativos: as relações entre a segurança do mantenedor, ergonomia e eficiência nas atividades invasivas com e sem parada de linha.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, P. S. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada.** São Paulo: Érica, 2014, p. 15.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade.** Rio de Janeiro, 1994. 37p.

BELL, Judith. **Doing your research project: a guide for the first-time researchers in education and social science.** 2. reimp. Milton Keynes, England: Open University Press, 1989. 145p.

BELMONTE, D. L.; SCANDELARI, L. **Gestão do conhecimento: aplicabilidade prática na gestão da manutenção.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005. 8p.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: uma introdução.** 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705p.

CARVALHO, D.F. **Instalações Elevatórias: Bombas.** 6.ed.: FUMARC, 1999. 355p.

CIMM, Centro de informação Metal Mecânica, A gaxeta e a importância da vedação industrial. <CIMM - Centro de Informação Metal Mecânica>. Acesso em 17 de abril de 2022.

GARCIA, Helenice; JÚNIOR, Olavo; JÚNIOR, Paulo. **Otimização da frequência na manutenção preventiva.** ENEGEP, Fortaleza, ano XXVI, out. 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GROSS, J.M. **Fundamentals of Preventive Maintenance;** AMACOM Division of American Management Association International: New York, NY, USA, 2008.

HARTLEY, Jean F. **Case studies in organizational research.** In: CASSELL, Catherine & SYMON, Gillian (Ed.). *Qualitative methods in organizational research: a practical guide.* London: Sage, 1994. 253p. p. 208-229.

HERCULANO, S. **Hipóteses e variáveis: Apontamentos para aula de métodos e técnicas de pesquisa social.** UFF-ICHF. GSO – Sociologia. 2014. Disponível em:

https://www.professores.uff.br/seleneherculano/wp-content/uploads/sites/149/2017/09/Apontamentos_ Acesso em: 04 dez. 2021.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009, p. 50.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LEVITT, J. **TPM Total Productive Maintenance**; Industrial Press Inc.: New York, NY, USA, 2010.

LU, S.; PEI, J.; LIU, X.; PARDALOS, P.M. **A hybrid DBH-VNS for high-end equipment production scheduling with machine failures and preventive maintenance activities**. J. Comput. Appl. Math. 2021, 384, 113195.

MAPA, P. S. **Rota de processo para o underflow da deslamagem de minério de ferro do concentrador da Samarco Mineração S.A.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Metalúrgica). Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2006.

MENDES, D. **Entendendo indicadores**. Escola Aberta. 2021. Disponível em: <https://ead.escolaaberta3setor.org.br/courses/entendendo-indicadores>. Acesso em: 04 dez. 2021.

MENDES A. A.; RIBEIRO, J.L.D. **Manutenção centrada em Confiabilidade: Uma Abordagem Quantitativa**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2011.

METSO, Bombas de polpa – Básico Handbook, <Bombas de polpa - Metso Outotec (mogroup.com)>. Acesso em 03 de maio de 2022.

NORTON, R. L. **Projetos de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1030p.

PALADY, P. **FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e Prevenindo Problemas Antes que Ocorram**. São Paulo, IMAM, 1997.

PALLEROSI, C. A. **Confiabilidade: a quarta dimensão da qualidade**. São Paulo: ReliaSoft Brasil, v.1, 2007.

PEREIRA, M. J. **Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2009. 228p.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. de A. N. **Manutenção: Função Estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

SANTOS, W.B.; COLOSIMO, E. A.; MOTTA, S. B. **Tempo ótimo entre manutenções preventivas para sistemas sujeitos a mais de um tipo de evento aleatório**. Gest. Prod., São Carlos, 2007, v. 14, n, 1, p. 193-202.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2005. 408p.

SILVA, J. A. O. **Modelagem do Moinho de Bolas de Rocha Fosfática da Empresa Anglo American Fosfatos Brasil Utilizando a Ferramenta Moly-Cop Tools**. 2014. 89f. Dissertação (Especialização em Tratamento de Minérios) - Universidade Federal de Goiás, Catalão.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Ed. Atlas, 2006.

SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica**. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

TRIVIÑOS, Augusto N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2004.

VIANA, H. R. G. PCM. **Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 168p.

WICKRAMASINGHE, GLD, ASANKA PERERA. **Efeito das práticas de manutenção produtiva total no desempenho da manufatura: Investigação de empresas de manufatura de têxteis e vestuário**. Journal of Manufacturing Technology Management, 2016, Vol. 27 Issue: 5, pp.713-729,

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora DG. 1998, p. 18-278.

ANEXO