

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

HIRLA DE CÁSSIA CASTRO JAQTINON

**ANÁLISE DE FALHAS E IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES NA BOMBA
CENTRÍFUGA DE UMA DISTRIBUIDORA DE COMBUSTÍVEIS**

MANAUS

2022

HIRLA DE CÁSSIA CASTRO JAQTINON

**ANÁLISE DE FALHAS E IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES NA BOMBA
CENTRÍFUGA DE UMA DISTRIBUIDORA DE COMBUSTÍVEIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia – EST da Universidade do Estado do Amazonas – UEA, como requisito parcial da obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Ramón Hechavarría

MANAUS

2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

H668a Castro Jaqtinon, Hirla de Cássia
Análise de falha e implementação de soluções na bomba centrífuga de uma distribuidora de combustíveis / Hirla de Cássia Castro Jaqtinon. Manaus : [s.n], 2022.
44 f.: color.; 7 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022.
Inclui bibliografia
Orientador: José Ramón Hechavarría

1. Bombas centrífugas. 2. Análise dos modos e efeitos de falha. 3. Manutenção. 4. Análise de vibração.
I. José Ramón Hechavarría (Orient.). II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Análise de falha e implementação de soluções na bomba centrífuga de uma distribuidora de combustíveis

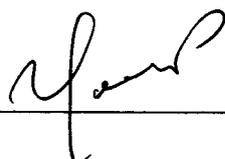
Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463

HIRLA DE CÁSSIA CASTRO JAQTINON

**ANÁLISE DE FALHA E IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES NA BOMBA
CENTRÍFUGA DE UMA DISTRIBUIDORA DE COMBUSTÍVEIS**

Este trabalho de conclusão de curso foi considerado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas – UEA e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora.

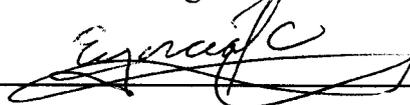
Manaus, 25 de OUTUBRO de 2022.



Orientador: Prof. Dr. José Ramón Hechavarría



Prof. Dr. João Evangelista Neto



Prof. Dr. Edry Antonio Garcia

Dedico este trabalho de curso a minha mãe, Hirleide Conceição de Sena, e a minha querida filha, Heloísa Jaqtinon da Silva, pelo carinho e dedicação, pois foram bases em cada passo dado para alcançar este objetivo.

AGRADECIMENTOS

Para a elaboração deste trabalho foi necessário o apoio e auxílio de várias pessoas, serei eternamente grata pela paciência e disposição de todos. Agradeço a Deus pela saúde e apoio incondicional, que me deu a força necessária para cumprir este objetivo.

Agradeço as pessoas e as entidades envolvidas que contribuíram em meu desenvolvimento pessoal e profissional. Aos professores José Ramón, Antônio Kieling, Navas e Evangelista, que foram chaves para minha formação. E, aos meus amigos, Caio César Pantaleão, Rebeca Gabrielle e Elizandra Silva.

A todos, meu mais sincero obrigado.

RESUMO

Este trabalho apresenta em seu desenvolvimento análises de falhas de uma bomba centrífuga através do método FMEA - Análise dos modos e efeitos de falha, onde conceitua as causas das falhas que surgiram num processo e, as relaciona com ações preventivas para reduzir a ocorrência das falhas potenciais. Demonstra também, conceitos relevantes à cerca de bombas centrífugas, manutenção e análise de vibrações. A empresa em estudo forneceu um histórico de informações e gráficos de vibração do equipamento, estes dados são levantados trimestralmente por empresa terceirizada. Os resultados obtidos neste trabalho foram embasados nas análises de vibração e na ocorrência de falhas de componentes do equipamento, o que corrobora para a comprovação da eficácia do método de análise de vibração para manutenção em equipamentos rotativos.

Palavras-chave: Bombas centrífugas. Análise dos modos e efeitos de falha. Manutenção. Análise de vibração.

ABSTRACT

This work introduces in development the analysis of fails through in centrifugal pumps, through FMEA - Failure Mode and Effect Analysis. This method is applied in: process of production or equipments defective, for to take preventive actions and corrective actions and reduce the occurrence of faults. It also demonstrates relevant concepts about centrifugal pumps, preventive maintenance, predictive maintenance and vibration analysis. The company under study provides a history of information and charts vibration of the equipment, these data are collected quarterly by an outsourced company. The results were obtained through vibration tests and in the survey of equipment component failures, which corroborate for the efficiency of the vibration analysis method in equipments rotatives.

Keywords: *Centrifugal pumps. Failure Mode and Effect Analysis. Maintenance. Vibration analysis.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Classificação Geral das Bombas.....	16
Figura 2	Bomba Centrífuga.....	17
Figura 3	Selo Mecânico.....	18
Figura 4	Modelo de FMEA.....	21
Figura 5	Simbologia FTA.....	22
Figura 6	Tipos de Manutenção	24
Figura 7	Esquema de atuação do conjunto Motobomba	28
Figura 8	Especificações da bomba centrífuga H100E.	29
Figura 9	Bomba centrífuga em estudo	30
Figura 10	Ordem de Manutenção no SAP PM	30
Figura 11	Eventos de falha do equipamento.....	31
Figura 12	Análise de Vibração Pico a Pico 10^{-2}	32
Figura 13	Análise de Vibração RMS	32
Figura 14	Análise de Vibração Pico a Pico 10^{-1}	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Falhas comuns em Equipamentos	20
Tabela 2	Informações relevantes do Equipamento.....	29
Tabela 3	Planejamento da Manutenção Corretiva.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problematização e Hipóteses.....	14
1.2	Delimitação do Estudo.....	14
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Geral.....	14
1.3.2	Específicos	15
1.4	Justificativa.....	15
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	Bombas.....	16
3.1.1	Classificações	16
3.1.2	Bombas Centrífugas	17
3.1.2.1	Componentes	17
3.1.2.2	Defeitos comuns	18
3.2	Análise de Falhas	19
3.2.1	Análise dos modos e efeitos de falhas- FMEA	20
3.2.2	Análise de árvores de falhas – FTA	22
3.3	Manutenção	24
3.3.1	Manutenção Corretiva	24
3.3.2	Manutenção Preventiva	25
3.3.3	Manutenção Preditiva.....	25
3.4	Análise de Vibrações.....	25
3.4.1	Técnicas para análise de vibração	26
3	METODOLOGIA	27
4	DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO	28
4.1	Local do Estudo.....	28

4.2	Informações do Equipamento	28
4.3	Quadro Atual da Manutenção	30
4.4	Histórico do Equipamento	31
4.4	Elaboração dos Resultados por análise falhas	33
4.5	Cronograma da Manutenção Corretiva	34
4.6	Comprovação da Solução	35
5	CONCLUSÃO	37
6	REFERÊNCIAS	38
7	APÊNDICE A: TABELA DE ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA	40
8	ANEXOS	43

1 INTRODUÇÃO

As Bombas possuem uma grande importância nas indústrias. Elas são consideradas dispositivos capazes de produzir trabalho mecânicos através da introdução de “energia” numa porção de massa, podendo elevar a sua posição ou aumentar a sua velocidade. Normalmente, as bombas mais aplicadas são centrífugas e acionadas por motores elétricos (FERNANDÈZ, 2018). MATTOS (1998/2019), relata que as bombas centrífugas são aquelas em que a energia fornecida ao fluido é primordialmente cinética, sendo convertida a energia de pressão.

Pode-se dizer que a manutenção são os cuidados necessários para o bom funcionamento e, reparo de equipamentos. A manutenção é classificada de várias formas, dentre elas pode-se citar: A Manutenção corretiva (programada ou não) e a Manutenção Preditiva. A Manutenção Corretiva trata-se de um conjunto de procedimentos que atendem de maneira imediata a produção ou o equipamento que apresentou falha (NBR 5462, PAG 7).

Já na Manutenção Preditiva a empresa pretende atingir: o aumento produtivo, a redução de gastos na manutenção e a identificação das condições reais do equipamento, através da aplicação de métodos de detecção da situação real do equipamento. Esta manutenção garante a qualidade de serviço desejada, baseando-se na aplicação sistemática de técnicas de análise, por meios de supervisão (NBR 5462, PAG 7).

Segundo AFFONSO (2014), a análise de falhas consiste na interpretação das características de um sistema deteriorado a fim de verificar o motivo do mesmo não executar a sua função com segurança e eficiência. Ele declara a importância da análise para a tomada de ações corretivas e, que caso não seja possível determinar as causas físicas, não haverá a possibilidade de introduzir as melhorias no sistema.

Para este estudo de caso foi considerada a bomba centrífuga, tipo HERO H100E com motor elétrico de indução trifásico BÚFALO 40CV. Onde estes equipamentos são responsáveis pela movimentação de Diesel S-500, para o abastecimento de caminhões tanques numa distribuidora de combustíveis.

1.1 Problematização e Hipóteses

No ambiente fabril a manutenção preditiva identifica componentes defeituosos em máquinas e equipamentos através do monitoramento constante dos mesmos, o que torna possível a prevenção de falhas de forma antecipada. Já a manutenção corretiva atua para retornar equipamentos com defeitos ou parados à condição inicial de funcionamento.

Ao se verificar os parâmetros de análises atuais da bomba em estudo, qual método de análise de falhas mais apropriado para identificação das causas e medidas preventivas? E qual seria a proposta mais adequada para a manutenção corretiva do mesmo?

HIPÓTESES

Através do método FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha, onde conceitua as causas das falhas que surgiram num processo e as relaciona com ações preventivas para reduzir a ocorrência das falhas potenciais.

Com este método verificam-se componentes que necessitam de correção, por isto, será gerado um cronograma e planejamento de manutenção para atingir a eficiência desejada e, posteriormente, será comprovado a solução das falhas levantadas no estudo.

1.2 Delimitação do Estudo

Delimita-se este estudo, aos seguintes temas:

- Bombas centrífugas;
- Métodos de Análise de Falhas;
 - FTA - Análise de árvores de falhas;
 - FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha;
- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Preditiva;
 - Análise de vibrações.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

- Aplicar a análise pelo FMEA - Método dos Modos e Efeitos de Falhas para a melhoria da bomba centrífuga em uma distribuidora de combustíveis.

1.3.2 Específicos

- Verificar as causas e consequências das falhas;
- Revisar brevemente os conceitos de bombas centrífugas, manutenção e análises preditivas através de vibrações mecânicas;
- Propor cronograma para realizar a manutenção corretiva do equipamento.

1.4 Justificativa

Normalmente, as falhas advêm dos componentes das bombas desgastados. Dentre os principais fatores que ocasionam o desgaste prematuro em componentes de máquinas e equipamentos estão: desalinhamento, desbalanceamento, aumento de cargas vibratórias, manutenção imprópria, torque inadequado em parafusos e porcas e, problemas estruturais na fundação. Por isto, é recomendado realizar a manutenção do equipamento de maneira correta, conforme as orientações do fabricante. Para monitorar o equipamento, a manutenção preditiva identifica através da análise de vibrações as condições do conjunto. Quanto a análise de falhas auxilia na prevenção ou solução das falhas apresentadas, através do método FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falhas.

Para realização do FMEA, é necessário rever especificações relacionadas as bombas como funcionamento e componentes. Posteriormente, deve-se levantar os problemas já ocorridos e os modos de falha em potencial que ainda não ocorreram. Deve ser considerado que para cada falha levantada deve-se ter um efeito relacionado, para assim classificar quanto ao grau de severidade, controles por falha, controles por causa, dentre outros.

Para a empresa na qual foi realizado este estudo, o presente trabalho poderá contribuir para a melhoria na qualidade dos produtos fornecidos, redução de desperdícios, aumento da disponibilidade e auxiliar no método de trabalho, orientando os operadores sobre a correta procedência para inspeção preditiva realizada mensalmente através de uma ordem de manutenção.

Este estudo é de extrema importância para a autora deste trabalho, pois deve: ampliar o entendimento acerca de bombas centrífugas; possibilitar a aplicação do conhecimento adquirido

em sala de aula; desenvolver a capacidade na resolução de problemas e dar oportunidades a especialização. Obtendo assim experiência no campo, na avaliação e no tratamento de dados.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

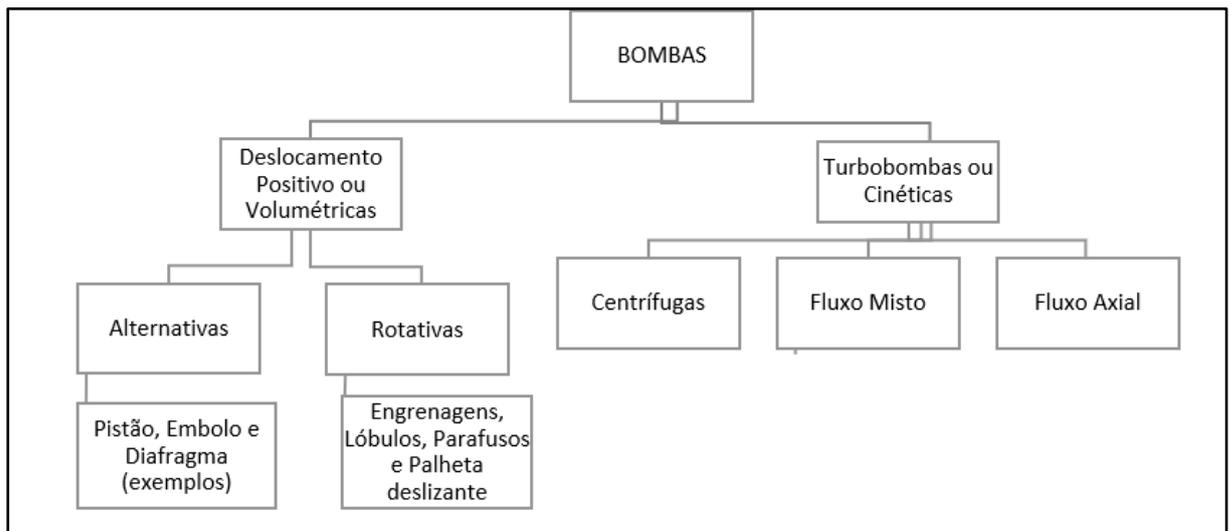
3.1 Bombas

Segundo FILHO (2015), as bombas tem como função transferir um determinado fluido inicialmente em repouso de um ponto X a um ponto Y, onde estes representam reservatórios ou tanques. Os fluidos mais comuns em sistemas de bombeamento são: água, efluentes, petróleo, derivados de petróleo e etanol. As bombas recebem trabalho mecânico e transforma em energia hidráulica, acrescento a ele energia do tipo cinética e potencial.

3.1.1 Classificações

Normalmente, as bombas são subdividas em: deslocamento positivo e turbobombas. A principal diferença entre elas é que a primeira possui espaço definido para a ocupação do fluido pelo seu interior, trabalha com baixas e médias rotações e, altas pressões de trabalho. Por outro lado, as turbobombas possuem vazão contínua, o fluido bombeado não possui o mesmo sentido de movimento e direção que os elementos de bombeamento e, são submetidas a trocas de energia devido a efeitos dinâmicos. (BRASIL,2010)

Figura 1: Classificação Geral das Bombas



Fonte: Adaptado de BRASIL (2010)

As bombas de deslocamento positivo podem ser alternativas ou rotativas. As alternativas obrigam o fluido a executar o movimento do impulsor que podem ser diafragmas

ou pistão. Já as Rotativas a energia de pressão é transferida ao fluido por meio de rotores. Para objeto deste trabalho, as turbobombas são as indicadas. Estas são classificadas como: centrífugas, de fluxo misto e de fluxo axial.

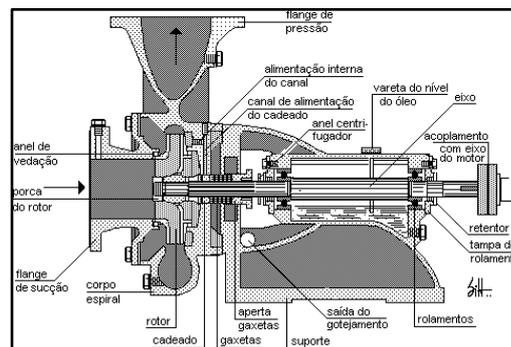
Segundo BRASIL (2010), as bombas centrífugas caracterizam-se pela inserção do líquido que penetra no rotor em planos paralelos ao eixo e seguem para periferia em planos normais ao eixo. Ele caracteriza que nas bombas axiais o líquido penetra no rotor em planos paralelos ao eixo e na saída, torna-se uma hélice cilíndricas onde devido ao movimento das pás que geram um vórtice forçado. Por fim, como caso intermediário, para vazões e alturas médias, ele define as bombas de fluxo Mistas. Este trabalho destaca o desenvolvimento de bombas centrífugas, apresenta-se a seguir um subcapítulo dedicado a estas.

3.1.2 Bombas Centrífugas

A bomba centrífuga movimenta o líquido através do giro do seu rotor que provoca um diferencial de pressão entre seu interior e sua linha de sucção (P_{atm}). O líquido ao passar pelo olhal do rotor, adquire altas velocidades e ao sair pelas palhetas para a carcaça, sofre um aumento de pressão e redução de velocidade.

Dentre as vantagens da aplicação das bombas centrifugas podemos citar: vazão uniforme, baixo custo de manutenção, ocupam pouco espaço e apresentam baixos ruídos. Porém apresentam como desvantagens: aspiração difícil, baixo rendimento e necessidade de escorva antes da operação (LIMA, 2003).

Figura 2: Bomba centrífuga



Fonte: FORNER (2013)

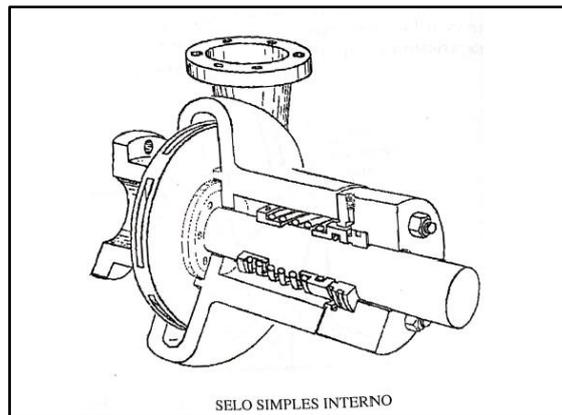
3.1.2.1 Componentes

Dentre os principais componentes de uma bomba centrífuga podemos citar: o rotor, carcaça, o eixo, caixa de vedação, anéis de desgaste e mancais.

O rotor ou impelidor fornece energia cinética e de pressão ao líquido, através do movimento circulatório que é transmitido pelo eixo. Possui também um olhal, por onde o fluido entra, e palhetas que guiam o fluido até a descarga. O Rotor é projetado para atender as propriedades de vazão, rotação e altura manométrica da bomba centrífuga (LIMA, 2003).

A carcaça é responsável por coletar o líquido que sai do rotor, e guia-lo para a saída, é o responsável por reduzir a velocidade do líquido e aumentar sua pressão

Figura 3: Selo Mecânico



Fonte: LIMA (2003)

A caixa de vedação é uma peça onde fica instalado o elemento vedador que pode ser de gaxetas ou por selo mecânico. Como o líquido bombeado trata-se de um líquido inflamável e perigoso, ele não pode vaziar para o meio externo por isso selecionaremos o selo mecânico.

Dentre as vedações por selo e gaxetas, é visível que há diferenças no custo, na facilidade de montagem, na recuperação de peças, onde no selo é possível, e no posicionamento no eixo para vedação -nas gaxetas é ao longo do eixo e o selo é perpendicular- (LIMA, 2003).

3.1.2.2 Defeitos comuns

De acordo com MATTOS (2019/1998) e LIMA (2003) existem diversos motivos para alguns defeitos e falhas comuns em bombas centrífugas. Dentre os motivos citados, que são comuns para a ocorrência de falhas, são: o desgaste de mancal, desbalanceamento do rotor, eixo empenado ou a falta de escorva antes da operação.

Exemplos de problemas que podem ocorrer são:

- Quando a bomba vibra, deve -se atentar a vazão da operação que não pode estar excessivamente baixa, verificar o desalinhamento das tubulações devido a dilatação térmica, fundações incorretas, rolamentos gastos ou com muitas graxas, rotor desbalanceado, entre outros.
- Quando o selo mecânico vaza excessivamente deve-se verificar o desalinhamento da tubulação, eixo empenado, seleção ou instalação incorreta do selo mecânico, buchas dos eixos, anel de vedação ou juntas desgastadas, rotor desbalanceado, entre outros.
- Quando o rolamento apresenta vida curta deve-se verificar o desalinhamento interno da bomba e da luva, se as caixas de rolamento estão avariadas ou se há poeiras, se a lubrificação está adequada (tipo e nível), entre outros.

Vale ressaltar que a bomba deve possuir uma fundação resistente para suportar todos os esforços ou vibrações e, evitar o desalinhamento conjunto motobomba.

3.2 Análise de Falhas

A NBR 5462 (1994) determina que a falha é o término da capacidade de um equipamento em desempenhar a função requerida. E, que a causa dessa falha advém de circunstâncias relativas ao projeto, fabricação ou uso que a conduz.

Para identificar pontos fracos do sistema e melhorar continuamente os processos, pode-se aplicar análises através de técnicas de confiabilidade como: o FMEA – Análise dos Modos e Efeitos de Falhas e FTA- Análise de Árvores de Falhas. Estas técnicas auxiliam a identificar e eliminar possíveis ocorrências de falhas e determinar a prioridade para as ações a serem tomadas (FOGLIATTO, 2009).

AFFONSO (2014, pág. 01) esclarece que “A falha ocorre quando um equipamento não é mais capaz de executar sua função com segurança (...). A análise dessa falha deve determinar os fatores que impediram que todas as fases do equipamento fossem cumpridas com sucesso, obtendo explicação para os eventos passados até um ponto em que seja possível tomar uma medida que bloqueará a repetição do problema”.

Objetivando o aumento da confiabilidade, a redução dos custos de manutenção e redução de acidentes pessoais ou ambientais. AFFONSO (2014), defende que para uma análise completa de falhas deve-se registrar sistematicamente as observações e conclusões, seguindo os passos:

1. Levantar dados sobre observações feitas em campo, como histórico de manutenção, análises de vibrações, dados de performance e de operação.
2. Organizar os dados de falhas em ordem cronológica
3. Analisar os dados como problemas de processos que se modificados poderiam ter prevenido a falha.
4. Registros de Implementação de melhorias e relatórios.

Relacionando a NBR 5462 (1994) e AFFONSO (2014), as principais falhas encontradas em equipamentos podem ser encontradas na tabela abaixo:

Tabela 1: Falhas comuns em equipamentos

TIPO	PRINCIPAIS CAUSAS
Falha por uso inadequado	Condições, manutenção inadequada ou solicitações acima da capacidade do equipamento.
Falha por Manuseio	Erros de Montagem ou instalação e no manuseio do equipamento
Falha por fragilidade	Falhas na seleção e imperfeições de materiais
Falha do projeto	Falha em um item projetado como entalhes mecânicos ou mudanças de projeto.
Falha da fabricação	Deficiências na fabricação referente a não conformidade de um item ou com o processo de fabricação especificado.

Fonte: Adaptado de NBR 5462 (1994) e AFFONSO (2006)

3.2.1 Análise dos modos e efeitos de falhas- FMEA

A FMEA é um método de análise de confiabilidade qualitativo que estuda as falhas que podem existir para cada componente ou processos, determinando os efeitos desta falha em outros componentes ou em processos subsequentes e, sobre sua função. (NBR 5462, 1994)

FOGLIATTO (2009, pág. 173) define que FMEA: “É uma técnica de qualidade que tem como objetivos: (i) Reconhecer a avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo; (ii) Identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance da ocorrência dessas falhas e, (iii) Documentar um estudo criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo”.

Após estas análises gera-se um formulário que contém os componentes de um equipamento ou fases de um processo, a função do mesmo, os possíveis modos de falhas, causas e efeitos do mesmo, os índices: Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D), o fator de Risco (RPN) e quais as ações corretivas e preventivas devem ser tomadas (JARDIM,2016).

Figura 4: Modelo de FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHAS (FMEA)											
Universidade do Estado do Amazonas (UEA) - Escola Superior de Tecnologia (EST)											
Elaborado por: Hirla de Cássia Catro Jaqinon - Aplicável em: Bombas Centrifugas											
Item	Função	Modo Potencial de Falha	Efeito	S	Causa	O	Controle de Prevenção	Controle de Detecção	D	R	Ação Recomendada

Fonte: Adaptado de FOGLIATTO (2009)

De acordo com JARDIM (2016) e FOGLIATTO (2009) descrevem cada campo do formulário como:

- Cabeçalho: Campo de informações para identificação do equipamento ou processo no qual o FMEA será aplicado, o setor ou departamento de quem está envolvido no desenvolvimento e outras informações como data e revisão;
- Item/Componente: Elemento que constitui o equipamento a ser analisado;
- Função: Toda atividade desempenhada pelo componente, deve ser conciso. Caso tenha mais de uma função, deve-se separar em linhas para facilitar a identificação das falhas;
- Modo Potencial de Falha: Representa a maneira na qual um componente pode falhar em sua função (Não Conformidade);
- Efeito: São as consequências do modo potencial de falha;
- Severidade (S): Representa o impacto quantitativo (1 a 10) do efeito do modo de falha sobre a operação e sobre a satisfação do cliente;
- Causa: São as razões ou as deficiências possíveis que poderiam resultar no modo de falha;

- Ocorrência (O): é a frequência quantitativa (1 a 10) com que o modo de falha ocorre;
- Controle de Prevenção: Ação que antecipa os modos de falha.
- Controle de Detecção: Ação que corrige antecipa os modos de falha.
- Índices de Detecção (D): Estimativa para definir quantitativamente (1 a 10) se os meios atuais possibilitam a detecção dos modos de falha onde 10 significa nunca;
- Fator de Risco (RPN): Risk Priority Number – Grau de prioridade de risco, produto dos três índices (S, O, D);
- Ação Recomendada: Ações indicadas para os maiores riscos definidos pelo RPN.

Vale ressaltar a importância do preenchimento do formulário por etapas, descrevendo, por exemplo, toda função a fim de que seja possível visualizar o processo como um todo e facilitar o entendimento e a identificação de interfaces. Para gerar resultados consistentes deve-se garantir a análise das falhas por uma equipe multidisciplinar e garantir que todos os elementos estão sendo considerados (FOGLIATTO, 2009).

3.2.2 Análise de árvores de falhas – FTA

Esse método consiste em um diagrama de falhas no formato de árvore onde determina quais os modos de falha para componentes auxiliares ou processos subsequentes, e quais eventos externos podem resultar em um dado modo de falha de um item. (NBR 5462, 1994). Ou seja, é um diagrama que representa as combinações das falhas dos componentes de um sistema global.

FOGLIATTO (2009, pág. 173) define que FTA:” É uma técnica de qualidade que tem como objetivos: (i) Partindo de um evento topo indesejável, identificar todas as combinações de causas que podem originá-lo; (ii) Estudar a probabilidade de ocorrência dessas causas e, em função disto do evento topo; (iii) Priorizar ações que visam bloquear essas causas”.

Durante a estruturação da árvore de falhas, utiliza-se uma simbologia específica. Na figura abaixo são apresentados os eventos na árvore de falha:

Figura 5: Simbologia FTA

		SIMBOLO	NOMENCLATURA	DESCRIÇÃO
Evento Resultante	→		Retângulo	Resulta da combinação de vários eventos básicos. Pode ser mais desenvolvido.
Operador Lógico	→		Círculo	Evento/Falha básica, que não requer maiores desenvolvimentos.
Eventos Básicos	→		Casa	Um evento básico esperado ocorrer em condições normais de operação
			Diamante	Como o retângulo, mas não há necessidade de desenvolvimento.
			Triângulo	Símbolo de transferência

Fonte: Adaptado de FOGLIATTO (2009)

Assim que finalizar a estruturação do FTA relacionando os dados básicos de falha a cada evento básico. Deve-se calcular a probabilidade de ocorrência dos eventos resultantes. Esta probabilidade é calculada como (FOGLIATTO, 2009):

$$E: P(0) = \prod_{i=1}^n P(E_i)$$

$$OU: P(0) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(E_i))$$

Onde:

- $P(0)$: Probabilidade de ocorrência do evento resultante (output)
- $P(E_i)$: Probabilidade de ocorrência das causas que resultam o evento básico

Deve-se também encontrar a criticidade das causas básicas (probabilidade que demonstra qual é o componente mais críticos do sistema). Que é possível encontrar através (FOGLIATTO, 2009):

$$\text{Criticidade} = P(E_i) \cdot P(H/E_i)$$

Onde:

- $P(E_i)$: Probabilidade que o evento ocorra
- $P(H/E_i)$: Probabilidade condicional que o evento de topo ocorra dado que E_i tenha ocorrido.

3.3 Manutenção

De acordo com a NBR 5462 (1994), a manutenção é definida como o grupo de atividades destinado a proteger ou substituir um item em sua condição de operação. Tal preservação pode ocorrer visando permitir a continuidade da linha de produção, e também, satisfazer o intervalo de qualidade exigido.

Dentre os principais tipos de manutenção citados por KARDEC E NASCIF (2009) temos: a manutenção corretiva planejada ou não planejada, preventiva, preditiva e detectiva.

Figura 6: Tipos de Manutenção



Fonte: KARDEC E NASCIF (2009)

3.3.1 Manutenção Corretiva

Segundo KARDEC E NASCIF (2009) a manutenção corretiva consiste na correção da falha ou quando houver queda no desempenho esperado de um equipamento. Esta manutenção pode ocorrer de forma planejada onde leva-se em consideração o desempenho, ou não planejada, que é a correção da falha de maneira aleatória.

KARDEC E NASCIF (2009), relatam que a principal diferença entre elas é que a manutenção corretiva planejada possui um custo menor, com maior qualidade e segurança. Além disso, ela possibilita a verificação da melhor ocasião para realizá-la levando em consideração os interesses da produção, ela garante a existência de sobressalentes, equipamentos e de recursos humanos com qualificação necessária.

3.3.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é realizada com base no tempo, ou seja, em intervalos predeterminados, ou seguindo critérios prescritos. Apesar dessa manutenção proporcionar um bom gerenciamento de atividades e planos de manutenção através da previsibilidade de materiais e sobressalentes que serão utilizados, ela promove obrigatoriamente a retirada do equipamento da operação para a execução do serviço, aumenta os custos da manutenção com a mão de obra e substituição de componentes das máquinas.

Essa manutenção segue, normalmente, o manual do fabricante que não prevê, por exemplo, falhas humanas, faltas de sobressalentes, falhas em manutenção, entre outros (NBR 5462 1994; KARDEC E NASCIF,2009).

3.3.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é baseada no monitoramento contínuo e sistemático de mudanças técnicas de análise de estado ou parâmetros de equipamentos (OLINDA, 2018). Ela possui como objetivo demonstrar as condições do equipamento, utilizando como base o nível de desgaste e, buscando a otimização da vida útil do equipamento através de técnicas de acompanhamento como: estudos de vibrações, termografia, análise estrutural e análise de óleo, por exemplo.

Vale ressaltar que quando realizada corretamente, a manutenção preditiva possibilita determinar com antecedência a necessidade de intervenções e a redução de paradas não programadas diminuindo assim os custos na intervenção do equipamento. (BIESEK, 2019)

3.4 Análise de Vibrações

Esta ferramenta tem a finalidade de identificar, em máquinas rotativas, a fonte de origem do problema e/ou a parte do dispositivo, podendo identificar inclusive o problema em sua fase inicial. Ela aparece como sendo relevante à manutenção do dispositivo.

Por isto, BIESEK (2019, p. 24) esclarece que: “A análise de vibrações é dividida basicamente em quatro etapas: medição de vibração do equipamento (amplitude, frequência, etc.), levantamento das características do equipamento (velocidade, rotação dos componentes, condição de operação, elementos conectados), processamento do sinal e posterior confronto com um referencial”.

Quanto aos dados coletados, destacam-se a amplitude, a frequência e a fase. GALLI (2017) sintetiza o significado de cada uma das variáveis para a manutenção preditiva, sendo a amplitude a gravidade da anomalia, a frequência tipo da falha/anomalia e fase a especificação de causa.

Dessa forma, quando uma estrutura ou máquina opera, ela atende a frequência diretamente proporcional ao esforço realizado. Com isso, ao tomar a resposta de vibração em um ponto estático da estrutura, esta será resultado da soma das diferentes frequências de excitação.

Quando uma máquina é de um determinado tamanho, ela produz certo nível de vibração. No entanto, durante toda a operação, fatores como fadiga, desgaste, deformação e adaptação tendem a aumentar os níveis de vibração, resultando, portanto, em dinâmicas nos rolamentos de apoio e suporte (BIESEK, 2019).

Nesse contexto, entre as vantagens de sua aplicação, a análise de vibração é útil para quase todos os equipamentos, fornecendo informações nas condições normais de trabalho sobre seu funcionamento, sem desmontar o dispositivo e possibilitando a análise de seus componentes.

3.4.1 Técnicas para análise de vibração

Os principais parâmetros utilizados para a análise de vibração em bombas centrífugas são: velocidade de vibração, aceleração de vibração e envelope de aceleração.

- Velocidade de Vibração [mm/s], denotada por RMS: é utilizada para identificar falhas no conjunto mecânico, tais como: desbalanceamento, desalinhamento, folgas e falhas avançadas em rolamentos. De acordo com a ISO 10816-3 ela é apresentada em baixa frequência devido a sua ocorrência ser próximo a velocidade de rotação da máquina.
- Aceleração de Vibração denotada por Gs: É utilizada para detecção de falhas que ocorrem em alta frequências, tais como: engrenamento, rolamentos, pulsação de fluídos, entre outros.
- Envelope de Aceleração denotada por gE: É utilizada para identificar falhas mecânicas que geram choques (podendo ser de baixa energia), ou seja, geram sinais de vibração de baixas amplitudes e altas frequências (GALLI,2017).

3 METODOLOGIA

O principal meio para construção desse trabalho foi através de pesquisas bibliográficas, a respeito de estudos sobre o tema. Ademais, a pesquisa foi realizada em artigos, revistas e trabalhos monográficos sobre o assunto. Os critérios de inclusão foram estudos, que abordem as bombas centrífugas, com foco especial na manutenção das mesmas.

De acordo com LAKATOS; MARCONI (2013) é correto afirmar que a pesquisa é um procedimento reflexivo sistemático, controlado e crítico que permite descobrir novos fatos ou dados, relações ou leis, em qualquer campo do conhecimento.

Ademais, também é pesquisa de natureza básica, na qual busca-se respostas para problemas ou curiosidades que temos, é por meio dela que podemos entender um mundo novo PRODANOV; FREITAS (2013) definem pesquisa como um procedimento racional e sistemático, que tem o objetivo de proporcionar respostas.

Ainda, é classificada quanto a sua abordagem como qualitativa, ou seja, é uma forma de buscar conhecimento sem ser baseada em números, a preocupação maior é explicar o sentido dos fatos estudados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

No intuito de identificar os domínios das principais áreas a serem pesquisadas sobre o tema, foram realizadas buscas no portal de revistas como a Scientific Electronic Library On-line (SciELO) e, foram realizadas revisões bibliográficas em livros disponíveis em bibliotecas On-line e físicas tais como: AFFONSO (2014), FOGLIATTO (2009), MATTOS (2019) e LIMA (2003).

Os resultados obtidos neste trabalho foram realizados a partir de arquivos internos de vibração e de falhas do equipamento, disponibilizados pela distribuidora e que não podem ser amplamente divulgados devido ao sigilo empresarial. A partir deles e de visitas em campo, foi realizada uma análise de falhas utilizando o modelo da tabela FMEA - Método dos Modos e Efeitos de Falhas do autor FOGLIATTO (2009). Com a tabela, foram enumerados os itens que devem ser priorizados para a resolução e prevenção de falhas, com o objetivo de propor a manutenção corretiva do equipamento.

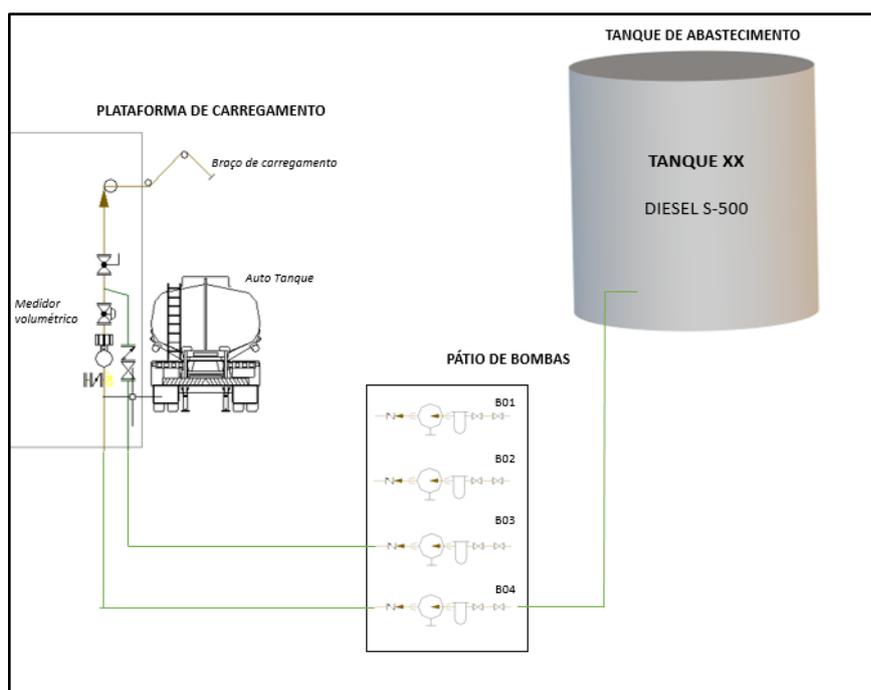
4 DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO

4.1 Local do Estudo

O Estudo foi realizado em uma praça de bombas de distribuição de combustíveis, que movimenta em média 65 m³ por dia de Diesel S-500. A bomba centrífuga atua diretamente na distribuição do combustível, desde o tanque de armazenagem até o local de descarga, na plataforma de carregamento, onde abastece caminhões tanques para transporte. Vale salientar que a plataforma é a responsável pela maior movimentação de produtos da distribuidora.

Cada conjunto motobomba apresenta em sua composição: um motor elétrico de indução trifásico de 40 CV e uma bomba centrífuga modelo: HERO H100E. O esquema abaixo representa a atuação dos conjuntos.

Figura 7: Esquema de atuação do conjunto Motobomba



Fonte: Autoria própria

4.2 Informações do Equipamento

Para a realização do estudo foi selecionada a bomba centrífuga de número 08 do pátio de bombas de diesel. Inicialmente, observa-se que a bomba apresenta um ruído elevado, um alto nível de vazamento de produto e uma vibração acentuada. No quadro abaixo, estão as informações do conjunto motobomba em estudo.

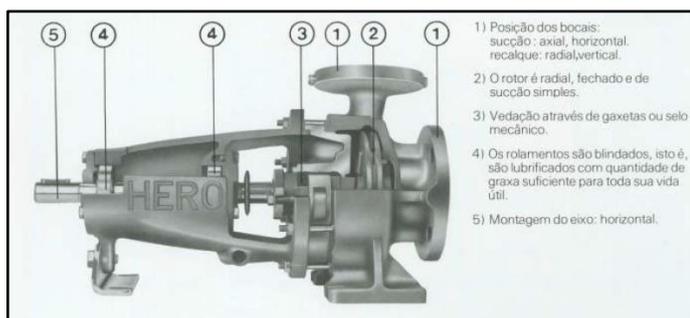
Tabela 2: Informações relevantes do equipamento

ÁREA	PRAÇA DE BOMBAS N° 03
BOMBA N°/ANO	HERO H100E/ B-08 / 1987
ROTOR	320
Vazão (m ³ /h) e Pressão (mca)	140/45
MOTOR / ACIONAMENTO	BUFALO S.A/ ELETRICO
POT./RPM	40 CV/1750 RPM

Fonte: Autoria própria

A bomba HERO H 100E é indicada para o bombeamento de líquidos limpos ou levemente contaminados. É uma bomba horizontal, bipartida, com simples estágio, descarga vertical e possui rotor fechado. Elas podem ser encontradas em diversos tipos de indústrias e trabalham com pressão de até 10 bar e com temperatura máxima de trabalho variando entre 105 °C a 160 °C e, mínima de -5°C (MANUAL DO FABRICANTE).

Figura 8: Especificações da bomba centrífuga H100E



Fonte: Manual do Fabricante

Em busca de verificar as condições reais do conjunto, antecipando seus possíveis defeitos de maneira rápida, simples e segura é realizado trimestralmente a análise de vibrações por uma empresa terceirizada. Embora a análise de vibrações tenha sido realizada anteriormente, não era sabido ao certo os motivos da bomba estar nesse nível de periculosidade.

Figura 9: Bomba centrífuga em estudo



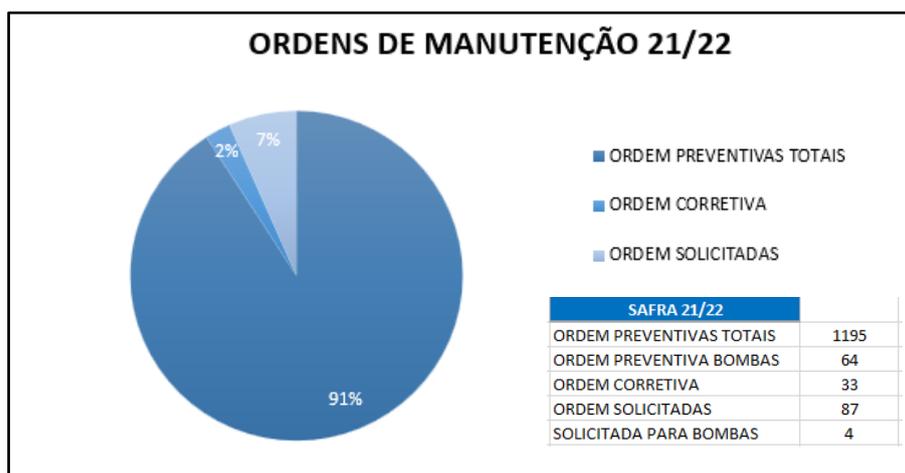
Fonte: Autoria própria

4.3 Quadro Atual da Manutenção

Há um setor de manutenção dentro da própria distribuidora, que é responsável pela verificação e algumas manutenções preventivas básicas nos equipamentos, incluindo as bombas. Esse setor de manutenção não é especializado em conjuntos motobombas, por isso há a necessidade de contratação de terceiros externos.

Através da figura 10 é possível analisar o quadro de manutenção da distribuidora no período de atividade da safra 21/22.

Figura 10: Ordens de Manutenção no SAP PM



Fonte: Autoria própria

Analisando os dados gerais é observado que, em sua maioria, as ordens de manutenção são preventivas e poucas ordens corretivas e solicitadas são geradas. As ordens preventivas são automaticamente geradas pelo sistema SAP-PM, para que se haja um controle da disponibilidade e de possíveis falhas.

O número de ordens corretivas e solicitadas são obviamente baixos pela presença do setor da manutenção interno da empresa, que evita a contratação externa com pequenas manutenções internas que não são lançadas no sistema. Conseqüentemente, o número de ordens corretivas e solicitadas são baixas.

Ao detalhar as ordens preventivas percebe-se que apenas 5% são relacionadas a bombas. Dentre estes estão, por exemplo, a verificação mensal de bombas do Sistema de Combate à Incêndio, inspeção em bombas diafragma e bombas de aditivos, inspeção trimestral e semestral de bombas centrífugas e a ordem de vibrações de bombas trimestral. Com isto, percebe-se que apesar das bombas centrífugas serem o principal meio de transferência de produtos da distribuidora, há pouca priorização em suas ordens preventivas para o acompanhamento das mesmas pela operação.

Além das falhas que ocorreram nesta bomba em estudo, existem outras falhas mais frequentes e com maior impacto na produção. Estes impactos são devidos ao tempo de carga dos caminhões que aumenta quando a bomba está inoperante. Estas circunstâncias foram cruciais para a escolha do equipamento em estudo.

4.4 Histórico do Equipamento

Através de dados internos da distribuidora, foi possível encontrar os eventos de paradas em diversos equipamentos. A partir disso, foram selecionados critérios para relacionar os eventos à bomba em análise, a fim de observar os detalhes pertinentes às falhas apresentadas.

Figura 11 :Eventos de falha do equipamento

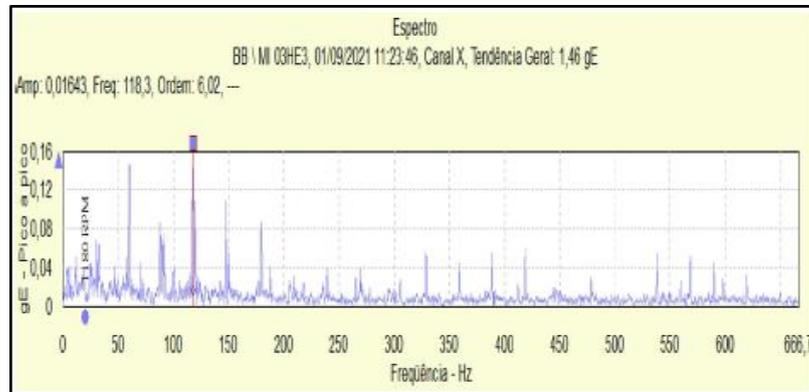
DATA INICIO	DATA FIM	HORA INICIAL	HORA FINAL	TEMPO FORA DE FUNCIONAMENTO	PROBLEMA	OBSERVAÇÃO
30/08/2021	-	19:00	-	0	Detectada vibração elevada em motor	Rolamentos com ruído
05/11/2021	01/09/2021	10:00	11:30	1,5	Realizada inspeção através da análise de vibração	Rolamento com ruído
06/11/2021	06/10/2021	13:30	14:50	1,33	Realizado Alinhamento a Laser (terceirizado)	Acoplamento com elemento elástico gasto
03/12/2021	-	10:00	-	0	Detectado nível de ruído elevado e vazamento de produto	Ruído

Fonte: Arquivos internos da distribuidora.

Conforme visto anteriormente, a análise de vibrações é capaz de determinar falhas em equipamentos como rolamentos, desbalanceamento, desalinhamento e folgas. Neste caso, a Velocidade de Vibração (6,52 mm/s) RMS indica uma amplitude de 0,02142, frequência de 135,6 ordem de 6,9. E Aceleração de Vibração (1,46 Gs) indica: Amplitude de 0,01643,

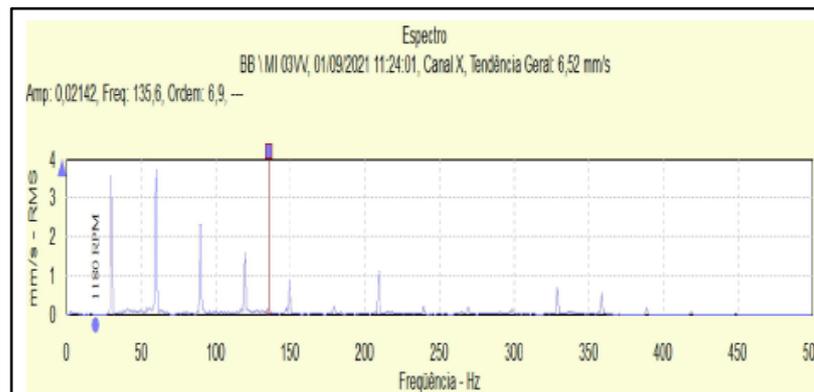
frequência de 118,3 ordem de 6,02. Estas características, resultam em sintomas de defeito no rolamento. Abaixo, pode-se verificar os gráficos da análise de vibração:

Figura 12: Análise de Vibração Pico a Pico 10⁻²



Fonte: Arquivos internos da distribuidora

Figura 13: Análise de Vibração RMS



Fonte: Arquivos internos da distribuidora.

A partir da inspeção por análise de vibração, onde foi detectada o excesso de vibração na bomba, procedeu-se com o alinhamento do equipamento. Tal procedência foi realizada erroneamente, pois a equipe de manutenção destacou que era necessária a substituição do rolamento. Além disso, verificou-se que o elemento elástico do acoplamento estava gasto e necessitava ser substituído. Em consequência de toda essa problemática, o resultado do alinhamento foi ineficaz.

A análise de vibrações sozinha não garante o aumento da confiabilidade e a redução de custos para o mercado competitivo atual. Pois sem a participação ativa de operadores informados e capacitados, as falhas retornarão a ocorrer. AFFONSO (2014), relata que: "Nem o melhor sistema de monitoração computadorizado existente no mundo, substitui as inspeções

periódicas feitas pelo operador”. Deve-se garantir com isso, que a operação faça interações diretas com os equipamentos e que tenham feedbacks de retornos de manutenção.

A análise de falhas FMEA será uma nova ferramenta para os operadores quanto a identificação das possíveis falhas que ocorrem, a fim de identificar ações e condições que possam gerar a repetição do problema observado com base no histórico do mesmo. A escolha do FMEA como método de análise vem da possibilidade de aplicar o conhecimento a outros equipamentos, por possibilitar essa interação com os setores envolvidos e por identificar pontos que não ficam tão claros somente pela análise de vibrações como, por exemplo, o vazamento no selo mecânico e a redução da vida útil.

4.4 Elaboração dos Resultados por análise falhas

Conforme dito anteriormente, o método selecionado, também o mais adequado, para este equipamento foi o FMEA - Análise dos modos e efeitos de falhas, que identifica ações prioritárias para a melhoria ou eliminação das falhas, além de reduzir a possibilidade da mesma falha posteriormente e por elencar todos os possíveis modos de falha, mesmo que não possua uma alta consequência.

Para dar início a análise de falhas, foram levantados os dados sobre a performance da bomba, das análises de vibrações realizadas anteriormente e de como era a operação no qual ela estava inserida. Após isso, com dados da distribuidora, foi realizada a organização em ordem cronológica dos modos de falha e a seleção específica das falhas que influenciavam diretamente no equipamento. Foi verificado, também, se havia alguma condição que se alterada, modificaria a situação da falha, ou seja, se tornaria reversível a condição do equipamento.

Seguindo o método de estruturação da tabela FMEA, foram considerados os principais componentes defeituosos e feito uma pesquisa bibliográfica para o embasamento das causas, efeitos, medidas preventivas, corretivas e ações recomendadas. Posteriormente, foram verificados os índices: Severidade (nível de percepção da operação), Ocorrência e Detecção (se falha será detectada pelas medidas preventivas).

Por fim, para a conclusão da tabela, realizou-se os registros de melhorias através dos relatórios terceiros e foi disponibilizada a planilha FMEA para os setores de manutenção e operação.

Ao analisar a planilha FMEA e selecionar os principais equipamentos com os modos de falhas, é possível enumerar as ações prioritárias que a manutenção corretiva deve seguir:

1. Mancais de rolamento (R 98): o ruído e a vibração elevada são os principais efeitos identificados, como ação imediata deve-se verificar a substituição dos rolamentos e componente danificados (AFFONSO, 2012);
2. Mancais de rolamento (R 72): a Fratura do mancal por desalinhamento ou pela montagem incorreta, deve-se realizar a inspeção dos sistemas e componentes auxiliares para garantir o correto funcionamento da bomba;
3. Selos Mecânicos (R 64): O desalinhamento das tubulações é o principal motivo para a redução da vida útil, segundo LIMA (2003) deve-se verificar os níveis da linha;
4. Selos Mecânicos (R 56): A instalação incorreta do selo mecânico ou o desalinhamento dos mancais podem gerar vazamentos no selo, por isto, deve-se verificar o alinhamento do eixo e verificar os mancais de rolamento e componentes danificados (AFFONSO, 2012);
5. Selos Mecânicos (R 49): A presença de minerais no filme do fluido de lubrificação, pode ocasionar um vazamento devido ao desgaste da face seladora. Por isto, deve-se garantir uma lubrificação limpa através da limpeza dos filtros ou segundo LIMA (2003) pode-se procurar uma fonte externa.

No APÊNDICE A, consta a planilha FMEA - Análise dos modos e efeitos de falhas completa, com outros itens relevantes para a manutenção do equipamento.

4.5 Cronograma da Manutenção Corretiva

Para a realização de um serviço de manutenção com segurança, qualidade e em tempo hábil, foi escolhido realizar uma manutenção corretiva planejada seguindo o escopo definido antecipadamente, no melhor momento da produção.

Este escopo foi definido a partir da planilha FMEA gerada (APÊNDICE A), que apresentava como principais pontos de melhoria a substituição do mancal de rolamento e selo mecânico, a limpeza dos filtros, a verificação de parafusos e porcas e a inspeção do sistema como tubulações, acoplamentos e eixos.

Como a bomba estava em estado de alerta, iminente de parada, foram verificados inicialmente quais os passos são priorizados pela FMEA e qual o tempo necessário para execução da manutenção. A tabela abaixo, demonstra este planejamento:

Tabela 03: Planejamento de manutenção corretiva

ITEM	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	17/jan	18/jan	19/jan	20/jan	21/jan	22/jan
1	Drenagem do sistema de tubulações	X					
2	Desacoplamento do conjunto motobomba	X					
3	Troca do selo Bomba Centrífuga		X	X	X		
4	Troca do rolamento da bomba		X	X	X		
5	Teste hidrostático na bomba					X	
6	Limpeza dos Filtros da bomba			X			
7	Alinhamento da Tubulação de Recalque		X				
8	Acoplamento do conjunto motobomba						X
9	Verificação de Parafusos e Porcas com aperto por torquímetro						
10	Alinhamento do conjunto motobomba						X

Fonte: Autor,2022.

Após a realização da manutenção corretiva do equipamento, foram verificados e validados alguns itens recomendados pelo FMEA:

- A tubulação de recalque possuía um desalinhamento horizontal de aproximadamente 7 cm da bomba;
- Houve a quebra do elemento elástico ao desacoplar a bomba;
- Havia presença de desgaste nas faces de contato do selo;
- Havia desgaste aparente nos rolamentos da bomba;

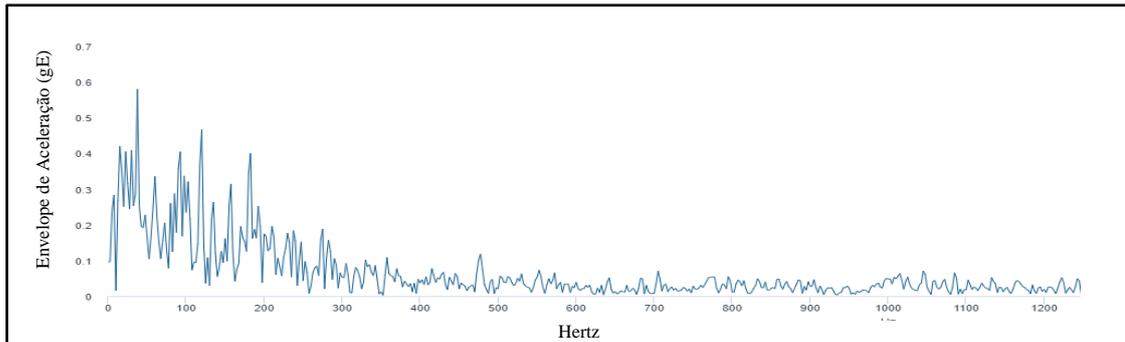
4.6 Comprovação da Solução

Após a manutenção corretiva, foi realizada uma nova análise de vibrações no qual é percebido que o gráfico apresenta amplitude regulares. Comparando os valores do envelope e do nível de vibração com as frequências admitidas pelo rolamento utilizado 6307 NSK, percebe-se que o mesmo está dentro dos limites admitidos segundo o fabricante (em anexo) para esta aplicação.

Quanto a troca do selo mecânico, percebe-se que o problema foi cessado pois não houve mais vazamentos após a substituição, tornando assim o ambiente seguro para a operação. Estes resultados positivos comprovam a eficiência da manutenção corretiva seguindo a prioridade dada pela análise falhas juntamente com as análises de vibrações.

Para dar continuidade na melhoria dos equipamentos, é recomendado que haja continuidade da aplicação da planilha em outras bombas centrífugas por parte da manutenção e, que hajam treinamentos para os operadores quanto ao correto manuseio e funcionamento acerca de bombas centrífugas.

Figura 14: Análise de Vibração – Pico a Pico 10^{-1}



Fonte: Arquivos internos da distribuidora.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, pode-se afirmar que o método de análise de vibrações somado com o método de análise de falhas – FMEA são capazes de identificar pontos-chaves para realizar uma manutenção corretiva com segurança, eficácia e de forma planejada. Através da pesquisa qualitativa foi possível o embasamento teórico para as causas e consequências das falhas, o que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Neste estudo a tabela FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha, identifica e prioriza as intervenções dos modos de falhas para realização da manutenção. Por ser aplicável a bombas de processo, pode ser utilizada nas demais bombas da distribuidora a fim de prevenir falhas que ocorreram neste estudo. E, conseqüentemente os níveis de produtividade, confiabilidade e satisfação dos clientes subirá.

A proposta sugerida para manutenção do equipamento, foi no período de baixa temporada, para influenciar o mínimo da operação. Levou-se em consideração a necessidade de verificar e intervir todos os componentes da bomba centrífuga e auxiliares, para evitar o retrabalho e falhas futuras. É sugerido, também, o aumento das ordens preventivas para o equipamento e a realização de treinamentos dos operadores, a fim de diminuir falhas.

Vale ressaltar que todos os itens com falhas encontrados foram devidamente tratados e foi realizado o alinhamento final do eixo da bomba. Como a distribuidora não possui mecânicos próprios para o serviço interno, essas manutenções foram realizadas por empresa terceirizada que forneceu todas as informações relevantes para este estudo. As fotos e alguns relatórios encontram-se em anexo.

6 REFERÊNCIAS

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

AFFONSO, Luiz Otávio Amaral. **Equipamento mecânicos: análise de falhas e soluções de problemas**/ Luiz Otávio Amaral Affonso. 3ªed- Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2014.

BIESEK JÚNIOR, Luís Carlos. **Deteção de desalinhamento por análise de vibração**. 84 folhas. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica. PATO BRANCO. 2017.

BONFIM, Paulo Roberto Santos. **Estudo experimental da potencialidade do uso da termografia para avaliação do desalinhamento de máquinas rotativas na indústria**. 87 folhas. Dissertação de Mestrado. Recife: O Autor, 2013.

FERNÁNDEZ, M. F. y., Netto, A. **Manual de hidráulica**. Brasil: Editora Blucher,2018.

FILHO, G. F., **Bombas, Ventiladores e Compressores – Fundamentos**, Editora Érica, São Paulo, 2015.

FOGLIATTO, Flávio Sanson. **Confiabilidade e manutenção industrial**/Flavio Sanson Fogliatto e José Luis Ribeiro Duarte- Rio de Janeiro: Elsevier,2009.

FORNER, Rodrigo Heitor. **Avaliação da eficiência energética em sistemas de bombeamento de vazão variável com bombas centrífugas usando inversor de frequência**. Caxias do Sul, 2013.

GALLI, Vinicius Barcos. **Manutenção Preditiva por Análise de Vibração Mecânica em Máquinas Rotativas: Estudo de caso**. 96 folhas. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica. Guaratinguetá – SP. 2017

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017

JARDIM, João Victor Abdallah; RIFFEL, Douglas Bressan; COSTA, André Luiz de Moraes. **Análise de falhas de uma Bomba Centrífuga**. IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 21 a 25 de agosto de 2016, Fortaleza – Ceará.

KARDEC, A.; NASCIF, J.; BARONI, T. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2007.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Abordagem Qualitativa Na Pesquisa Em Administração: Um Olhar Segundo a Pragmática da Linguagem**. 2013.

LIMA, Epaminondas Pio C. **Mecânica das Bombas**- 2 ed. -Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2003.

MATTOS, Edson Ezequiel de; FALCO, Reinaldo de. **Bombas industriais** / Edson Ezequiel de Mattos, Reinaldo de Falco – 2 ed. – Rio de Janeiro: Interciência- 1998. Reimpressão, Rio de Janeiro: Interciência- 2019.

PRODANOV, Cleber Cristiano. Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: **métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** / Cleber Cristiano Prodanov, Ernani Cesar de Freitas. – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013. S

SITES

BRASIL, Alex N. **Apostila de Máquinas Termohidráulicas de fluxo**. 01 de fevereiro de 2010. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/LOQ4015/capitulo3_bombasclassificacaoedescricao.pdf>. Acessado em: 24 de agosto de 2022.

MANUAL DO FABRICANTE. **Bombas Hero**. Weir Minerals. Disponível em: <https://www.amboretto.com.br/br/downloads/catalogos/Linha_HERO.pdf>. Acessado em: 02 de julho de 2022.

MANUAL DO FABRICANTE. **Rolamento 6307 Z**. NSK. Disponível em: <<https://medias.schaeffler.com.br/pt/produto/rotary/rolamentos%2c-mancais-de-deslizamento/rolamentos-de-esferas/rolamentos-rigidos-de-esferas/6307/p/355614#Product%20Information>>. Acessado em: 02 de julho de 2022.

7 APÊNDICE A: TABELA DE ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA)

Universidade do Estado do Amazonas (UEA) - Escola Superior de Tecnologia (EST)

Item	Função	Modo Potencial de Falha	Efeito	S	Causa	O	Controle de Prevenção	Método de Detecção	D	R	Ação Recomendada
Mancais de rolamento	Suportar o eixo da Bomba.	Redução da sua vida útil.	Bomba Inoperante e defeito em componentes.	9	Fratura do mancal pelo desalinhamento ou montagem incorreta.	8	Treinar o pessoal para montagem correta dos mancais e verificar os limites de desalinhamento para o rolamento utilizado (AFFONSO,2012).	Não funcionamento da Bomba.	1	72	Substituir rolamentos, inspecionar componentes do sistema tais como tubulações que podem forçar a bomba (LIMA, 2003).
			Ruído anormal e Vibrações elevadas.	7	Desgaste e aumento da rugosidade devido à falta de lubrificação.	7	Utilizar graxa Molyguard CF-2. A quantidade sugerida para este rolamento é de 8,4 gramas ($G = 0,005 \times D \times B$).	Vibração excessiva e Ruídos característicos.	1	49	Reabastecer o copo nivelador (LIMA,2003). Substituir rolamentos e componentes danificados.
			Descoloração da Superfície metálica do rolamento.	7	Aquecimento elevado (AFFONSO,2012).	5	Utilizar graxa Molyguard CF-2. A quantidade sugerida para este rolamento é de 8,4 gramas ($G = 0,005 \times D \times B$).	Aspecto visual dos rolamentos e a deterioração prematura do óleo lubrificante (AFFONSO,2012).	1	35	Inspeccionar e substituir rolamentos e componentes danificados (AFFONSO,2012).
			Deflexão e Empeno do Eixo (LIMA,2003).	8	Manuseio inadequado pelo eixo.	5	Treinar o pessoal para manuseio (AFFONSO,2012).	Inspeção dos rolamentos (JARDIM,2015) e verificar concentricidade do eixo.	1	40	Inspeccionar e substituir rolamentos e componentes danificados (AFFONSO,2012).

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA)

Universidade do Estado do Amazonas (UEA) - Escola Superior de Tecnologia (EST)

Item	Função	Modo Potencial de Falha	Efeito	S	Causa	O	Controle de Prevenção	Controle de Detecção	D	R	Ação Recomendada
Selo Mecânico	Impedir o vazamento de fluidos contaminantes e inflamáveis.	Vazamento pelo Selo Mecânico.	Bomba inoperante e danos ao selo e componentes auxiliares	9	Deflexão, empeno ou desalinhamento do eixo.	5	Verificar as condições do eixo e mancais.	Inspeção do Nível de Vazamento.	1	45	Alinhar o eixo e substituir componentes danificados.
		Desgaste na face rotativa.	Desalinhamento radial e Face rotativa descentralizada	7	Instalação incorreta do selo mecânico. Ou desalinhamento dos mancais (AFFONSO,2012).	8	Verificar alinhamento dos mancais e checar concentricidade da câmara de selagem.	Análise de Vibração e Inspeção visual.	1	56	Inspeccionar e substituir componentes danificados.
		Desgaste na Face de vedação.	Presença de minerais no filme de fluido. Nível elevado de vibração.	7	Partículas abrasivas entre as faces de selagem ou selo mecânico sem lubrificação (AFFONSO,2012).	7	Treinar pessoal para operação. Utilizar líquido de selagem limpo de fonte externa (LIMA, 2003).	Análise de Vibração e Observação de funcionamento sem escorva.	1	49	Garantir uma lubrificação limpa, realizar limpeza periódica nos filtros., evitar operação sem escorva.
		Redução da vida útil do Selo Mecânico.	Desgaste em partes do Selo Mecânico.	8	Desalinhamento devido a dilatação da tubulação (MATTOS,2019).	8	Treinar o pessoal para operação e verificar irregularidades na linha do líquido de selagem (LIMA, 2003).	Realizar medições de nível e inclinação das tubulações.	1	64	Verificar alinhamento de tubulações após entregas de obras.

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA)

Universidade do Estado do Amazonas (UEA) - Escola Superior de Tecnologia (EST)

Item	Função	Modo Potencial de Falha	Efeito	S	Causa	O	Controle de Prevenção	Controle de Detecção	D	R	Ação Recomendada
Parafusos	Transferência de Cargas entre componentes.	Folga.	Vibração elevada e descontrolada, danos a componentes como mancais, eixos e selos (JARDIM,2015).	9	Pré-carga inicial insuficiente (AFFONSO,2012).	1	Inspeccionar folgas em parafusos da base	Inspeção visual. Análise de vibração.	5	45	Realizar aperto com torquímetros ou equipamentos hidráulicos. Inspeccionar componentes do sistema.
		Escorregamento. Quebra por fadiga.		9	Reutilização de parafusos.	1	Inspeção visual dos filetes, alongamento e oxidação (AFFONSO,2012).	Inspeção visual. Análise de vibração.	5	45	Realizar a substituição imediata. Inspeccionar componentes do sistema.
Porcas	Fixação dos parafusos.	Escorregamento.		9	Desgaste das porcas.	1	Inspeção visual das folgas.	Inspeção visual. Análise de vibração.	5	45	Realizar a substituição imediata. Inspeccionar componentes do sistema
Acoplamento	Realizar a transmissão de torque	Ressecamento na borracha	Calor excessivo devido ao contato por fricção	8	Desalinhamento (GALLI,2017)	1	Realizar o treinamento do pessoal para detectar desalinhamento	Inspeção visual. Análise de vibração.	5	40	Realinhar com relógio comparador ou a laser.
Eixo	Transmissão de potências e suporte de componentes rotativos	Desgaste do eixo	Altas vibrações	8	Manuseio inadequado. Altos torques de trabalho. (GALLI,2017)	5	Realizar o treinamento do pessoal para manuseio. Verificar relação L/D do eixo com o torque requerido.	Análise de vibrações (pico com 1xRPM se perto do centro ou 2X RPM se próximo ao acoplamento).	1	40	Verificar empenamento de eixo.

8 ANEXOS

MANUTENÇÃO CORRETIVA

Figura: Limpeza do equipamento



Fonte: Empresa Terceirizada de manutenção

Figura: Substituição do Selo mecânico



Fonte: Empresa Terceirizada de manutenção

Figura: Substituição de Rolamentos



Fonte: Empresa Terceirizada de manutenção

Figura: Indicações do fabricante

Bearinx Bearing analysis		SCHAEFFLER
Table of contents		
1 Input		
Bearing		
Designation	6307	
Basic frequency factors related to 1/s		
Overrolling frequency factor on outer ring	BPFFO	3,0613
Overrolling frequency factor on inner ring	BPFFI	4,9387
Overrolling frequency factor on rolling element	BSFF	2,0132
Ring pass frequency factor on rolling element	RPFFB	4,0265
Speed factor of rolling element set for rotating inner ring	FTFF _i	0,3827
Speed factor of rolling element set for rotating outer ring	FTFF _o	0,6173

Fonte: Adaptado do Manual do fabricante