

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

BRUNO CAMPIONI

**ESTUDO DAS VANTAGENS DA SUBSTITUIÇÃO DE BOMBAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UM FRIGORÍFICO**

**CASCADEL – PR
2020**

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

BRUNO CAMPIONI

**ESTUDO DAS VANTAGENS DA SUBSTITUIÇÃO DE BOMBAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UM FRIGORÍFICO**

Trabalho apresentado como critério para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz.

Professor Orientador: Eng. Geovane Duarte Pinheiro.

**CASCADEL – PR
2020**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
BRUNO CAMPIONI**

**ESTUDO DAS VANTAGENS DA SUBSTITUIÇÃO DE BOMBAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UM FRIGORÍFICO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor (a) Geovane Duarte Pinheiro.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Eng. Geovane Duarte Pinheiro
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Controle e Automação



Professor Msc. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário
Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 15 de dezembro de 2020.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que se fizeram presentes em minha graduação, incentivando e me apoiando desde o início.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, que mesmo com toda dificuldade apresentada durante o período de graduação estiveram ao meu lado, me dando forças e perseverança, agradecer ao meu orientador por todo apoio e esclarecimentos, e a todos os outros professores que, de alguma maneira, auxiliaram na minha formação ao longo da graduação.

RESUMO

Esse trabalho propõe averiguar os planos de manutenção de um sistema de bombeamento de água em uma unidade frigorífica na cidade de Toledo no Paraná, após isso, serão verificadas as frequências de falhas apresentadas por estes equipamentos e realizado um estudo para verificar a viabilidade de substituí-los por equipamentos novos. O objetivo será a otimização dos equipamentos já utilizados, alterando e implantando novos planos de manutenção visando a redução das falhas apresentadas.

Palavras-chave: Bombas centrífugas. Manutenção. Planos de manutenção.

ABSTRACT

In the present study, it is going to be accomplish the verification of the Water Pumping System plans of maintenance for a refrigeration unit in Toledo, Paraná. After this, it will be verified the frequency of flaws that happened in these equipments and it will be made a research to find a viability to replace them for new ones. The focus will be on their optimization, altering and establishing new plans of maintenance looking for the reduction of the presented defects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bomba Centrífuga	17
Figura 2: Motor elétrico.....	18
Figura 3: Relação de bombas do sistema	27
Figura 4: Sistema de bombeamento.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de falhas	27
Tabela 2: Plano preventivo	32
Tabela 3: Plano preventivo atualizado	32
Tabela 4: Plano de inspeção de rota	32
Tabela 5: Plano de inspeção de rota atualizado	33
Tabela 6: Plano de lubrificação.....	33
Tabela 7: Plano preditivo	34
Tabela 8: Resultados dos planos atualizados.....	34
Tabela 9: Custos com manutenções não previstas	35

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Confiabilidade do equipamento:	23
Equação 2: Confiabilidade para sistemas em série:	24
Equação 3: Confiabilidade para sistemas em paralelo:	24
Equação 4: Tempo médio entre falhas:	24
Equação 5: Taxa de falhas:	24
Equação 6: Probabilidade de falhas	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LU_: Lubrificação

ME_: Mecânico

MTBF: Mean Time Between Failures

P: Probabilidade de falhas

R: Confiabilidade

V_TM_: Verificação de transmissão

V_ME_: Verificação mecânica

V_ES_: Verificação estrutural

λ : Taxa de falhas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 BOMBA CENTRÍFUGA	17
2.2 HIDRÁULICA.....	18
2.2.1 Fluido	18
2.3 MOTOR ELÉTRICO	18
2.4 MANUTENÇÃO	19
2.4.1 Manutenção preventiva.....	19
2.4.2 Manutenção preditiva.....	20
2.4.3 Manutenção corretiva	21
2.5 INSPEÇÕES DE ROTA.....	22
2.6 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	23
2.7 CONFIABILIDADE	23
3. METODOLOGIA	25
3.1 VERIFICAÇÃO DAS BOMBAS ATUANTES	25
3.2 ANÁLISE DAS FALHAS DAS BOMBAS	25
3.3 ANÁLISE DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO ATIVOS.....	25
3.4 ANÁLISE DOS CUSTOS GERADOS PELAS FALHAS	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4.1 ENTENDIMENTO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA	27
4.1 VERIFICAÇÃO DAS FALHAS APRESENTADAS	27
4.1.1 Cálculos referentes às falhas.....	28
4.2 ANALISE DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO DAS BOMBAS	31
4.3 TESTE DOS NOVOS PLANOS DE MANUTENÇÃO	34
4.4 CUSTOS GERADOS PELAS FALHAS NÃO PREVISTAS	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

Em decorrência da busca incessante de todas as empresas estarem reduzindo custos, faz-se necessário a adoção de métodos para que sejam otimizados os processos.

Visto que as empresas devem estar sempre produzindo ao máximo, dispondo os equipamentos atuando com toda sua capacidade por um longo período de tempo. Portanto, necessita-se que eles estejam em boas condições para que não hajam falhas durante o processo produtivo acarretando paradas indesejadas.

A manutenção está diretamente ligada ao processo produtivo das empresas, sempre na busca da redução de falhas indesejadas que acarretam em paradas do processo, consequentemente afetando nos custos da empresa.

Será executado um estudo voltado para o sistema de bombeamento de água de um frigorífico, analisando a quantidade de falhas apresentadas por estes equipamentos e verificando a possibilidade de otimização destes equipamentos, por meio de planos de manutenção mais efetivos.

Não se pode descartar a hipótese de substituição destes equipamentos por outros novos, porém, neste estudo estarei certificando se realmente se faz necessária a troca das máquinas do sistema de bombeamento para que haja uma redução das falhas imprevistas.

Para isto, será utilizada uma metodologia mista, buscando informações via sistema onde estará disponibilizando as quantidades de falhas apresentadas pelos equipamentos durante um período de tempo, em cima disso e de bibliografias disponíveis estaremos analisando as variáveis para otimização dos equipamentos. Também estarei buscando informações em livros e artigos para melhor desenvolvimento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e certificar se há necessidade de substituição das bombas de abastecimento de água conforme solicitado pela empresa.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma verificação dos planos de manutenções das bombas do sistema de bombeamento;

- Avaliar a quantia de paradas destes equipamentos;

- Levantar dados referentes aos custos gerados pela manutenção não planejada;

- Realizar cálculos para descobrir a confiabilidade deste sistema de bombeamento de água;

- Analisar a viabilidade de substituição de bombas centrífugas de água de um frigorífico.

1.2 JUSTIFICATIVA

A busca econômica no funcionamento de equipamentos em empresas faz com que elas procurem meios que auxiliem nesse processo. Desta maneira, a Engenharia de Manutenção auxilia na redução de falhas nos equipamentos por meio de planos de manutenção e estudos em cima das falhas para que não se repitam.

Falhas não previstas geram custos não previstos, por isso a confiabilidade dos equipamentos deve ter muita relevância após anos de uso. Tudo com o tempo se desgasta, portanto, a cada problema apresentado e a cada parada de equipamento deve haver estudo e replanejamento em cima.

Verificando a confiabilidade do equipamento e comparando com os custos gerados pelas manutenções, deve-se cogitar a aquisição de um novo equipamento para substituição, de tal modo que, por ser novo terá alto desempenho e qualidade na execução do serviço.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como o objetivo de todas as empresas é a redução de custos, sendo estes em qualquer área, manutenção ou não. É possível fazer um estudo de viabilização de troca de bombas antigas e obsoletas por novas e mais modernas? Podemos descartar a hipótese de substituição de equipamentos antigos sem antes realizar um estudo de suas manutenções e falhas?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será feita utilizando estudos realizados em sala de aula na disciplina de Manutenção Mecânica, com base em livros de manutenção e artigos, utilizando cálculos para verificação da confiabilidade dos equipamentos em comparação aos equipamentos novos em um frigorífico na cidade de Toledo – PR.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BOMBA CENTRÍFUGA

Segundo Alex N. Brasil (2020):

“Bombas são máquinas geratrizes cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo uma máquina geratriz, ela transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia, que é comunicado ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética. Alguns autores chamam-nas de máquinas operatrizes hidráulicas, porque realizam um trabalho útil específico ao deslocarem um líquido.”

As bombas são utilizadas nos circuitos hidráulicos, para converter energia mecânica em energia hidráulica. A ação mecânica cria um vácuo parcial na entrada da bomba, o que permite que a pressão atmosférica force o fluido do tanque, através da linha de sucção, a penetrar na bomba.

A bomba passará o fluido para a abertura de descarga, forçando-o através do sistema hidráulico.”

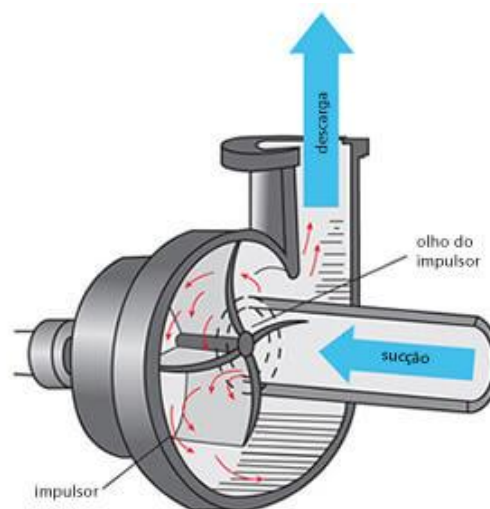


Figura 1: Bomba Centrífuga

(Fonte 1 Degraus (2019))

2.2 HIDRÁULICA

2.2.1 Fluido

“Fluido é uma substância que se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento (tangencial), não importa a quão pequena ela possa ser”. (FOX, 1998)

Os fluidos compreendem as formas líquida e gasosa nas formas físicas das quais a matéria existe, a distinção entre um fluido e o sólido é a comparação dos comportamentos. Um fluido se deforma continuamente quando lhe é aplicado uma força cisalhante, já o sólido não. (FOX, 1998)

Os fluidos assumem a geometria dos recipientes em que são armazenados.

2.3 MOTOR ELÉTRICO

Para Marco Aurélio da Silva (2020), Motor elétrico é uma máquina destinada a converter energia elétrica em energia mecânica. É o mais utilizado de todos os motores elétricos, pois combina a facilidade de transporte, economia, baixo custo, limpeza e simplicidade de comando. São máquinas de fácil construção e fácil adaptação com qualquer tipo de carga.



Figura 2: Motor elétrico

(Fonte 2 Lilo Redutores (2020))

2.4 MANUTENÇÃO

A NBR-5462 (1994) define manutenção como “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. Analisa-se que a norma define item como “qualquer parte, conjunto, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente”.

2.4.1 Manutenção preventiva

Segundo Acires Dias, manutenção preventiva é efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento de um item.

Segundo Paulo Samuel de Almeida, manutenção preventiva é a manutenção planejada e controlada, realizada em datas estipuladas, de modo a manter o equipamento em perfeitas condições de funcionamento, evitando paradas imprevistas.

Essa manutenção é oriunda de planos de manutenção que tem por objetivo reduzir ou evitar falhas ou também evitar quedas de desempenho. Este plano é elaborado baseando-se em intervalos definidos de tempo.

A manutenção preventiva procura evitar as ocorrências de falhas. Para alguns setores a implementação de uma manutenção preventiva é de suma importância para determinados sistemas ou componentes, pois, os fatores de segurança se sobrepõem aos demais.

Ainda segundo Paulo Samuel de Almeida, o roteiro do plano de manutenção para um equipamento é estipulado pela equipe de Engenharia de Manutenção, onde eles realizam um estudo em cima do equipamento e dos dados fornecidos pelo fabricante para saber quando e onde a manutenção deve atuar para que consigam garantir o melhor funcionamento evitando falhas. Partirá deles as informações necessárias para saber quais componentes substituir ou ajustar e em qual periodicidade.

Ao definir o roteiro do plano de manutenção preventiva, poderá existir dúvidas na implementação da periodicidade em que se deve atuar no equipamento, pois, nem sempre o fabricante do equipamento irá fornecer dados precisos para adoção destes no plano. Desta forma a periodicidade deve ser estipulada a partir de plantas similares, operando em condições também similares.

2.4.2 Manutenção preditiva

Segundo Acires Dias, manutenção preditiva busca a qualidade de serviço desejada com base na aplicação sistemática de técnicas de medições e análise, utilizando-se de meios de supervisão ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Segundo Paulo Samuel de Almeida, na manutenção preditiva é possível indicar as reais condições de funcionamento do equipamento de acordo com dados obtidos a partir dos fenômenos apontados por ele quando algum componente começa a se desgastar ou alguma regulagem se faça necessária. Este tipo de manutenção se baseia em inspeções periódicas, quando fenômenos como temperatura, vibração, ruídos excessivos ou demais fenômenos são observados por meio de instrumentos de medição específicos. Esta análise permite a observação das condições reais da máquina e o acompanhamento da evolução de um problema ou defeito, viabilizando o planejamento em curto prazo para uma intervenção de manutenção para troca de peças e a eliminação do problema apresentado.

Essa manutenção é também conhecida por manutenção sobre condição com base no estado do equipamento. É a atuação com base na alteração de parâmetros do equipamento, ou seja, alteração nas condições de trabalho que afetam no desempenho do equipamento. É necessário a realização de um acompanhamento das condições de trabalho do equipamento e, feitas correções quando necessárias para garantir o melhor funcionamento.

Ainda segundo Paulo Samuel de Almeida, o acompanhamento periódico através de instrumentos de medição e análise não é elevado e quanto maior for a evolução da tecnologia dos equipamentos envolvidos, maior

a redução de preços. A mão de obra envolvida não representa custo significativo, tendo em vista a possibilidade de acompanhamento também pelos operadores.

2.4.3 Manutenção corretiva

Segundo Acires Dias, manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma falha destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Segundo Paulo Samuel de Almeida, manutenção corretiva é um conjunto de procedimentos que são executados com o objetivo de atender imediatamente a produção ou o equipamento que apresentou parada. Atua-se imediatamente no equipamento para que se possa restabelecer o funcionamento o quanto antes. Estas intervenções nos equipamentos acabam se tornando prioridade no dia-a-dia do mecânico, pois estas paradas não previstas dos equipamentos na maioria das vezes acabam resultando em prejuízos para a empresa.

Essa manutenção implica diretamente na disponibilidade do equipamento e possui elevados custos, devido a parada do processo e a custos não programados para conserto do equipamento.

Essas quebras não planejadas têm consequências muito graves, a propagação dos danos pode ser maior do que o imaginado. Nas plantas industriais estão envolvidos em seu processo diversos fatores de risco, como: elevadas pressões, temperaturas, líquidos inflamáveis, e demais itens que se houver uma quebra de equipamento pode colocar em risco a saúde dos funcionários da empresa.

A manutenção corretiva pode ser dividida em duas formas, a corretiva planejada e a corretiva não planejada.

2.4.3.1 Corretiva planejada

Para Kardec e Nascif (2001), esta manutenção é a correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha, por decisão gerencial,

sendo assim, pela atuação em função do acompanhamento da condição, ou pela decisão de operar até a quebra.

A manutenção corretiva planejada é a que, quando o equipamento apresenta uma falha não necessita necessariamente que o reparo seja providenciado no momento, onde pode haver um planejamento para atuação.

2.4.3.2 Corretiva não planejada

Segundo a NBR-5462 (1994), a manutenção corretiva não planejada é definida como a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Esta, ao contrário da corretiva planejada, necessita que a equipe de manutenção interfira no momento em que ocorre a falha do equipamento, devido a parada do processo, risco de contaminação e outros fatores que possam interferir no correto funcionamento da empresa.

2.5 INSPEÇÕES DE ROTA

Segundo Pinto & Xavier (2005), a elaboração de rotas de inspeção baseadas na premissa da utilização dos cinco sentidos humanos possibilitaria a detecção de possíveis irregularidades e posterior bloqueio das mesmas, de modo a evitar paradas inesperadas.

Segundo Viana (2002), vale ressaltar que a primeira inspeção a ser aplicada em um equipamento consiste na sensitiva e caracteriza-se como uma atividade simplória. No entanto, faz-se necessário conceder a devida importância para elaboração deste tipo de plano de manutenção. Ainda segundo o mesmo autor, a inspeção consiste basicamente na observação da ocorrência de uma mudança no estado do equipamento, avaliando quesitos, tais como:

- a) ruído;
- b) temperatura;

- c) vibração;
- d) existência de vazamentos (se aplicado);
- e) folga;
- f) alinhamento;
- g) desgaste

2.6 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Segundo Jhonata Teles, a engenharia de manutenção projeta modificações e melhorias em equipamentos, processos ou sistemas, visando otimizar os três itens: confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade. Tendo como função do engenheiro de manutenção conduzir projetos em que se eleve algum dos três pilares, a partir daí se torna possível ter um processo de produção mais confiável, produtivo e seguro.

2.7 CONFIABILIDADE

Segundo NBR-5462, confiabilidade é a capacidade de um equipamento exercer uma função submetido a condições especificadas, durante um determinado período.

Confiabilidade é um cálculo de probabilidade. Tendo como base o histórico de falhas do equipamento, assim pode-se projetar um cenário futuro. Para obter este cálculo, necessita-se ter em mãos o MTBF – Tempo médio entre falhas e também a taxa de falhas do equipamento λ . Segue abaixo as equações para obtenção da confiabilidade:

Equação 1: Confiabilidade do equipamento: (I)

$$R = e^{-\lambda * t}$$

Equação 2: Confiabilidade para sistemas em série: (II)

$$R_t = (R^1 * R^2 * ... * R^n)$$

Equação 3: Confiabilidade para sistemas em paralelo: (III)

$$R_t = 1 - [(1 - R^1) * (1 - R^2) * ... * (1 - R^n)]$$

2.7.1 MTBF – Tempo médio entre falhas

Segundo NBR-5462, a sigla MTBF é oriunda do inglês Mean Time Between Failures, que traduzindo-se para o português significa Tempo Médio Entre Falhas. O Tempo Médio Entre Falhas é uma média aritmética dos tempos decorridos entre as falhas de um determinado equipamento durante a operação. Esta média aritmética é obtida pela divisão do somatório de horas em bom funcionamento pelo número de paradas para manutenção corretiva.

Equação 4: Tempo médio entre falhas: (IV)

$$MTBF = \frac{\text{Somatório de horas em bom funcionamento}}{\text{Número de paradas para manutenção corretiva}}$$

2.7.2 Taxa de falhas λ

Ainda segundo a NBR-5462, verifica-se que a taxa de falhas de um equipamento é o inverso da MTBF, onde pode ser obtido através da equação:

Equação 5: Taxa de falhas: (V)

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

3. METODOLOGIA

A partir do surgimento da demanda para que fossem substituídas as bombas que fazem parte do sistema de bombeamento de água para uma unidade frigorífica localizada em Toledo-PR, devido ao seu alto índice de falhas, foi solicitado ao setor de engenharia de manutenção para que fosse realizado um estudo em cima destas falhas e que, antes da compra dos equipamentos novos, houvesse uma intervenção para tentar solucionar estas falhas recorrentes.

Neste capítulo estará sendo explanado os objetivos específicos deste trabalho, mostrando formas que estarão sendo utilizadas para chegar aos resultados esperados.

3.1 VERIFICAÇÃO DAS BOMBAS ATUANTES

Será verificado quantas bombas fazem parte do sistema de bombeamento de água para a unidade frigorífica e o período de tempo que as mesmas trabalham por dia e condições de instalação.

3.2 ANÁLISE DAS FALHAS DAS BOMBAS

As análises serão realizadas verificando via sistema interno da empresa a quantidade de falhas apresentadas pelos equipamentos.

3.3 ANÁLISE DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO ATIVOS

A recorrência de anomalias apresentadas pelos equipamentos pode ser por conta de falhas nos planos de manutenção, ou por não realização das manutenções preventivas estipuladas pelos planos.

3.4 ANÁLISE DOS CUSTOS GERADOS PELAS FALHAS

A verificação dos custos gerados pelas falhas também será fornecida via sistema interno da empresa, a partir daí estarei partindo para a ideia de viabilidade de substituição dos equipamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ENTENDIMENTO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA

Foi realizada uma análise no sistema interno da empresa para que fosse possível identificar a quantidade de bombas que atuam no sistema de bombeamento de água da unidade. Nesta análise, conforme Figura 3, foram identificadas três bombas que fazem parte do sistema.

0355-U02-01-SBBOM-BBA01	BOMBA RECALQ 1 CX 2 SANTA INES
0355-U02-01-SBBOM-BBA02	BOMBA RECALQ 2 CX 2 SANTA INES
0355-U02-01-SBBOM-BBA03	BOMBA RECALQ 3 CX 2 SANTA INES

Figura 3: Relação de bombas do sistema

(Fonte: Sistema interno da empresa)

Em consulta com a supervisora do setor de tratamento de água da empresa, foi relatado que os três equipamentos atuam 24 horas por dia durante todo o ano.

4.1 VERIFICAÇÃO DAS FALHAS APRESENTADAS

Em consulta via sistema interno da empresa, onde todas as falhas são apontadas por notas de notificações que na sequência se tornam ordens de serviço para que a equipe de manutenção possa atuar, obteve-se a quantidade de falhas apresentadas pelos equipamentos durante o período de 01 de agosto de 2019 até 01 de agosto de 2020, sendo elas listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de falhas

Equipamento	Quantidade de falhas	Σ de horas paradas
Bomba 01	14	29,2
Bomba 02	9	16,7
Bomba 03	16	33,2

Tendo o número de falhas apresentadas pelos equipamentos, podemos iniciar os cálculos da confiabilidade destes na situação antes das alterações nos planos de manutenção.

Buscamos a informação em campo para compreender como estavam ligadas estas três bombas e pudemos observar que elas trabalham em paralelo, ligadas a mesma rede de água que chega à unidade. Tendo essas informações pudemos esboçar o sistema conforme Figura 4:

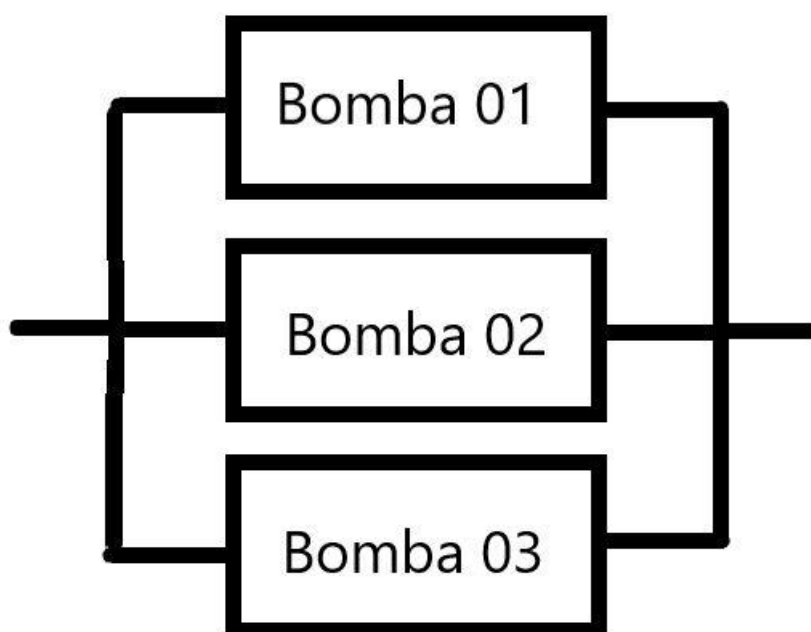


Figura 4: Sistema de bombeamento

(Fonte: Autor 2020)

4.1.1 Cálculos referentes às falhas

Sabendo que os equipamentos trabalham 24 horas e 365 dias ao ano, começamos nossos cálculos pelo MTBF – Tempo Médio Entre Falhas utilizando-se da **Equação 4**.

$$\text{Quantidade de horas trabalhadas} = 365 * 24 = 8760 \text{ horas}$$

Tempo Médio Entre Falhas da bomba 01: (IV)

$$MTBF = \frac{8760 - 29,2}{14}$$

$$\mathbf{MTBF = 623,62 \text{ horas}}$$

Tempo Médio Entre Falhas da bomba 02: (IV)

$$MTBF = \frac{8760 - 16,7}{9}$$

$$\mathbf{MTBF = 971,47 \text{ horas}}$$

Tempo Médio Entre Falhas da bomba 03: (IV)

$$MTBF = \frac{8760 - 33,2}{16}$$

$$\mathbf{MTBF = 545,42 \text{ horas}}$$

Em função do MTBF encontrado, podemos calcular a taxa de falhas destas três bombas e, segundo a NBR-5462, a taxa de falhas é inversa a MTBF, conforme **Equação 5** temos:

Cálculo da taxa de falhas da bomba 01: (V)

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$\lambda = \frac{1}{623,62}$$

$$\mathbf{\lambda^1 = 0,0016035 \text{ falhas/hora}}$$

Cálculo da taxa de falhas da bomba 02: (V)

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$\lambda = \frac{1}{971,47}$$

$$\mathbf{\lambda^2 = 0,0010293 \text{ falhas/hora}}$$

Cálculo da taxa de falhas da bomba 03: (V)

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$\lambda = \frac{1}{545,42}$$

$$\lambda^3 = 0,0018334 \text{ falhas/hora}$$

Com a obtenção da taxa de falhas podemos dar sequência nos cálculos para descobrirmos a confiabilidade das bombas dentro dos próximos 90 dias, sendo assim executamos os cálculos referentes utilizando a **Equação 01**:

$$\text{Quantidade de horas trabalhadas} = 90 * 24 = 2160 \text{ horas}$$

Cálculo da confiabilidade para bomba 01: (I)

$$R = e^{-\lambda * t}$$

$$R = e^{-0,0016035 * 2160}$$

$$R^1 = 0,03131$$

Cálculo da confiabilidade para bomba 02: (I)

$$R = e^{-\lambda * t}$$

$$R = e^{-0,0010293 * 2160}$$

$$R^2 = 0,10825$$

Cálculo da confiabilidade para bomba 03: (I)

$$R = e^{-\lambda * t}$$

$$R = e^{-0,0018334 * 2160}$$

$$R^3 = 0,01906$$

A partir dos resultados obtidos pelas confiabilidades de cada uma das bombas, podemos descobrir a confiabilidade total do sistema de acordo com a **Equação 3**: (III)

$$R = 1 - [(1 - R^1) * (1 - R^2) * (1 - R^3)]$$

$$R = 1 - [(1 - 0,03131) * (1 - 0,10825) * (1 - 0,01906)]$$

$$Rt = 0,1526$$

Obtemos o resultado da confiabilidade do sistema contemplando as três bombas, a partir daí conseguimos realizar o cálculo da probabilidade de falhas conforme **Equação 6**:

$$\text{Equação 6: Probabilidade de falhas} \quad (IV)$$

$$P = 1 - R$$

$$P = 1 - 0,1526$$

$$P = 0,8474 \text{ ou } 84,74\% \text{ de chance de falhas}$$

De acordo com o resultado que obtivemos dos cálculos de confiabilidade e probabilidade de falha dos equipamentos, chegamos à conclusão de que nos próximos 90 dias após o cálculo a probabilidade de os equipamentos falharem seja de 84,74%.

Com esta alta porcentagem optamos por interferir nos planos de manutenção destes equipamentos para que possamos diminuir esta porcentagem de falhas a fim de reduzir quebras indesejadas destes equipamentos.

4.2 ANALISE DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO DAS BOMBAS

Os três equipamentos possuíam os mesmos roteiros de manutenção, ou seja, todos possuíam o mesmo plano para verificação e intervenção no mesmo período de tempo.

Como primeiro passo foram analisados os planos de manutenção ativos dos equipamentos para que fosse possível analisar sua efetividade. Tendo na condição inicial um plano de manutenção preventivo, onde tínhamos a seguinte condição expressa na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 - Plano preventivo

Operação	Descrição da atividade	Periodicidade
0010	ME_APERTAR GAXETA DA BOMBA	SEMANAL

Analizamos este plano preventivo e notamos que o mesmo é muito vago, deixando a desejar em certos pontos que podem ser explorados pela manutenção preventiva.

Tendo o manual do fabricante das bombas em mãos, foram determinados componentes que interferem diretamente no funcionamento do equipamento, podendo destacar que o acoplamento da bomba com o motor e a gaxeta são componentes que devem ser substituídos regularmente para redução de falhas. Desta forma estipulamos duas novas operações no plano de manutenção preventiva, conforme Tabela 3:

Tabela 3 - Plano preventivo atualizado

Operação	Descrição da atividade	Periodicidade
0010	ME_APERTAR GAXETA DA BOMBA	SEMANAL
0020	ME_SUBSTITUIR GAXETA DA BOMBA	BIMESTRAL
0030	ME_SUBSTITUIR ACOPLAMENTO DA BOMBA	SEMESTRAL

Após a verificação do plano preventivo, analisamos o plano de inspeção de rota realizado pelo inspetor da área. Pelas operações apresentadas na Tabela 4 tem-se os pontos avaliados pelo inspetor nas bombas.

Tabela 4 - Plano de inspeção de rota

Operação	Descrição da atividade	Periodicidade
0010	V_TM_ACOPLAMENTO (FIX/ALIN/DESG/EST)	BIMESTRAL
0020	V_TM_MANCAIS/ROL/BUCHAS (FOLG/DESG)	BIMESTRAL
0030	V_ES ESTRUT/FUNC/DESG/QUEBRA (INTEG)	BIMESTRAL
0040	V_ME_VAZAMENTO GAXETA/ CORPO (AUSENTE)	BIMESTRAL
0050	V_ME_TUBUL ENT/SAIDA (FIXA/VAZA)	BIMESTRAL

0060	V_ME_PROTECAO (FIXA/ESTADO)	BIMESTRAL
------	-----------------------------	-----------

Assim como no plano de manutenção preventiva, no plano de inspeção de rota também temos uma lacuna a ser preenchida para que possamos otimizar o funcionamento do equipamento e estar reduzindo a quantidade de falhas. Um componente que impacta diretamente no funcionamento das bombas deve ser avaliado periodicamente, sendo assim notamos que o eixo das bombas não é avaliado pelo inspetor, portanto incluímos no roteiro a avaliação dos eixos, segue abaixo Tabela 5 com o roteiro de inspeção atualizado:

Tabela 5 - Plano de inspeção de rota atualizado

Operação	Descrição da atividade	Periodicidade
0010	V_TM_ACOPLAMENTO (FIX/ALIN/DESG/EST)	BIMESTRAL
0020	V_TM_MANCAIS/ROL/BUCHAS (FOLG/DESG)	BIMESTRAL
0030	V_ES_ESTRUT/FUNC/DESG/QUEBRA (INTEG)	BIMESTRAL
0040	V_ME_VAZAMENTO GAXETA/ CORPO (AUSENTE)	BIMESTRAL
0050	V_ME_TUBUL ENT/SAIDA (FIXA/VAZA)	BIMESTRAL
0060	V_ME_PROTECAO (FIXA/ESTADO)	BIMESTRAL
0070	V_ME_EIXO (DESG/INTEGR)	BIMESTRAL

Não menos importante que os outros planos de manutenção, o plano de lubrificação das bombas também foi revisado, neste não foi necessária a intervenção e acréscimo de operações para otimização. Segue Tabela 6 com o plano de lubrificação das bombas:

Tabela 6 - Plano de lubrificação

Operação	Descrição da atividade	Periodicidade
0010	LU_NIVEL DE OLEO DA BOMBA	MENSAL
0020	LU_TROCAR OLEO DA BOMBA	SEMANAL

Nesta análise referente aos planos de manutenção das bombas, notamos que não possuía um plano de manutenção preditiva. Este plano é de suma importância para análise de vibração e alinhamento do conjunto motor e bomba.

Visando a melhoria e efetividade da manutenção atuante nestes equipamentos, foi criado um roteiro de inspeção preditiva para que fosse possível analisar alguns pontos. Segue Tabela 7 com o roteiro do plano preditivo:

Tabela 7 - Plano preditivo

Operação	Descrição da atividade	Periodicidade
0010	V_ME_ANALISE ALINHAMENTO CONJUNTO	MENSAL
0020	V_ME_ANALISE DE VIBRAÇÃO	MENSAL

4.3 TESTE DOS NOVOS PLANOS DE MANUTENÇÃO

Com os novos planos de manutenção em andamento, foi constatado uma grande redução no número de anomalias apresentadas nos equipamentos. Visto que no cenário anterior tínhamos em média três manutenções não programadas por mês, onde podemos certificar que pelo menos uma vez ao mês cada uma das bombas realizava uma parada não programada.

No decorrer do período de fiscalização destes planos de manutenção atualizados, foi constatada uma grande diferença em relação ao que a empresa vinha tendo com estes equipamentos. Dentro dos 90 dias em que foram avaliados estes equipamentos obtivemos os resultados expressados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados dos planos atualizados

Equipamento	Quantidade de falhas
Bomba 01	0
Bomba 02	0
Bomba 03	0

Analisando a Tabela 8, notamos que conseguimos obter um resultado ótimo em comparação ao cenário que era previsto anteriormente de acordo com os cálculos realizados. Dentro dos 90 dias, tínhamos 84,74% de chances de falhas do sistema. Conseguimos através das alterações dos planos de manutenção reduzir a 0 falhas dentro do período previsto de acordo.

4.4 CUSTOS GERADOS PELAS FALHAS NÃO PREVISTAS

Levantando informações sobre os custos gerados por estes equipamentos com estas falhas não previstas, levando em consideração o mesmo período que foram analisadas as falhas, chegamos aos resultados expressados na Tabela 9:

Tabela 9 - Custos com manutenções não previstas

Equipamento	Custos de manutenção (R\$)
Bomba 01	12.894,06
Bomba 02	3.838,00
Bomba 03	10.404,43
Total	27.136,49

Com este total de R\$27.136,49 gastos em manutenções não previstas antes das reavaliações dos planos, podemos notar que realmente fazia-se necessária esta intervenção, pois se tratava de um valor muito alto se comparado a equipamentos novos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer de toda pesquisa literária e a campo, além de todo entendimento referente a manutenção de equipamentos, foram executados os cálculos referentes a confiabilidade e probabilidade de falhas antes e depois da alteração e otimização dos planos de manutenção deste sistema de bombeamento de água, sendo estes problemas levantados no primórdio desta pesquisa.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho verificou-se a condição inicial de falhas apresentadas pelo sistema de bombeamento de água da empresa em um determinado período de tempo, verificou-se também as oportunidades de otimização destes equipamentos visando redução de custos com manutenções não previstas.

Com o desenvolvimento dos cálculos referentes a confiabilidade deste sistema de bombeamento, verificou-se que os equipamentos apresentavam cerca de três paradas não previstas por mês, tendo aí a oportunidade de se fazer necessária a intervenção nos planos de manutenção para que pudessemos reduzir este número, a partir daí foi verificado após as otimizações dos planos, que conseguimos reduzir a zero falhas não prevista ao mês.

Executou-se também a análise dos custos gerados pelas manutenções não previstas, onde conseguimos comparar este valor ao de um equipamento novo e concluir que não seria viável a substituição dos equipamentos devido ao alto índice de quebras, e sim que neste ponto poderia haver uma modificação nas intervenções realizadas nos equipamentos periodicamente a fim de se reduzir as falhas e consequentemente os custos gerados pela manutenção.

Tendo em vista os valores que eram desperdiçados com manutenções não planejadas e a grande redução no número de falhas do sistema, conclui-se que não será viável a substituição dos equipamentos e que esta foi uma ótima oportunidade de intervir e conseguir ajudar a empresa na redução de custos.

Com todas as conclusões obtidas neste trabalho, analisa-se que nem sempre a opção de substituir equipamentos com problemas frequentes por

equipamentos novos pode-se gerar redução de custos. O estudo a fundo dos planos de manutenção destes equipamentos e a oportunidade de alteração destes, também podem gerar uma redução nas falhas apresentadas pelos equipamentos e consequentemente reduzir custos.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudo das vazões das bombas do sistema de abastecimento de água;
- Verificação dos custos gerados pelos acréscimos de operações nas manutenções preventivas e preditivas;
- Verificação da capacidade dos motores do conjunto motobomba;
- Cálculo da confiabilidade dos equipamentos após 1 ano de alteração dos planos de manutenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Paulo Samuel. **Manutenção mecânica industrial. Conceitos básicos e tecnologia aplicada.** 1ª ed; Editora Saraiva Educação S.A., 2018.

ANHESINE, Marcelo Wilson; MOCCELLIN, João Victor. **Uma abordagem sistêmica para diagnósticos em manutenção industrial.** 1999. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade:** Rio de Janeiro, 1993.

BRASIL, Alex N. **Bombas – Classificação e descrição.** 2010. Disponível em: https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/LOQ4015/capitulo3_bombasclassificacaoedescricao.pdf

DIAS, Acires. **Confiabilidade na manutenção industrial.** 2009. Disponível em: <http://200.19.248.10:8002/professores/debarbajr/02.Manuten%C3%A7%C3%A3o%20Industrial/09.Confiabilidade%20na%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20-%20curva%20da%20banheira.pdf>. Acesso em 12 de setembro de 2020.

Entenda o funcionamento de uma bomba centrífuga; disponível em: <https://www.degraus.com.br/wp-content/uploads/2019/04/funcionamento-bomba-centrifuga.jpg> Acesso em 06 de abril de 2020.

FOX, Robert. **Introdução a mecânica dos fluidos** 5ª ed; Rio de Janeiro – RJ, Editora LTC, 2001.

Motores elétricos trifásicos; disponível em: https://www.liloredutores.com.br/imagem/index/11640417/G/motor_eletrico_weg_n_01.jpg Acesso em 06 de abril de 2020.

NAGAO, Sérgio Kimimassa; MUSCAT, Antônio. **Manutenção industrial: análise, diagnóstico e propostas de melhoria de performance em indústrias de processo**. 1998. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. Volume 1, 1ª ed; Editora Edgard Blücher Ltda, 1989.

PINTO, A. K., XAVIER, J. N. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SANTOS, Marco Aurélio da Silva. **"Eletricidade: Acionamento de Motores Elétricos"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/eletricidade-acionamento-motores-eletricos.htm>. Acesso em 06 de abril de 2020.

SELLITTO, Miguel Afonso. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. 2005. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos

TELES, Jhonata. **Engenharia de manutenção: Foco em confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade**. Engeteles. Disponível em: engeteles.com.br/engenharia-de-manutencao/. Acesso em 30 de Outubro de 2020.

VIANA, H. R. G. PCM: **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2002.

XAVIER, J. N. **Manutenção – Tipos e Tendências**. Disponível em: <http://tecem.com.br/site/downloads/artigos/tendencia.pdf> Acesso em 25 de outubro de 2020.