



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



KEINE ANDERSON ZANELATO

**ELEVAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA POR MEIO DA INSTITUIÇÃO DE
PRÁTICAS ADEQUADAS DE MANUTENÇÃO E MELHORIA DAS INSTALAÇÕES
DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE UMA EMPRESA DE SANEAMENTO**

OURO PRETO - MG
2021

KEINE ANDERSON ZANELATO

keine.zanelato@aluno.ufop.edu.br

**ELEVAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA POR MEIO DA INSTITUIÇÃO DE
PRÁTICAS ADEQUADAS DE MANUTENÇÃO E MELHORIA DAS INSTALAÇÕES
DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE UMA EMPRESA DE SANEAMENTO**

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

Professor orientador: Cláudio Márcio Santana DSc.

**OURO PRETO – MG
2021**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

Z28e Zanelato, Keine Anderson.

Elevação da eficiência energética por meio da instituição de práticas adequadas de manutenção e melhoria das instalações de sistemas de bombeamento de uma empresa de saneamento. [manuscrito] / Keine Anderson Zanelato. - 2022.

73 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Márcio Santana.

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

1. Bombeamento. 2. Dimensionamento. 3. Eficiência Energética. 4. Sistemas Hidráulicos. I. Santana, Cláudio Márcio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Keine Anderson Zalenato

Elevação da eficiência energética por meio da instituição de práticas adequadas de manutenção e melhoria das instalações de sistemas de bombeamento de uma empresa de saneamento

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro mecânico

Aprovada em 01 de Junho de 2022

Membros da banca

DsC. Claudio Marcio Santana - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. Edson Alves de Figueira Junior (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. Ana Maura de Araujo Rocha (Universidade Federal de Ouro Preto)

Claudio Marcio Santana, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 13/06/2022



Documento assinado eletronicamente por **Claudio Marcio Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/06/2022, às 10:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edson Alves Figueira Junior, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/06/2022, às 16:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Maura Araujo Rocha, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/06/2022, às 09:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0343429** e o código CRC **B7E7COCE**.

À Deus toda Honra, Glória e Louvor.

À minha esposa, Quéren-Hapuque, pelo amor, carinho e paciência. À Sofia, por ser a melhor filha do Universo. Vocês são a minha alegria.

AGRADECIMENTO

Bendito seja o Senhor Deus de Israel, o meu Deus, de eternidade à eternidade. Absolutamente Único em suas maravilhas, Tua é a grandeza, o poder, a glória, a vitória e a majestade. À Ti Senhor, seja dada toda honra, glória, majestade e louvor. Agradeço à Ti Senhor por me sustentar nesta caminhada. Agradeço também à minha esposa Quéren-Hapuque de Carvalho Zanelato, por todo amor e atenção, por ser meu porto seguro e me motivar todos os dias a continuar. Agradeço à Sofia de Carvalho Zanelato por ser meu mais querido presente, e me proporcionar meus melhores momentos de alegria e carinho. À Igreja em Ouro Preto, aos amados irmãos que afetivamente me acompanharam e me suportaram com suas orações, sempre unidos em espírito com o seu amor, sua esperança e fé. Agradeço ao Professor Cláudio Márcio Santana, pelo conhecimento, pela confiança, por toda a orientação e instrução. Aos professores, por todo o empenho, sabedoria e apoio. E por fim, à Escola de Minas onde fiz amigos que levarei por toda a minha vida.

“Feliz o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento”.

Salomão

RESUMO

ZANELATO, Keine Anderson. Elevação da eficiência energética por meio da instituição de práticas adequadas de manutenção e melhoria das instalações de sistemas de bombeamento de uma empresa de saneamento, 2021. Monografia. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

Compor um sistema eficiente em conjuntos de bombeamento, é um dos principais desafios das empresas de saneamento. Há elevado consumo de energia, que resulta em elevadas taxas de consumo energético. Do ponto de vista econômico, os gastos se somam à deterioração dos equipamentos e acessórios e à má qualidade da manutenção destes sistemas. Logo, trabalhos em prol da eficiência energética e adequação da manutenção, passam a ser considerados como uma importante estratégia, principalmente para se evitar perdas e ineficiências nos processos. Este trabalho aborda a implantação de um sistema de dimensionamento dos equipamentos e das estruturas das estações elevatórias, resultando em um sistema de gerenciamento da manutenção por meio do tratamento de falhas, e apresenta uma metodologia de otimização do funcionamento de conjuntos motor-bomba, por meio da melhoria das instalações do sistema de bombeamento, e adequação da manutenção, visando a diminuição dos custos, resultando em um aumento da eficiência energética e um ganho máximo analisado de vinte e dois por cento na diminuição dos gastos com energia elétrica.

Palavras-chave: Bombeamento. Dimensionamento. Sistemas hidráulicos. Elevatórias. Eficiência energética. Manutenção.

ABSTRACT

ZANELATO, Keine Anderson. Raising energy efficiency through the establishment of adequate practices for maintenance and improvement of pumping system installations in a sanitation company, 2021. Monograph. (Graduate in Mechanical Engineering). Federal University of Ouro Preto.

Constitute an efficient system in pumping sets, is one of the main challenges for sanitation companies. There is a high energy consumption, which results in high energy consumption rates. From an economic point of view, the expenses add to the deterioration of equipment and accessories and the poor quality of maintenance of these systems. Therefore, works in favor of energy efficiency and maintenance adequacy, are now considered as an important strategy, mainly to avoid losses and inefficiencies in the processes. This work addresses the implementation of a system for sizing equipment and structures of pumping stations, resulting in a maintenance management system through fault treatment, and presents a methodology for optimizing the operation of motor-pump sets, through improvement of pumping system installations, and adequacy of maintenance, aiming to reduce costs, resulting in an increase in energy efficiency and a maximum gain analyzed of twenty-two percent in the reduction of expenses with electric energy.

Key-words: Pumping. Dimensioning. Hydraulic system. Pump house. Energy efficiency. Maintenance.

LISTA DE SIMBOLOS

ANA - Agência Nacional das Águas

BEN - Balanço Energético Nacional

C – Coeficiente de rugosidade

CEN - Consumo Energético Normalizado

D – Diâmetro

FMEA - Análise do Modo e Efeito de Falha

hf – Perda de carga

HG – Altura Geométrica

Hman – Altura Manométrica

J – Perda de carga unitária

Le – Comprimento Equivalente

N – Potência

NBR – Norma Brasileira

NPSH - carga positiva de sucção

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Q – Vazão

TPM - Manutenção Produtiva Total

Ø – Diâmetro

η – Rendimento

Π- Constante Pi

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bomba de lóbulos com deslocamento positivo.....	6
Figura 2: Bomba centrífuga radial.....	7
Figura 3: Bomba axial.....	8
Figura 4: Componentes de uma bomba centrífuga.....	9
Figura 5: Tipos de rotores.....	10
Figura 6: Bombas de múltiplos estágios.....	10
Figura 7: Instalação de uma bomba de sucção positiva.....	11
Figura 8: Instalação de uma bomba de sucção negativa.....	11
Figura 9: Bomba submersa com 12 estágios.....	12
Figura 10: Os pilares da TPM.....	16
Figura 11: Dimensionamento dos recursos da manutenção com foco no plano de manutenção.....	17
Figura 12: Circulo Vicioso de Falhas.....	19
Figura 13: Diagrama de Causa e Efeito.....	20
Figura 14: Manutenções e suas causas.....	21
Figura 15: Curvas características.....	25
Figura 16: Etapas do procedimento metodológico.....	32
Figura 17: Variáveis e Indicadores.....	34
Figura 18: Relação de dados coletados para ambientação e dimensionamento.....	35
Figura 19: Organograma gerencial.....	39
Figura 20: Instalação de Bombeamento.....	39
Figura 21 Características dos componentes de uma estação elevatória.....	40
Figura 22: Comprimento da linha de recalque.....	42
Figura 23: Diagrama de Ishikawa.....	43
Figura 24: Ficha de Manutenção Atualizada.....	44
Figura 25: Estação Elevatória.....	50
Figura 26: Modificação Estrutural de uma estação elevatória.....	51
Figura 27: Panorama após finalização das modificações das instalações de bombeamento.....	52
Figura 28: Painel de acionamento, proteção e controle de partidas.....	52
Figura 29: Gráfico de Análise de consumo.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de Rugosidade de C.....	27
Tabela 2: Comprimentos equivalentes para o ferro fundido e o aço.....	28
Tabela 3: Ficha modelo de FMEA.....	46
Tabela 4 – Cálculo de Dimensionamento.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Formulação do Problema	1
1.2. Justificativa.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Geral.....	3
1.3.2. Específicos.....	3
1.4. Estrutura do Trabalho.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Bombas.....	5
2.2. Manutenção.....	12
2.2.1. Métodos de Manutenção.....	14
2.2.1.1. Manutenção Corretiva.....	14
2.2.1.2. Manutenção Preventiva.....	15
2.2.1.3. Manutenção Produtiva.....	15
2.2.1.4. Gerenciamento da Manutenção.....	17
2.2.2. Manutenção em bombas.....	21
2.3. Método de dimensionamento de bombas.....	23
2.4. Eficiência Energética.....	29
3. METODOLOGIA.....	31
3.1. Tipo de Pesquisa.....	31
3.2. Materiais e Métodos.....	32
3.3. Variáveis e Indicadores.....	33
3.4. Instrumento de coleta de dados.....	35
3.5. Tabulação dos dados.....	35
3.6. Considerações finais do capítulo.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1. Caracterizações da empresa e do setor.....	37
4.2. Diagnóstico dos Equipamentos Estudados.....	39
4.3. Diagnóstico do tipo de manutenção.....	40
4.4. Obtenção de dados.....	41
4.5. Identificação das causas de falha.....	42
4.6. Elaboração de sistema de tratamento de falhas e plano de manutenção.....	43

4.6.1. Registro de ocorrência de falhas.....	43
4.6.2. Sistema de Tratamento de Falhas e Plano de Manutenção.....	45
4.7. Elaboração do sistema de dimensionamento.....	47
4.7.1. Proposta do sistema de dimensionamento de máquinas e tubulações.....	47
4.7.2. Proposta da modificação das instalações.....	49
4.8. Ganhos econômicos com eficiência energética.....	53
5. CONCLUSÃO.....	55
5.1. Conclusões.....	55
5.2. Recomendações.....	56
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	57

1. INTRODUÇÃO

1.1. Formulação do Problema

Com a crescente necessidade de se aperfeiçoar a operação e a manutenção dos sistemas de abastecimento de água em indústrias e em empresas de saneamento, visando, entre outros, a redução do consumo de energia, surge a necessidade da adoção de medidas de economia, principalmente em sistemas de máquinas de fluxo, tal ação torna-se fundamental devido ao alto custo e à gradativa mudança das tarifas de preço das concessionárias de energia. (MENEGOTTO *et al*, 2017)

Logo, segundo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel (2009), as máquinas de fluxo e suas instalações demandam atenção especial, com adequações como investimento em melhorias das instalações e manutenção centrada em eficiência energética. Gomes (2009) cita que os projetos voltados para máquinas de fluxo envolvem somas elevadas de investimentos para suas implantações, como também, custos acentuados de exploração, no que diz respeito às ações de operação e manutenção das instalações físicas, e que como regra geral, os custos de operação e manutenção, dos projetos que envolvem elevatórias, repercutem mais do que os de implantação das suas instalações, e esta repercussão maior dos custos de operação e manutenção, em relação aos custos de implantação, tem se acentuado nos últimos anos, em virtude dos gastos energéticos, que são cada vez maiores.

Conforme explicita o Manual de Cálculo do Consumo Energético Normalizado e do Potencial de Economia em Instalações de Bombeamento – Manual do CEN (2017, p.3) “grande parte do consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água está relacionado com a operação de conjuntos moto-bomba.” Os conjuntos moto-bomba são máquinas de fluxo, e são conceituadas, segundo Macintyre (1997) como máquinas geratrizes cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento, que transformam trabalho mecânico em energia de pressão e cinética.

Essa técnica de elevação da eficiência energética, por meio da adequação do sistema e da instituição de práticas adequadas de manutenção em conjuntos de máquinas de fluxo, pode ser aplicada a diversos setores da economia como a área da mineração, alimentos, têxtil, agrícola, entre outras, sendo que neste caso, o estudo foi direcionado para o departamento de engenharia e eletromecânica de uma empresa de saneamento básico, a fim de verificar as melhorias no gerenciamento de custos e na manutenção.

Ao analisar o setor de bombeamento da empresa, percebe-se instalações modestas, com pouco, ou quase nenhum controle e/ou procedimento voltado para a diminuição dos custos, melhorias e práticas padronizadas de manutenção, perdas por vazamento, mal dimensionamento das máquinas e tubulações que, segundo Macintyre (1997) influem na energia que a bomba deve fornecer ao líquido. Percebe-se também, painéis de comando elétricos em estado precário com tecnologia defasada, que não contribuem para o controle da eficiência energética.

Mas, de acordo com Montenegro *et al* (2006), esta é uma peculiaridade de diversas empresas do setor de saneamento pois, na maioria dos projetos de concepção de sistemas de bombeamento, os técnicos ao especificarem os conjuntos motor-bomba não se preocupavam em fazer projetos otimizados, analisando o consumo, e isso contribui para que o gasto de energia elétrica com as operações de bombeamento represente o item mais significativo no consumo de energia para o orçamento de um sistema de abastecimento.

Dessa forma nota-se que podem ser realizados estudos e ações para melhorar o sistema tornando-o mais eficiente e diminuindo custos. Diante do contexto que é apresentado tem-se a questão problema:

Qual a importância de se elaborar metodologias de elevação da eficiência em conjuntos de bombeamento por meio da melhoria das instalações e da instituição de práticas adequadas de manutenção?

1.2 Justificativa

Conforme aborda o Manual do CEN (2017, p.5) “a sistematização do monitoramento e da avaliação de estações elevatórias permite detectar com celeridade desempenhos insuficientes de modo a que o prestador de serviço possa tomar medidas para manter níveis aceitáveis de eficiência.”

Para manter tais níveis, faz-se necessário a melhoria do sistema por meio da adequação conforme padrões de dimensionamento de máquinas, tubulações, e manutenção, gerando maior vida útil dos equipamentos, evitando perdas e aumento de custo de produção, e aumento dos custos de energia elétrica. (FERREIRA, 2017)

De acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN (2021) as indústrias, de modo geral, são responsáveis por 36,6 % do consumo da energia elétrica disponibilizada no país em 2020.

Percebe-se, como afirma Montenegro *et al* (2006) que questões relativas ao déficit público e inflação passaram a ser tratadas no âmbito das políticas cambial, monetária e fiscal, fazendo com que a política de preços públicos transfira aos consumidores os custos dos serviços prestados, com a pretensão de eliminar distorções entre os custos e as receitas.

Contribuições para a diminuição do custo, têm sido analisadas, para Silva *apud* Vieira (2004), a manutenção correta de equipamentos possibilita a otimização do desempenho energético e alta confiabilidade, garantindo a redução de custos operacionais dos processos produtivos, gerando melhoria no desempenho energético dos equipamentos. A instalação de dispositivos tecnológicos como *soft-starters* e inversores de frequência, segundo WEG (2013) são soluções que consiste na aplicação do motor de alta eficiência, pois estes equipamentos possibilitam controle da vazão e/ou pressão, que podem gerar redução no consumo de energia de até 70% e redução de custos com a dispensa das válvulas de controle.

Então, se há redução nos custos de produção, há benefícios para a empresa por meio da geração de receitas, bem como, para o consumidor final. Conforme afirma Gomes (2009, p.9) “os benefícios indiretos para a sociedade, advindos dos projetos de eficiência, poderão ser também enfocados levando-se em conta as economias proporcionadas na geração de energia elétrica e no aumento da disponibilidade hídrica para outros fins”.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Apresentar a importância de se elaborar metodologias de elevação da eficiência em conjuntos de bombeamento por meio da melhoria das instalações e da instituição de práticas adequadas de manutenção.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo teórico sobre bombas, manutenção, métodos de dimensionamento de bombas e eficiência energética;

- Desenvolver um procedimento metodológico para aplicar os benefícios dos métodos utilizados para aumento da eficiência;
- Verificar as atuais abordagens de manutenção executadas pela empresa;
- Aplicar as ferramentas de gerenciamento da manutenção para o estudo dos conjuntos de bombeamento;
- Estabelecer padronização para manutenção e dimensionamento de máquinas, tubulações e instalações;
- Articular os sistemas de informação operacional com as informações recebidas do faturamento de eletricidade;
- Comparar a base teórica com os resultados obtidos para analisar as contribuições para o setor de saneamento;
- Estabelecer propostas de melhorias dos equipamentos dos conjuntos (peças, componentes de máquinas, tubulação e painéis de comando elétrico).

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo que no primeiro capítulo é apresentado a formulação do problema, a justificativa para a realização do trabalho e seus objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica sobre conceitos e teoria a respeito da adequação da manutenção e das instalações de bombeamento, relacionando as vantagens e desvantagens existentes em adequar e implantar e adequar o sistema de bombeamento, por meio de melhorias, a fim de se obter eficiência energética e conseqüente redução de custos com energia elétrica e insumos.

O terceiro capítulo aborda o processo metodológico adotado na pesquisa, assim como os instrumentos utilizados para a coleta dos dados, validação dos indicadores e dados importantes na obtenção dos resultados.

No quarto capítulo são apresentadas as análises dos resultados e as discussões relativas ao dimensionamento, adaptação, e melhoria das instalações e adequação da manutenção, que diz respeito às características gerais do sistemas, para o aumento da eficiência energética.

O quinto capítulo apresenta a conclusão e os benefícios, e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica sobre bombas, manutenção, métodos de dimensionamento de bombas e eficiência energética, que são conceitos que serão citados ao longo do estudo.

2.1. Bombas

Segundo Macintyre (1997), bombas, ou máquinas de fluxo são máquinas geratrizes reconhecidas como máquinas operatrizes, cuja finalidade é realizar um trabalho, de deslocamento de um líquido por escoamento, essas máquinas transformam o trabalho mecânico que recebem para seu funcionamento, em energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética.

Carvalho (1999) classifica as turbobombas, ou bombas hidrodinâmicas, como máquinas que são dotadas de um rotor munido de palhetas que permanecem em contato com o fluido, de maneira que quando acionados por uma fonte externa de energia a ação centrífuga provoca uma depressão à entrada do rotor que aspira o fluido e uma sobrepressão à saída do mesmo, responsável pelo recalque do fluido incompressível.

As máquinas de fluxo podem ser classificadas, de modo amplo. Fox (2010) as classifica como máquinas de deslocamento positivo ou como máquinas dinâmicas, sendo que em máquinas de deslocamento positivo, a transferência de energia é feita por variações de volume que ocorrem devido ao movimento da fronteira na qual o fluido está confinado.

Em contraste com as máquinas de deslocamento positivo, conforme a bomba demonstrada na Figura 1, em uma turbomáquina não há volume confinado, sendo as turbobombas classificadas como bomba hidrodinâmica ou bomba centrífuga (FOX, 2010)



Figura 1: Bomba de lóbulos com deslocamento positivo
Fonte: Adaptada de Macintyre (1997)

Segundo Macintyre (1997) as bombas de deslocamento positivo possuem uma ou mais câmaras, em cujo interior o movimento de um propulsor comunica energia de pressão ao líquido confinado, conforme observa-se na Figura 1, onde o fluido é confinado entre os dentes dos lóbulos e depois é comprimido e expulso.

As bombas de deslocamento positivo são usadas para bombeamento a altas pressões e quando requerem vazões de saída quase constantes. (GANGHIS 2015).

Já as bombas centrífugas de acordo com Ganghis (2015), são aquelas em que a movimentação do líquido é produzida por forças desenvolvidas na massa líquida de um rotor e se caracterizam por operarem com altas vazões, pressões moderadas e fluxo contínuo. As bombas centrífugas, quanto à trajetória do fluido se dividem em dois tipos, radiais e axiais.

Nas bombas radiais o fluido penetra axialmente no rotor, sendo sua trajetória bruscamente desviada para a direção radial, devido à rotação de um impelidor (CARVALHO, 1999). Como se observa na Figura 2.

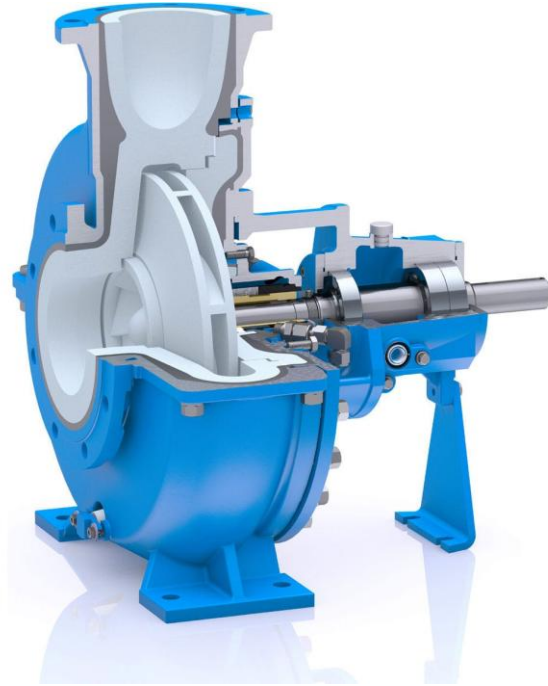


Figura 2: Bomba centrífuga radial
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Na bomba centrífuga, o líquido é aspirado, passa pelo bocal de aspiração e têm sua trajetória modificada, sendo expelido pelo bocal de recalque (MACINTYRE, 1997). Conforme apresentado na Figura 2.

Nas bombas axiais a trajetória do fluido se desenvolve com relação ao rotor, em direção preponderantemente axial (CARVALHO, 1999), conforme Figura 3.

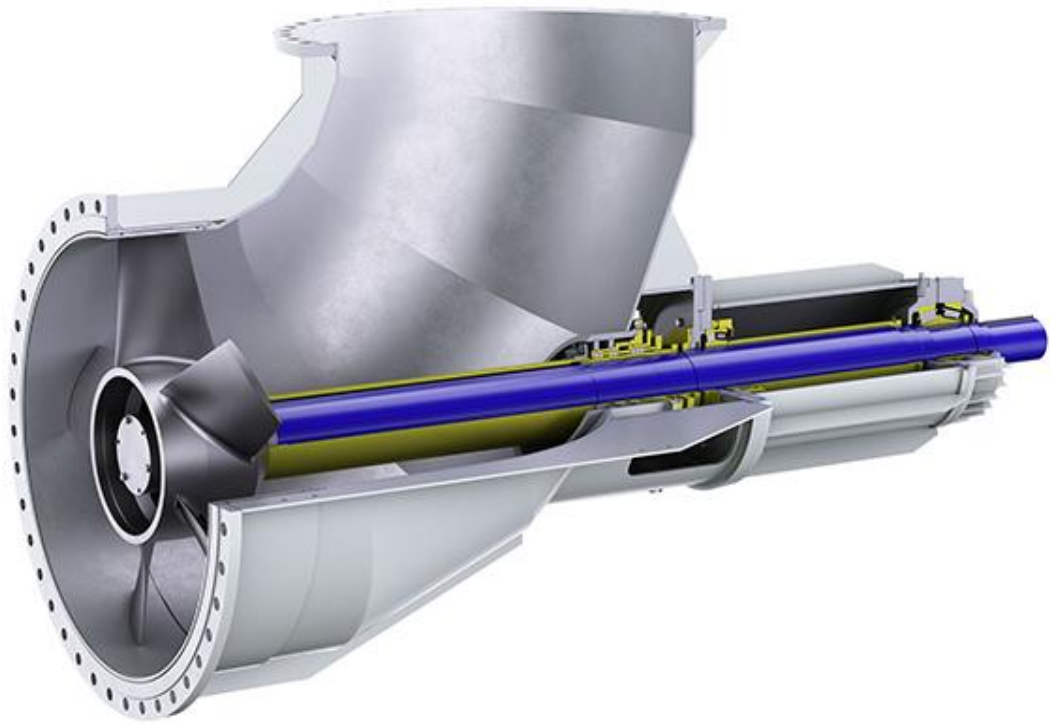


Figura 3: Bomba axial
Fonte: Sulzer (2021)

Observa-se na Figura 3 que a água entra pelo bocal de aspiração e percorre uma trajetória paralela ao eixo, sendo assim considerada como uma bomba axial (MACINTYRE, 1997)

Segundo Ganghis (2015), as bombas centrífugas são compostas de três grandes grupos de partes que se subdividem em estacionários, rotativos e auxiliares que são o mostrados na Figura 4.

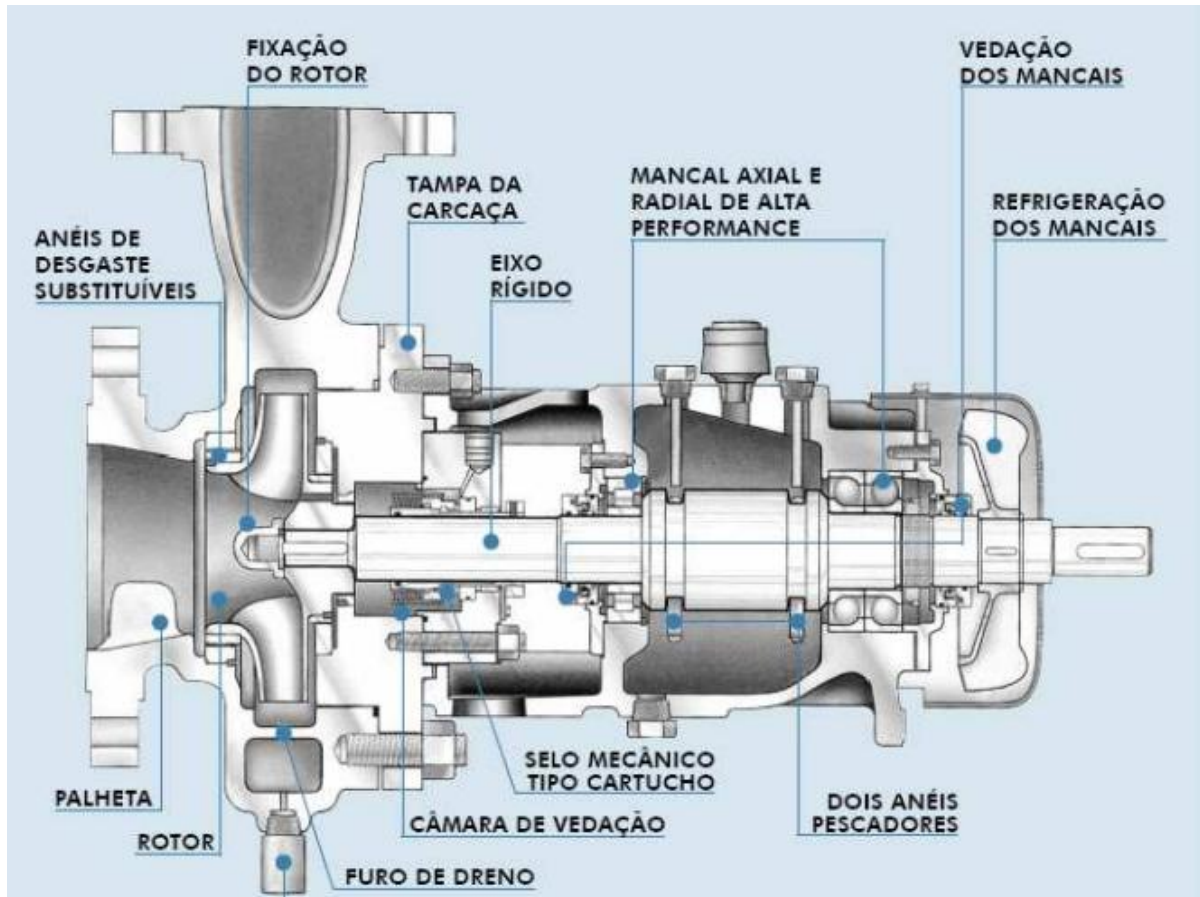


Figura 4: Componentes de uma bomba centrífuga
 Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Segundo Ganghis (2015), os itens apresentados na legenda da Figura 4, que se enquadram como estacionários são, o flange de sucção, a carcaça, o flange de descarga, o cavalete, a caixa de óleo, a tampa da caixa de óleo, e o estojo de gaxetas. Os itens considerados rotativos são o rotor, o eixo, e os rolamentos. E os itens auxiliares são o retentor, o defletor, a sobreposta, o cadeado hidráulico, as gaxetas ou os selos mecânicos, os anéis de desgaste, a chaveta, os furos de compensação e a porca do rotor.

Outra importante classificação segundo o mesmo autor são os rotores, que quando acionados por uma fonte externa de energia, adiciona energia cinética ao fluido, comunicando aceleração à massa líquida. São classificados quanto à sua construção mecânica como: rotor fechado, rotor semi-aberto e rotor aberto, conforme Figura 5 (GANGHIS 2015).



Figura 5: Tipos de rotores
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Conforme apresenta a Figura 5, o rotor fechado (a), possui coberturas ou paredes laterais que protegem as palhetas, é utilizado para líquidos sem substâncias em suspensão ou limpos. O semi-aberto (b) ou do tipo em vórtice, é um disco onde são fixadas as palhetas. E o rotor aberto (c) não possui nenhuma cobertura ou parede para enclausurar as palhetas, geralmente encontrados em bombas que recalcam líquidos abrasivos. E o semi-aberto ou do tipo em vórtice (CARVALHO, 1999).

As bombas ainda são classificadas segundo a quantidade de rotores, e difusores. Segundo Macintyre (1997), são divididas em bomba de simples estágio, que apresenta somente um rotor e um difusor, conforme apresentado na Figura 8, e as bombas de múltiplos estágios, conforme apresentado na Figura 6, onde o líquido passa sucessivamente por dois ou mais rotores fixados no mesmo eixo, que se faz necessário quando a altura de elevação é grande, e a passagem do líquido em cada rotor e difusor constitui-se em um estágio (CARVALHO, 1999).



Figura 6: Bombas de múltiplos estágios
Fonte: Schneider - Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A. (2021)

As bombas multiestágio, como a apresentada na Figura 6, se caracterizam pelo fato de que são fabricadas para bombear água em elevadas altitudes devido à associação de rotores em série (CARVALHO, 1999).

Segundo a posição de trabalho as bombas podem ser instaladas acima, ou abaixo do reservatório de sucção, sendo que as bombas instaladas acima do reservatório, como a que é representada na Figura 7, são consideradas bombas de sucção positiva (CARVALHO, 1999).

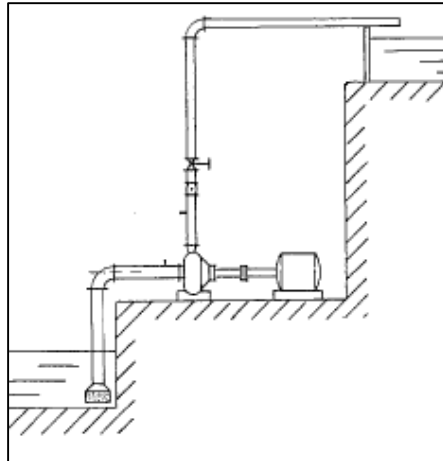


Figura 7: Instalação de uma bomba de sucção positiva.
Fonte: Carvalho (1999)

Para este tipo de instalação de bombas, conforme aborda-se na Figura 7, é necessário que a tubulação de sucção possua um dispositivo especial, denominada de válvula de pé, para que a água fique retida no interior da tubulação de sucção, evitando o aparecimento do efeito de cavitação. (CARVALHO, 1999).

As bombas instaladas abaixo do reservatório, conforme Figura 8, são consideradas bombas de sucção negativa ou afogada (CARVALHO, 1999).

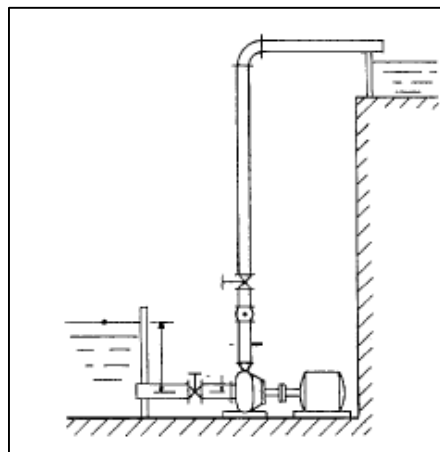


Figura 8: Instalação de uma bomba de sucção negativa.
Fonte: Carvalho (1999)

As bombas de sucção negativa, conforme Figura 8, possuem a peculiaridade de que a tubulação de sucção sempre está cheia de água, mantendo a bomba sempre escorvada. (MACINTYRE, 1997)

Segundo Carvalho (1999), há ainda outra categoria de bombas que são as submersas, que apresentam o motor elétrico em curto circuito acoplado à bomba, em um conjunto fechado, conforme Figura 9, onde o motor trabalha envolto e resfriado por água, sendo a sua bobina isolada por um impermeabilizante plástico.

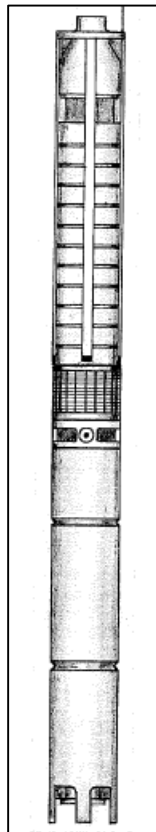


Figura 9: Bomba submersa com 12 estágios.

Fonte: Carvalho (1999)

Observa-se na Figura 9 que na parte central da bomba há uma tela que protege o crivo, é o lugar onde a água é succionada, passa pelos estágios e é impelida. Esta bomba tem sua aplicação voltada à poços profundos e são muito utilizadas para o rebaixamento de lençol freático. (CARVALHO, 1999)

2.2 Manutenção

Conforme Xenos (2004, p.18) “as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo seu uso”. Soma-se este ao conceito, ao da norma regulamentadora que aborda a manutenção, a NBR-

5624 (1994, p.6), que traz a definição de manutenção como a “combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual ele possa desempenhar uma função requerida”.

De acordo com Viana (2002), o termo manutenção, é uma palavra derivada do latim *manus teres*, que significa manter o que se tem, está presente na história humana desde que o homem começou a manusear instrumentos de produção. Segundo Mirshawka & Olmedo (1993, p.14), a manutenção é comumente definida como um “conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas ou equipamentos, visando garantir a consecução de sua função dentro de parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazos, de custos e vida útil adequado”, e que um dos objetivos principais da gestão da manutenção é maximizar a produção, com baixo custo e alta qualidade (MIRSHAWKA & OLMEDO, 1993).

Ao abordar o termo produção, Viana (2002), afirma que a manutenção possui um papel crucial para o aumento da eficiência de um processo produtivo, visto que a disponibilidade de recursos se relaciona diretamente à este processo, logo a manutenção se torna um conjunto de procedimentos que são executados para a maior qualidade e garantia do desempenho e controle de ativos de uma empresa.

Para Bolgenhagen (2011, p.31), “a busca da melhoria contínua nos processos produtivos tem forçado as empresas a evitarem que os seus equipamentos se desgastem, evitando assim graves transtornos”, logo para Viana (2002), é importante que as máquinas e equipamentos estejam conservados, a fim de evitar a parada da linha de produção. Entretanto, com a necessidade da agilidade do processo de produção, a manutenção passa a compor uma estrutura independente e tão importante quanto à da operação, pois surge não apenas a necessidade de corrigir as falhas, mas a necessidade de evitar que elas ocorram, prevenindo as avarias (OTANI & MACHADO, 2008). Viana (2002, p.5) complementa que: “a manutenção não pode se limitar apenas a corrigir problemas cotidianos, mas deve perseguir sempre a melhoria constante”, a norma NBR-5462 (1994, p.6) detalha que o processo de melhoria inclui a melhoria da confiabilidade, que é um “processo executado com a intenção deliberada de melhorar a confiabilidade pela eliminação das causas de falhas sistemáticas ou pela redução da probabilidade de outras falhas”.

Xenos (2004) expõe que o termo “manutenção”, ainda é amplamente associado à aspectos negativos como a falha, ou quebra, vez por outra, pode incluir atividades relacionadas com o tratamento de falhas, entretanto essas atividades devem ser esporádicas, e não podem se transformar em um meio de vida das equipes de manutenção. Cita ainda que em um sentido

mais amplo, as atividades de manutenção devem envolver procedimentos de modificação das condições originais dos equipamentos, introduzindo melhorias, evitando a ocorrência e a reincidência de falhas, reduzindo os custos e aumentando a produtividade.

Com o intuito de atender estas demandas, a manutenção necessita desenvolver cada vez mais os seus métodos e sistemas de gerenciamento para garantir a produção de bens e serviços de alta qualidade, aliados a um baixo custo de produção para garantir a sobrevivência da empresa no mercado (MOUBRAY, 2000).

Na seção seguinte são abordados alguns conceitos de alguns métodos de manutenção e a função das atividades de gerenciamento.

2.2.1. Métodos de Manutenção

Segundo Xenos (2004) há diversos tipos de manutenção, e diversas maneiras de classificar os métodos. Neste trabalho são abordadas quatro práticas, a corretiva, a preventiva, a produtiva e o gerenciamento de manutenção.

2.2.1.1. Manutenção Corretiva

A NBR 5462 (1994, p.7) define manutenção corretiva como a “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.” Xenos (2004) expõe que a manutenção corretiva sempre é feita depois que a falha ocorreu, e que deve ser levada em conta por causar grandes perdas por interrupção da produção.

De acordo com Viana, (2002, p.10) a manutenção corretiva “é a intervenção necessária imediatamente para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente; se configura em uma intervenção aleatória, sem definições anteriores”. Esta manutenção pode ser dividida em duas categorias: não planejadas e planejadas.

Para Kardec e Nascif (2009), a manutenção corretiva pode ser subdividida em duas categorias, a planejada e não planejada. Na corretiva planejada, a falha é identificada, porém, só é corrigida quando possível, ou quando se torna necessário, planejando-se o reparo, pois a falha não leva a parada instantânea de produção, e na manutenção corretiva não planejada: ocorre quando um equipamento falha de maneira aleatória, sem aviso prévio, pois, causa perdas de produção e, em consequência, os danos aos equipamentos é maior.

Segundo Xenos (2004) não se deve conformar com a manutenção corretiva e com a ocorrência de falhas, mas se esforçar para identificar as causas e bloqueá-las.

2.2.1.2. Manutenção Preventiva

Para Xenos (2004) a manutenção preventiva deve ser a atividade principal de manutenção em qualquer empresa pois é o coração das atividades de manutenção. Ainda para o autor esse tipo de manutenção envolve tarefas sistemáticas como inspeções, reformas e trocas de peças, principalmente.

A NBR-5462 (1994, p.7) define a manutenção preventiva como “a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.”

Kardec e Nascif (2009) afirmam que se por um lado a manutenção preventiva permite um bom gerenciamento das atividades, nivelamento dos recursos, além de previsibilidade do consumo de materiais e sobressalentes, por outro lado promove a retirada do equipamento ou sistema de operação para a execução das atividades programadas.

Para Xenos (1998) a frequência da ocorrência de falhas diminui, assim como as interrupções inesperadas de produção. Sendo assim, pelo fato de se ter o controle das paradas dos equipamentos, considerando o custo total de manutenção, a manutenção preventiva acaba sendo mais barata que a corretiva.

2.2.1.3. Manutenção Produtiva

A manutenção produtiva pode ser entendida como a melhor aplicação dos diversos métodos de manutenção, visando otimizar fatores econômicos da produção e garantindo a melhor utilização e maior produtividade dos equipamentos (XENOS, 1998). O mesmo autor cita que a manutenção produtiva é uma maneira de pensar, não apenas um método de manutenção.

Segundo Tavares (1998), o conceito básico da Manutenção Produtiva Total – TPM, é a reformulação e a melhoria da estrutura empresarial a partir da reestruturação e melhoria das pessoas e dos equipamentos, com envolvimento de todos os níveis hierárquicos e a mudança da postura organizacional.

Pinto e Xavier (2007) apresentam a TPM fundamentada em 8 pilares, conforme está apresentado na Figura 10.

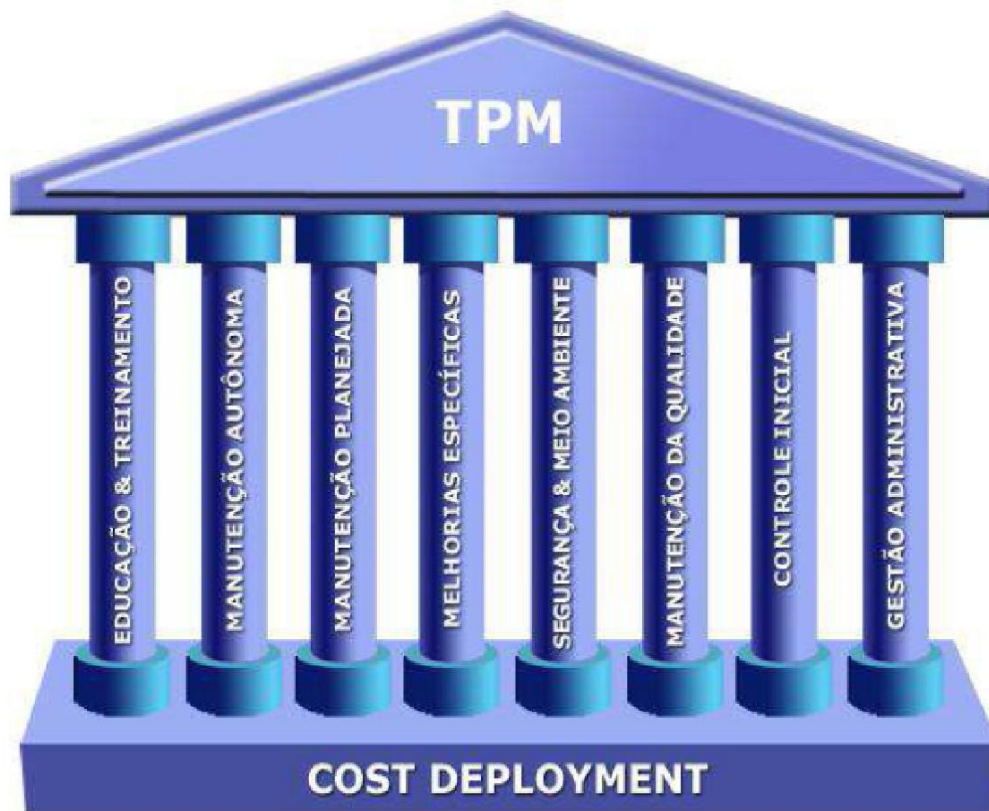


Figura 10: Os pilares da TPM
 Fonte: Pinto e Xavier (2007, p.185)

Observa-se na Figura 10, que os pilares da TPM, segundo Pinto e Xavier (2007), são compostos por Educação e Treinamento, pois a formação do conhecimento se dá de maneira contínua, constituindo a ampliação da capacidade técnica, gerencial e comportamental do pessoal de manutenção e operação; a Manutenção Autônoma, que se caracteriza pelo autogerenciamento e controle e da elaboração e cumprimento de padrões; a Manutenção Planejada, que significa a implantação de técnicas de planejamento em um sistema mecanizado da programação pelo uso de *softwares*; as Melhorias Específicas, que atua diretamente no problema a fim de se obter uma melhoria macro; a Segurança e Meio Ambiente, por meio da implantação de sistemas de melhoria e prevenção de riscos; a Manutenção da Qualidade, por meio da implantação de um programa zero defeito; o Controle Inicial, que visa eliminar as falhas no nascedouro por meio da implantação de sistemas de monitoramento; e Gestão Administrativa, que visa melhorar a eficiência nas áreas administrativas; estas são as atividades que sustentam a Manutenção Produtiva Total.

Voltando à relação entre produção e manutenção, Xenos (1998) destaca que a manutenção produtiva abrange todas as etapas do ciclo de vida dos equipamentos, e é uma relação entre todos os departamentos de uma empresa.

2.2.1.4. Gerenciamento da Manutenção

Xenos (1998) declara que em um sistema de gerenciamento da manutenção, o plano de manutenção ocupa posição de destaque e que a elaboração e o cumprimento deste plano permitirão que a empresa alcance seus objetivos de lucratividade e sobrevivência, pois equipamentos que não falham, não prejudicam a qualidade, o custo e a entrega dos produtos, e mantém a segurança e a integridade do meio ambiente.

Pode-se observar na Figura 11, que para alcançar a qualidade da manutenção, torna-se necessário que a equipe de manutenção seja capacitada tecnicamente e gerencialmente, que ocorra um sistema bem estruturado de padronização da manutenção e análise de falhas, garantindo a efetividade da gerência da manutenção, aliada à manutenção preventiva.

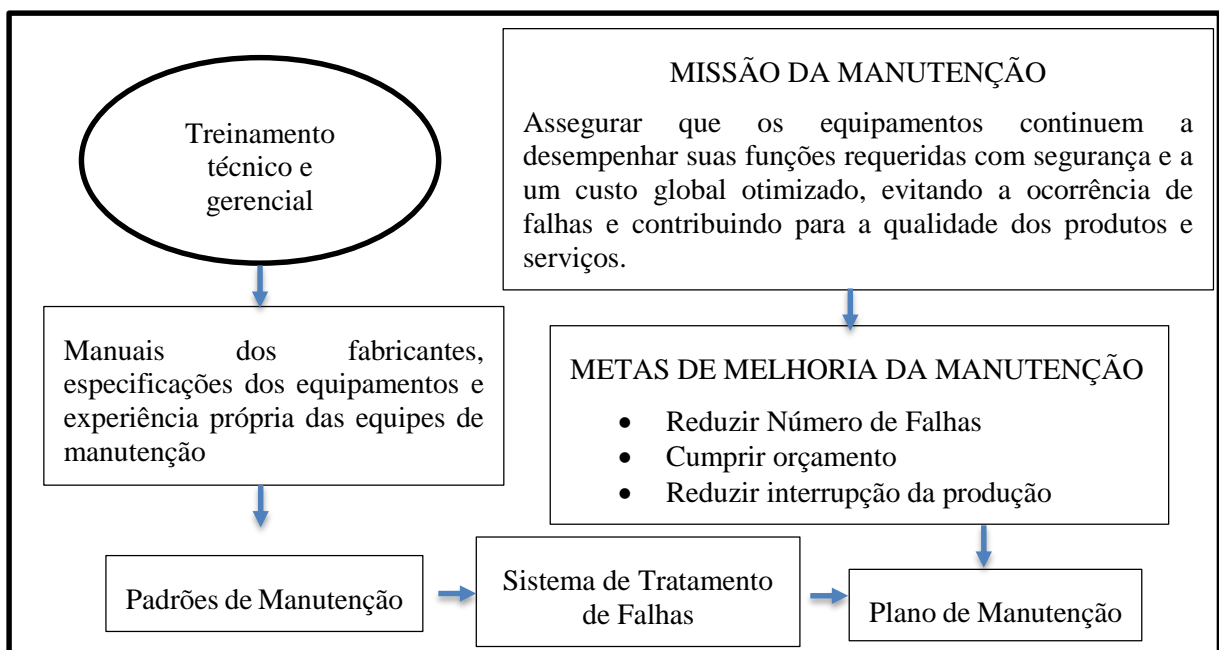


Figura 11: Dimensionamento dos recursos da manutenção com foco no plano de manutenção
Fonte: Adaptado de Xenos (1998)

Conforme Xenos (2004, p.183) a padronização da manutenção “é um meio para melhorar tanto a execução quanto o gerenciamento das atividades de manutenção” conforme observado na Figura 11.

Para Viana (2002) os planos de manutenção são o conjunto de informações necessárias, para a orientação perfeita da atividade de manutenção preventiva. Portanto, representam o

detalhamento da estratégia de manutenção assumida por uma empresa. E conforme destaca Kardec e Nascif (2009), a manutenção preventiva permite um bom gerenciamento das atividades, nivelamento dos recursos, além de previsibilidade do consumo de materiais e sobressalentes, e por outro lado promove a retirada do equipamento ou sistema de operação para a execução das atividades programadas, antes da ocorrência da falha.

O termo falha, segundo a NBR-5462 (1994, p.3), é definido como o término da capacidade de um item desempenhar sua função requerida. De acordo com Xenos (1998), existem três categorias de causas para a ocorrência das falhas nos equipamentos, que envolvem a falta de resistência, uso inadequado, e manutenção inadequada; a falta de resistência é uma característica do instrumento, ocasionada por erros de projeto, na especificação de materiais, e deficiência nos processos de fabricação e montagem.

As falhas provenientes de falta de resistência resultarão em esforços que os equipamentos não foram projetados para suportar. A falha por uso inadequado ocorre, geralmente, pela aplicação de esforços fora da capacidade do equipamento, enquanto a falha por manutenção inadequada ocorre por insuficiência durante aplicação de métodos de manutenção preventiva ou pela sua ausência (XENOS, 1998).

Ainda para Xenos (1998) toda falha é um acontecimento indesejável e é considerado uma situação anormal, quando esse princípio não é bem entendido pela equipe de manutenção há a ocorrência do chamado círculo vicioso das falhas, que pode ser visto na Figura 12.

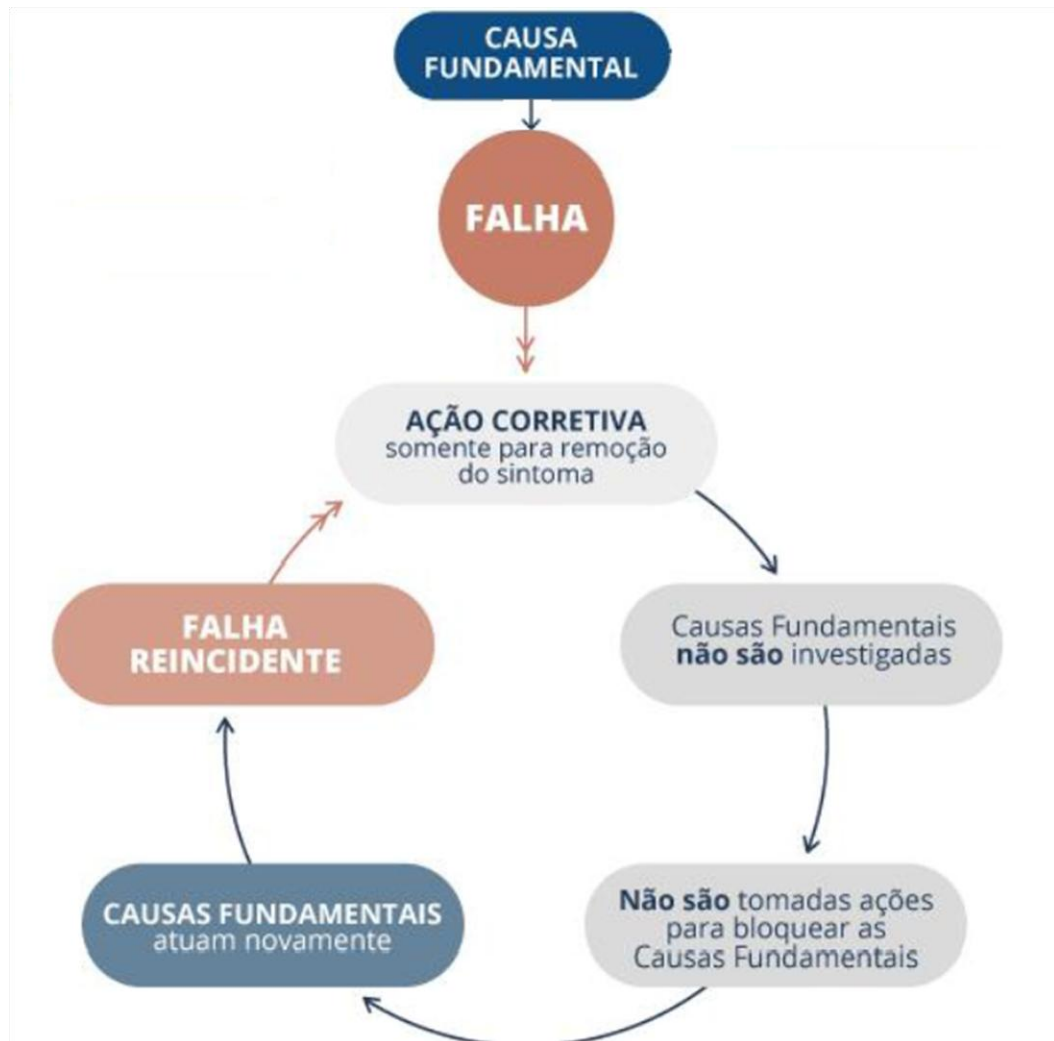


Figura 12: Circulo Vicioso de Falhas
Fonte: Adaptada de Xenos (1998)

Para Xenos (1998), deve-se realizar um estudo sobre as causas fundamentais das falhas para tomar contramedidas, sem a realização dessas contramedidas, e sem o estudo, as causas fundamentais das falhas atuam novamente, ocasionando falhas recorrentes, conforme observa-se na Figura 12.

Para tratar tais falhas, Kardec e Nascif (2009, p.124) destacam que “algumas ferramentas extremamente simples oferecem grandes ganhos em tempo curto”.

Ishikawa (1993) destaca que a utilização do diagrama de Ishikawa ou diagrama de causa e efeito, permite estruturar as variadas causas de um problema, analisando os efeitos para a determinação da causa fundamental da falha, podendo ser agrupadas em seis categorias: equipamentos, materiais, procedimentos ou métodos, projeto, gerenciamento, e capacitação, conforme observa-se na Figura 13.

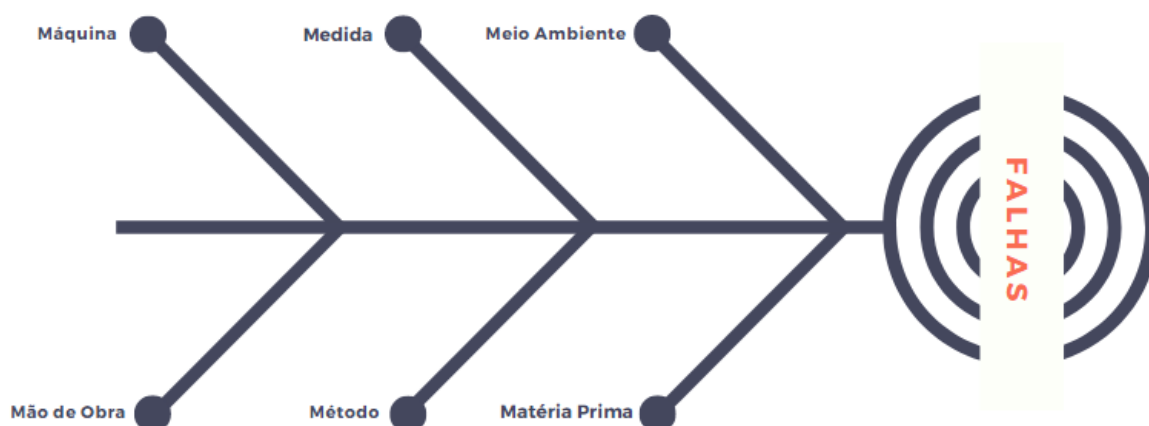


Figura 13: Diagrama de Causa e Efeito
 Fonte: Adaptada de Ishikawa (1993)

A descrição de cada categoria de falha, conforme Figura 13, podem são detalhadas em: equipamentos ou máquina, onde são relacionadas as condições dos componentes; materiais ou matéria prima, que abordam as causas ligadas às falhas no material do equipamento e seus componentes; procedimentos ou métodos, que analisam as causas provenientes de problemas no cumprimento de ações de manutenção e operação, bem como a inexistência ou inadequações de normas, planos; meio ambiente, que está relacionado à causas ligadas aos problemas no ambiente ou nas instalações; gerenciamento ou medidas, que agrupam as alterações do processo, previstas ou não; e a capacitação ou mão-de-obra, que são fatores relacionados à falta de treinamento e preparo das pessoas envolvidas com o processo (ISHKAWA, 1993).

Após o levantamento de todas as causas, segundo Kardec e Nascif (2009) podem ser tomadas ações para evitar problemas futuros que ocasionam prejuízos, e sugere que para a manutenção, a aplicação da Análise do Modo e Efeito de Falha – FMEA, fornece a hierarquização das falhas e recomendações de ações preventivas, isolando os componentes, descrevendo o modo potência de falha, sua função, seus efeitos a gravidade, a frequência da falha, risco e ação corretiva.

Kardec e Nascif (2009) ainda esclarecem que essa metodologia pode ser aplicada tanto para projetos como para processos e sistema, dedicando-se o FMEA de projeto a eliminar as causas de falha durante o projeto do equipamento, o FMEA de processo em como o equipamento é mantido e operado e, o de sistema analisa as falhas globais em um sistema de produção. (KARDEC E NASCIF, 2009)

2.2.2. Manutenções em bombas

Procel (2009) determina que uma manutenção bem feita pode prolongar a vida da bomba com menores custos de operação e menor possibilidade de quebra, o que diminui o risco de interromper um determinado processo industrial.

A criticidade das condições operacionais das bombas explica-se pelo fato de que a mesma é responsável pelo processo final de transformação da energia recebida do motor em energia hidráulica, logo há que se considerar que, naturalmente, a bomba tem um processo de desgaste e perda de eficiência mais acelerada que o motor, ou seja, sua operação é mais crítica. (PROCEL, 2009)

Logo segundo Procel (2009), torna-se necessário que os técnicos e responsáveis saibam identificar rapidamente quando uma instalação apresenta problemas e quais os motivos, pois isso ajudará na análise de desempenho e eficiência da instalação.

Em seu manual de instruções, Schneider - Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A. (2021), determina quais são as causas mais comuns de manutenção em instalações de bombeamento, determinando seus defeitos e suas causas mais prováveis, conforme Figura 14.

<p>1 - Bomba funciona, mas não há recalque. Vazão e/ou pressão nulas ou insuficientes</p>	<p>A canalização de sucção e a bomba estão vazias ou com pouca água (perda da escorva).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Profundidade de sucção elevada (maior que 8 m.c.a. para altitudes ao nível do mar ou inferior a 8 m.c.a. com altitude local superior ao nível do mar). • Entrada de ar pela tubulação de sucção ou pela válvula de pé (tubulações e/ou conexões mal vedadas ou trincadas; nível de água muito baixo). • Válvula de pé presa, parcial ou totalmente entupida, ou subdimensionada. • Motor ou mancal com sentido de rotação invertido. • Altura de recalque maior do que aquela para a qual a bomba foi dimensionada. • Canalização de sucção e/ou recalque de pequeno diâmetro ou obstruída. • Rotor da bomba furado ou entupido. • Corpo da bomba furado ou entupido. • Selo mecânico com vazamento. • Viscosidade ou peso específico do líquido diferente do indicado pela Fábrica.
---	---

<p>2 - Bomba perde escorvamento após a partida. Deixa gradativamente de jogar água</p>	<p>Profundidade de sucção elevada (maior que 8 m.c.a. para altitudes ao nível do mar ou inferior a 8 m.c.a. com altitude local superior ao nível do mar).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrada de ar pela tubulação de sucção ou pela válvula de pé (tubulações e/ou conexões mal vedadas ou trincadas; nível de água muito baixo). • Formação de bolhas de ar nos sistemas de circuito fechado, quando a tubulação de retorno da água cai em cima ou próxima à tubulação de sucção. • Selo mecânico com vazamento.
<p>3 - Bomba/Mancal com corpo superaquecido</p>	<p>A canalização de sucção e a bomba estão vazias ou com pouca água (perda da escorva).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eixo desalinhado ou empenado. • Rotor preso ou arrastando na carcaça (caracol). • Falta de lubrificação ou defeito dos rolamentos e/ou mancais. • Rotação no mancal acima da especificada. • Motor ou mancal com sentido de rotação invertido. • Altura de recalque maior do que aquela para a qual a bomba foi dimensionada. • Canalização de sucção e/ou recalque de pequeno diâmetro ou obstruída.
<p>4 - Motor elétrico não gira (travado)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eixo desalinhado ou empenado. • Energia elétrica deficiente (queda de tensão ou ligação inadequada). • Rotor preso ou arrastando na carcaça (caracol). • Falta de lubrificação ou defeito dos rolamentos e/ou mancais. • Motor em curto ou queimado. • Ligação errada dos fios do motor. • Problemas no acionamento elétrico.
<p>5 - Motor elétrico para de funcionar após alguns minutos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Queda de tensão. • Falta de ventilação. • Temperatura ambiente elevada • Bomba operando fora da faixa de funcionamento. • Subtensão e sobretensão. • Tensão da rede incompatível com a do motor.

6 - Motor elétrico com superaquecimento (amperagem alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba operando fora da faixa de funcionamento. • Bitolas dos fios de instalação do motor com diâmetro inferior ao indicado pela NBR 5410 ou norma equivalente do país onde o produto será utilizado. • Energia elétrica deficiente (queda de tensão ou ligação inadequada). • Falta de lubrificação ou defeito dos rolamentos e/ou mancais. • Rotor preso ou arrastando na carcaça (caracol). • Ventilação do motor bloqueada ou insuficiente. • Gaxeta muito apertada. • Eixo desalinhado ou empenado. • Viscosidade ou peso específico do líquido diferente do indicado pela Fábrica.
--	---

Figura 14: Manutenções e suas causas

Fonte: Adaptada de Schneider - Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A. (2021)

Procel (2009) dita que há importância em conhecer o equipamento, pois conforme pode-se perceber ao analisar a Figura 14, para cada defeito há uma causa peculiar, que resultará em uma manutenção específica, além disso, uma manutenção bem feita fará com que o equipamento trabalhe de acordo com as suas condições normais de projeto, o que proporcionará menor consumo de energia e sem queda de produção.

2.3. Método de dimensionamento de bombas

Segundo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel (2009), para dimensionar um sistema de bombeamento de maneira que este seja eficiente, é necessário realizar a correta instalação da bomba, das tubulações e acessórios, que resultarão em um sistema com menores custos de manutenção e com um consumo de energia adequado. Ainda segundo a Procel (2009, p.75), “quando uma instalação é mal dimensionada, com uma bomba inadequada, pode acarretar um desgaste prematuro da bomba, com um aumento da sua potência consumida, o que representa uma perda de energia elétrica desnecessária.”

Ao se projetar, ou dimensionar uma bomba, é necessário especificar o recalque de determinada vazão em certa altura manométrica desenvolvendo o projeto de maneira a obter o valor da perda de carga e o máximo rendimento para a bomba, sendo necessário analisar os catálogos, gráficos de seleção e curvas características das bombas (CARVALHO, 1999).

Para construir a curva de resistência do sistema ou curva de carga do sistema, analisa-se a variação no fluxo relacionada a carga do sistema. Ela deve ser desenvolvida pelo usuário com base nas condições de serviço. Estas condições incluem a organização física do espaço, as condições de processo, e as características do fluido. (GANGHIS, 2015)

Tais curvas representam a relação entre a vazão e as perdas hidráulicas em um sistema, na forma gráfica e, como as perdas por fricção variam com o quadrado da taxa de fluxo, a curva do sistema tem a forma parabólica. As perdas hidráulicas em sistemas de tubulação são compostas de perdas por fricção no tubo, válvulas, cotovelos e outro acessórios, perdas de entrada e saída, e perdas por mudanças na dimensão do tubo, em consequência de amplificação ou redução do diâmetro. (GANGHIS, 2015)

Ainda segundo Carvalho (1999) as curvas características são as que determinam a variação da altura manométrica com relação à vazão recalçada ($H_{man} \times Q$); a variação do rendimento em função da vazão ($\eta \times Q$); relação da potência de acionamento e vazão recalçada ($N \times Q$); e a variação da carga positiva de sucção - NPSH requerido com a vazão ($NPSH_{req} \times Q$) (CARVALHO, 1999), conforme pode-se observar na Figura 15.

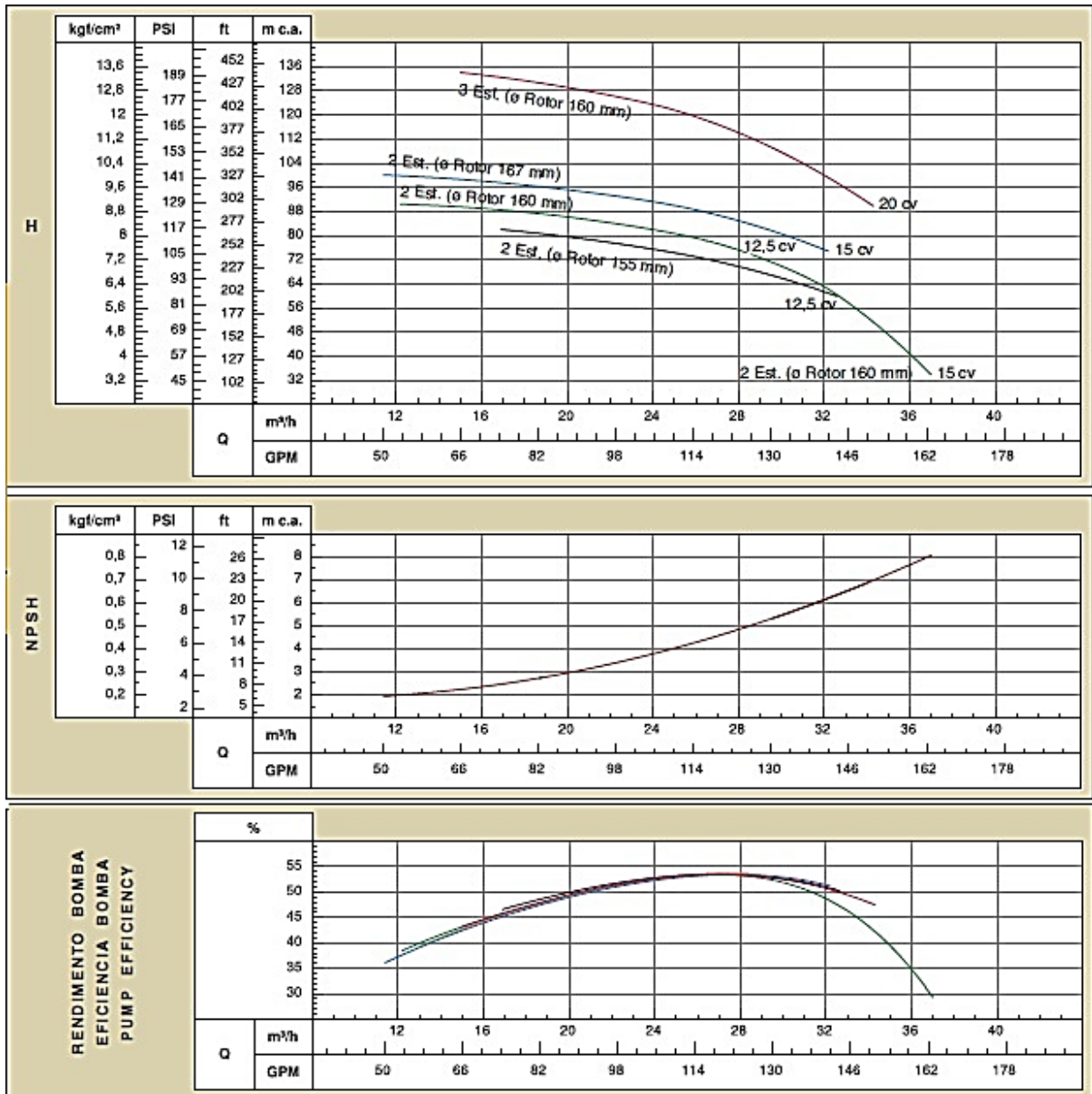


Figura 15: Curvas características.
 Fonte: Schneider - Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A. (2021)

Segundo Carvalho (1999), do conhecimento e análise das curvas apresentadas na Figura 15, se extrai informações da maior utilidade relativas ao emprego e a forma de operação das bombas.

Para realizar o cálculo da perda de carga, que segundo Macintyre (1997) são as resistências encontradas pelo fluido em seu deslocamento, contra as paredes e pelas perturbações no escoamento, existem diversas equações que podem determinar a perda no interior de uma tubulação.

Carvalho (1999) denota que a perda de pressão ou perda de carga, provocada pelo atrito do fluido no interior de um tubo cilíndrico, será calculada com o auxílio da equação de Hazen-

Williams para condutos com diâmetro maior que 50mm. A perda de carga por atrito, de um sistema de bombeamento, é dividida em duas partes, sendo a primeira parte referente à perda de carga em tubos retos de seção circular constante e a segunda referente à perda de carga em acidentes da tubulação, e quando analisadas matematicamente, define-se a perda de carga entre dois pontos (hf_{1-2}) como sendo o produto do comprimento equivalente da tubulação (L_e), que consiste na perda de carga por unidade de comprimento, e pela perda de carga unitária (J), que são as perdas de carga localizadas, expressas pela equação 1.

$$hf_{1-2} = J \cdot L_e$$

Para Carvalho (1999), o cálculo de perda de carga unitária (J), pelo método de Hazen-Williams, destaca-se pela simplicidade e facilidade de uso, que considera a vazão requerida (Q), a constante adimensional de Hazen-Williams (C), e o diâmetro interno da tubulação (D), conforme equação 2.

$$J = \left(\frac{4 \cdot Q}{0,355 \cdot \pi \cdot C \cdot D^{2,63}} \right)^{1,852}$$

Matematicamente, define-se perda de carga entre dois pontos (hf_{1-2}) como sendo o produto do comprimento equivalente da tubulação (L_e), que consiste na perda de carga por unidade de comprimento, e pela perda de carga unitária (J), que são as perdas de carga localizadas, expresso pela equação 2. (CARVALHO, 1999)

Ainda segundo Carvalho (1999), a equação de Hazen-Williams relaciona o comprimento e o diâmetro da tubulação, a vazão, e o coeficiente de rugosidade do material (C), constituinte da tubulação, que é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficiente de Rugosidade de C

Tubo	Coeficiente C
Aço corrugado (chapa ondulada)	60
Aço com juntas <i>lock-bar</i> novos	130
Aço com juntas <i>lock-bar</i> em serviço	90
Aço rebitado, novo	110
Aço rebitado, em uso	85
Aço soldado, novo	120
Aço soldado, em uso	90
Aço soldado com revestimento especial, novos e em uso	130
Chumbo	130
Cimento-amianto	140
Cobre	130
Concreto, bom acabamento	130
Concreto, acabamento comum	120
Ferro fundido, novo	130
Ferro fundido, em uso	90
Ferro fundido, tubos revestidos de cimento	130
Grés cerâmico vidrado (manilha)	110
Latão	130
Madeira, em aduelas	120
Tijolos, condutos bem executados	100
Vidro	140
Plástico	140

















Fonte: Carvalho (1999)

Observa-se na Tabela 1 que o coeficiente C varia de acordo com o tipo de material da tubulação, e que o desgaste da tubulação em função dos anos também é variável, conforme variação entre os tubos de ferro fundido (CARVALHO, 1999).

Ainda segundo Carvalho (1999) os sistemas de bombeamento possuem, em geral, além dos tubos retos de seção circular, diversos acessórios como curvas, conexões, alargamentos, reduções, válvulas e, muitas vezes, equipamentos (como trocadores de calor, medidores de vazão e outros) localizados entre a sucção e a descarga da bomba, e durante a linha de recalque. Devido à turbulência, alteração da velocidade, mudança da direção e aumento de atrito que ocorre nestes acessórios, e parte da energia mecânica disponível no fluido dissipa-se na forma de calor. Essa perda de energia denominada perda de carga localizada, acidental ou singular deve ser adicionada a perda de carga da equação. (CARVALHO, 1999)

Para Carvalho (1999), o uso da tabela de comprimentos equivalentes dos fabricantes, conduzem a resultados mais exatos, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Comprimentos equivalentes para o ferro fundido e o aço.

Comprimentos Equivalentes em Conexões											
Tabela de comprimentos equivalentes em metros de canalização, para cálculo das perdas de carga localizadas.											
CONEXÃO		Material	Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização								
			3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Curva 90°		PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
		Metal	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1
Curva 45°		PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
		Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Joelho 90°		PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9
		Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2
Joelho 45°		PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5
		Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9
Tê de passagem direta		PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3
		Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7
Tê de saída lateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
		Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
Tê de saída bilateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
		Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
União		PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25
		Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Saída de canalização		PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9
		Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0
Luva de redução (*)		PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2
		Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07
Registro de gaveta ou esfera aberto		PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1
		Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de globo aberto		Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0
Registro de ângulo aberto		Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0
Válvula de pé com crivo		PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4
		Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Válvula de Retenção	Horizontal 	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4
	Vertical 	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1

Fonte: Schneider - Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A. (2021)

A Tabela 2, apresenta comprimentos equivalentes de perdas localizadas em acessórios de ferro fundido (CARVALHO, 1999).

Tal processo de análise de perda de carga localizada, consiste em substituir o acessório por um comprimento de tubulação reta de mesmo diâmetro e assim estimar a perda de carga em uma tubulação, ou seja, soma-se os valores localizados encontrados, ao comprimento total

da tubulação, portanto, este método permite determinar quais as condições entre os valores de $(H_{man} \times Q)$, que é o ponto correto de funcionamento da bomba, determinado como o ponto de equilíbrio natural do sistema bomba-tubulação (MACINTYRE, 1997).

Qualquer alteração nas características físicas da tubulação de sucção ou nos acessórios como curvas, filtros, válvulas de crivo, entre outros, pode aumentar a perda de carga e, conseqüentemente, diminuir a carga positiva de sucção disponível - NPSHd, logo, para não ocorrer a cavitação, o NPSHd deve sempre ser maior que o carga positiva de sucção requerida - NPSHr. Quando essa relação $NPSHD > NPSHR$ não é satisfeita pelo sistema, ocorre o fenômeno da cavitação. Deve-se evitar que a cavitação ocorra na bomba, pois, além de perder o rotor ou, ainda pior, a bomba inteira, o seu consumo de energia elétrica aumentará. A cavitação diminui o rendimento da bomba devido ao aumento da potência energética requerida para o seu funcionamento, causando perda de eficiência energética. (PROCEL, 2009)

A última etapa consiste na escolha da bomba e na potência de acionamento do motor, de acordo com as curvas características encontradas (CARVALHO, 1999).

Os fabricantes de bombas tentam adequar a curva do sistema, fornecida pelo usuário, com a curva de uma bomba que satisfaça estas necessidades tão proximamente quanto possível. Um sistema de bombeamento opera no ponto de interseção da curva da bomba com a curva de resistência do sistema. A interseção das duas curvas define o ponto operacional de ambos, bomba e processo. (GANGHIS, 2015)

2.4. Eficiência Energética

A energia elétrica é necessária para tornar a água potável e movê-la através dos sistemas, por esta razão, tão importante quanto as medidas de diminuição do consumo de água, são as ações operacionais no processo de melhoria dos sistemas de distribuição (MONTENEGRO *et al*, 2006).

Segundo Montenegro *et al* (2006), um grande problema na maioria dos projetos de concepção de sistemas de bombeamento, consiste no fato de que os técnicos ao especificarem os conjuntos motor-bomba analisam superficialmente a questão do consumo de energia elétrica, e isso contribui para que o gasto com as operações de bombeamento represente o item mais significativo no consumo de energia para o orçamento de um sistema de abastecimento.

Para Gomes (2009) a melhoria dos sistema para diminuição de custos, tem por base qualquer conjunto de ações a executar em um sistema de saneamento, visando melhorar sua eficiência em termos de redução das perdas de água e energia, necessita de um estudo técnico,

e econômico para verificar sua praticabilidade e que os estudos de viabilidade econômica dos investimentos em projetos de saneamento devem ser enfocados com base nos aspectos financeiros e econômicos dos custos e benefícios envolvidos, assim como, nas características da engenharia dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, principalmente com relação às ações de operação e manutenção.

Muniz (2016, p.18) dita que “os primeiros passos rumo à eficiência energética passam por ações internas das empresas, sejam elas administrativas ou operacionais”.

Obter a eficiência energética significa utilizar processos e equipamentos que sejam mais eficientes, reduzindo o desperdício no consumo de energia elétrica, tanto na produção de bens como na prestação de serviços, sem que isso prejudique a sua qualidade (PROCEL, 2009).

Ainda conforme Procel (2009), qualquer problema que ocorra em um sistema de bombeamento e suas prováveis causas, terão como consequência a baixa eficiência de funcionamento associado à queda de rendimento. Consequentemente isso acarreta baixa eficiência energética devido ao aumento de consumo de energia.

A manutenção é responsável pelo perfeito funcionamento do equipamento, de acordo com os critérios nos quais a bomba foi dimensionada para atuar em um determinado sistema hidráulico. A falta de procedimentos de manutenção preventiva, tais como, lubrificação, limpeza, verificação/inspeção e medição, pode levar a bomba a operar abaixo da eficiência que foi inicialmente proposta no projeto deste equipamento, e equipamentos com baixa eficiência, além de afetarem negativamente o processo produtivo em que a bomba está operando, necessitam de um consumo maior de energia para seu funcionamento, por esses motivos surge a necessidade de estudos de implantação de eficiência energética (PROCEL, 2009).

3 METODOLOGIA

3.1. Tipo de Pesquisa

É importante classificar a pesquisa, pois segundo Lakatos (2021), caracterizar o método é detalhar o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança, permite alcançar o objetivo de produzir conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista.

Um objetivo relevante da pesquisa é encontrar soluções para um problema, mediante o uso de procedimentos científicos (GIL, 1999).

De acordo Minayo (2003), quanto à abordagem, a pesquisa pode ser classificada de duas formas: qualitativa ou quantitativa, sendo o método qualitativo aquele que se baseia na interpretação. Este método destaca as circunstâncias difíceis de serem descritas numericamente, reunindo todas as informações por fenômenos que envolvem análise, descrição e gravação. Para Lakatos (2021) o método de abordagem quantitativo seria aquele que lidaria com os fatos, sendo o fato qualquer evento que possa ser considerado objetivo, mensurável e, portanto, passível de ser investigado cientificamente. Sendo assim quanto à abordagem, segundo esta pesquisa é qualitativa, pois ela detalha os significados, os motivos e causas, dos valores e das atitudes (MINAYO, 2009), não possuindo representação numérica.

Para Gil (1999), quanto aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada em exploratória, descritiva e explicativa. Segundo o autor, a pesquisa exploratória tem a finalidade de esclarecer, desenvolver e modificar ideias e conceitos, com base em levantamento bibliográfico, documental, entrevistas com os envolvidos diretamente com o problema de pesquisa e estudos de caso. Para Appolinário (2016, p.23) “na pesquisa descritiva, o pesquisador, narra algo que acontece, ao passo que, na pesquisa explicativa, ele tenta explicar por que algo acontece, ou seja, busca determinar a causa dos eventos.”

Sendo assim, quanto ao objetivo da pesquisa, pode-se caracterizar esta pesquisa, como exploratória, pois segundo Gil (1999), tem como finalidade explicitar e proporcionar maior familiaridade com o problema, realizando-se levantamento bibliográfico, entrevistas com funcionários, proposta de padrões e exploração das melhorias.

Quanto aos procedimentos técnicos duas características exposto por Lakatos (2021) se enquadram nesta pesquisa, que é a bibliográfica e estudo de caso. Ainda segundo o autor a pesquisa bibliográfica é um tipo específico de produção científica, é feita com base em textos,

como livros, artigos científicos, ensaios críticos, dicionários, enciclopédias, jornais, revistas, resenhas, resumos, manuais. Para Gil (1999), o estudo de caso pode ser definido como sendo um estudo aprofundado de um ou poucos objetos, de maneira que permita detalhar e ampliar o seu conhecimento, explorando situações da vida real e descrevendo a situação do contexto em que está sendo realizada a pesquisa.

3.2. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho, tornou-se necessário uma análise sobre as condições ambientais, maquinário, insumos, tipos de manutenção realizada pela empresa, custos, e perdas, com o objetivo de se levantar a problemática referente aos sistemas de bombeamento. Determinou-se as etapas e os procedimentos a serem seguidos para a elaboração da proposta de eficiência energética, conforme demonstra a Figura 16.

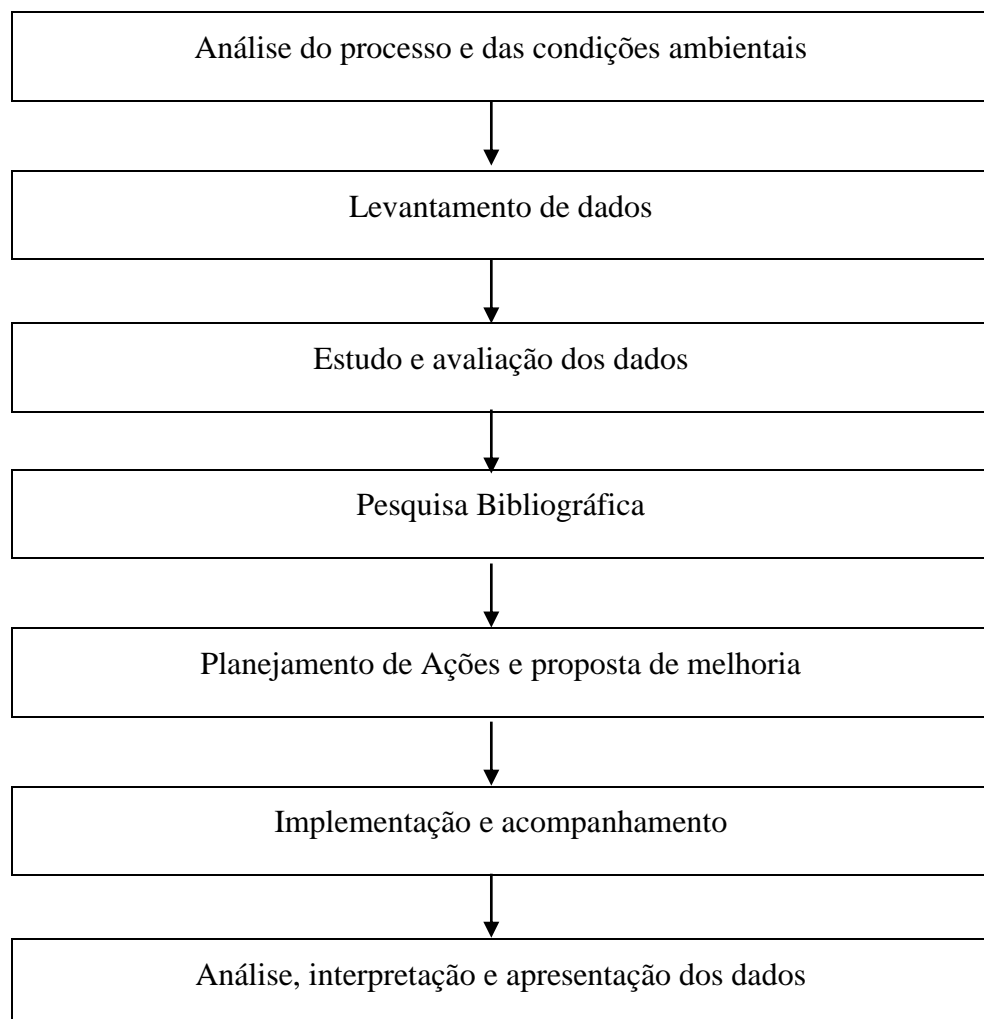


Figura 16: Etapas do procedimento metodológico
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Conforme observa-se na Figura 16, a análise do processo e das condições ambientais iniciou-se com a observação sobre o funcionamento e processo de logística do sistema de bombeamento e ambiente onde estão instalados os equipamentos, e acompanhamento da equipe de manutenção, para levantamento de dados relativos ao maquinário, peças, insumos, e para levantamento de dados sobre as abordagens de manutenções efetuadas na área de estudo, e frequência das ocorrências de falhas.

Através do conjunto de informações coletado, analisa-se os dados para encontrar prováveis causas de falhas através do diagrama de causa e efeito – Ishikawa, e elaboração de uma análise dos modos de falha e seus efeitos – FMEA, compara-se os dados coletados com os dados obtidos pela bibliografia, através de manuais, catálogos e equações. Assim, conhecendo-se as causas raízes que envolvem cada falha fundamental e perda da eficiência do sistema, é iniciada a etapa de planejamento das ações.

Na etapa de planejamento, elabora-se e planeja-se as ações de melhoria para que sejam realizadas as apresentações das propostas de melhorias e estudo de viabilidade, sendo este último realizado pela gestão da empresa e, assim que aprovado, há início do processo de acompanhamento de modificação das instalações, substituição de peças, desuso de unidades obsoletas, troca de componentes que apresentam falhas recorrentes, consistindo estes itens em fatores da nova abordagem de manutenção, proposta por este trabalho.

A fase conclusiva de análise e interpretação dos dados determina e expõe os efeitos das ações de melhoria por meio de práticas adequadas de manutenção, diminuição de custos, desenvolvimento e ascensão da eficiência do sistema de bombeamento estudado.

3.3. Variáveis e Indicadores

Uma variável pode ser considerada como uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração, e os indicadores detalham como esta variável funciona, por meio da percepção de um dado fenômeno (LAKATOS, 2021).

Com relação aos objetivos do trabalho, são separadas as variáveis e indicadores, segundo pode-se observar na Figura 17.

VARIÁVEIS	INDICADORES
Bombeamento	<ul style="list-style-type: none"> - Instalações - Condição das máquinas - Tipos de insumos - Qualidade das peças de reposição - Vida útil dos componentes - Altura Manométrica - Perdas - Vazão - NPSH - Tubulação - Potência
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Métodos de manutenção - Tratamento de falhas - Gerenciamento da Manutenção - Ferramentas da Manutenção - Padronização da Manutenção - Treinamento - Envolvimento de todos os colaboradores - Documentação
Eficiência	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimento do sistema - Rendimento dos equipamentos - Consumo de energia

Figura 17: Variáveis e Indicadores
 Fonte: Pesquisa direta (2021)

3.4. Instrumento de coleta de dados

Esta etapa consiste em determinar as ferramentas utilizadas para a coleta de dados para elaboração de análise e desenvolvimento do trabalho. Para coletar os dados, realizou-se entrevistas, pesquisa bibliográfica, documental, elaboração de planilhas e listas de verificação.

Para a realização de dimensionamento de bombas foi utilizada a planilha contendo os dados conforme observa-se na Figura 18.

Local	Altitude do Poço	Altitude da Caixa	Vazão	Localização do Crivo
Profundidade do Poço	Nível Estático e Dinâmico	Regime de Trabalho	Desnível	Profundidade de Sucção
Diâmetro da Tubulação	Quantidade de Tubos	Comprimento da Tubulação	Altura Geométrica Total	Material da Tubulação
Potência da Bomba	Corrente	Rede	Coordenadas Geográficas	Data de Instalação

Figura 18: Relação de dados coletados para ambientação e dimensionamento
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Conforme pode-se observar na Figura 18, os dados coletados possuem relação direta com o alvo de estudo, pois por meio da análise destes, estipula-se como deverá ser o embasamento, foco, e ações para o aumento da eficiência.

Os dados referentes às máquinas e componentes de máquinas, assim como suas instalações, foram coletados através de pesquisas bibliográficas em livros, internet e manuais técnicos dos fabricantes.

3.5. Tabulação dos dados

Os dados foram tabulados e calculados utilizando o *software Microsoft Excel*, onde também foram construídos os gráficos, e o *Microsoft Word*, foi utilizado para processar e relatar os dados.

3.6.Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foram apresentados os materiais e a metodologia abordada, e as ferramentas utilizadas para tabulação e desenvolvimento para a concretização do trabalho de efetivação do aumento da eficiência do sistema, cujos instrumentos escolhidos, estão de acordo com o objeto proposto na mesma.

No capítulo seguinte, são apresentadas as análises dos resultados relativos ao dimensionamento, adaptação e melhoria do sistema e adequação da manutenção, que diz respeito às características gerais para aumento da eficiência energética.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterizações da empresa e do setor

A empresa onde foi realizado o estudo de caso, é uma empresa de saneamento localizada em um município do estado de Minas Gerais, criada em 2005, o órgão é uma Autarquia Municipal que possui personalidade jurídica própria, dispondo de patrimônio próprio e autonomia administrativa, financeira e técnica.

Sua criação significa para o município um “divisor de águas” entre o quase artesanal sistema de captação, tratamento e distribuição de água, praticado na época anterior à sua implantação, propondo uma moderna gestão dos recursos hídricos. A empresa direciona as ações a partir de um diagnóstico científico da realidade do município, com propostas definidas para execução a curto, médio e longo prazo.

Com a formalização da autarquia, o município comprova junto ao governo federal, possuir serviço de água e esgoto organizado, e desta forma, adequado às orientações da Agência Nacional das Águas (ANA), portanto, recebe verbas federais que se somam aos recursos próprios destinados à área de saneamento, tendo suas ações norteadas pelo plano diretor de tratamento de água, e pelo plano diretor de coleta e tratamento de esgoto.

As ações da empresa se iniciam na captação de água bruta, provindas de mananciais superficiais ou nascentes, e de mananciais profundos ou subterrâneos. A água é conduzida às estações de tratamento, onde passam pelos processos de coagulação e floculação, onde as impurezas presentes na água são agrupadas, pela ação do coagulante, em partículas maiores para que possam ser removidas pelo processo de decantação. A água decantada é encaminhada às unidades filtrantes compostas por um meio poroso granular, normalmente areia, de uma ou mais camadas, instalado sobre um sistema de drenagem, capaz de reter e remover as impurezas ainda presentes na água, em seguida, passa pelo processo de desinfecção cuja finalidade é a destruição de microrganismos patogênicos que possam causar doenças, normalmente o agente desinfetante utilizado pela empresa é o cloro.

A empresa possui um organograma gerencial definido conforme a Figura 19.

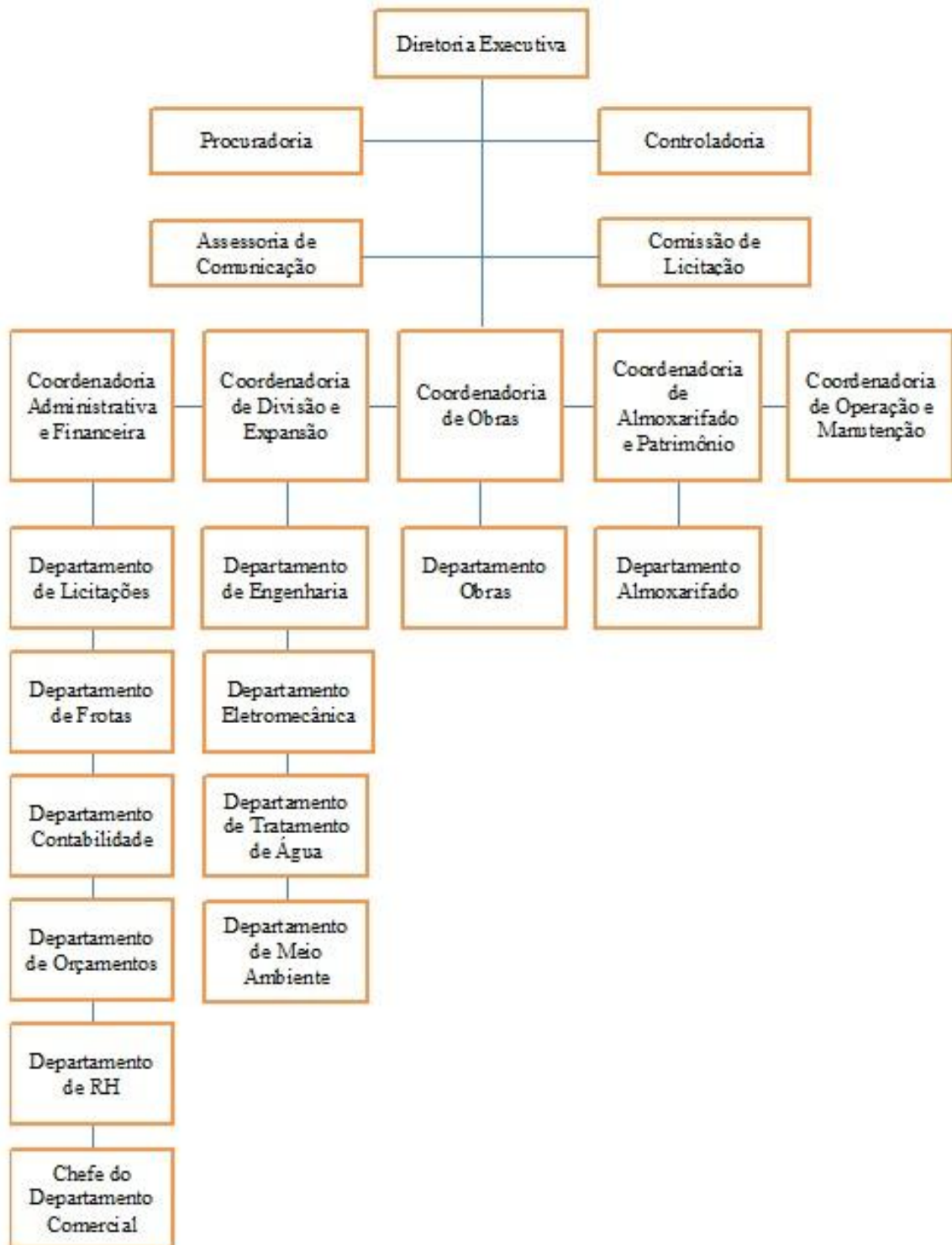


Figura 19: Organograma gerencial
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Percebe-se pela Figura 19, que sob a coordenação do setor de engenharia, a empresa, possui um setor de eletromecânica, que é responsável pelas manutenções relacionadas ao sistema de bombeamento, dimensionamento de máquinas, execução de projetos, serviços

relacionados à elétrica e mecânica em geral, e o seu funcionamento. Segundo dados da empresa, o setor é responsável por aproximadamente 70% do abastecimento de água da cidade de Mariana, sendo a manutenção nos conjuntos de bombas, foco principal do setor, que possui em sua responsabilidade a operação e manutenção de 18 poços artesianos que possuem bombas submersíveis e 36 estações elevatórias que possuem bombas centrífugas, onde foram realizados os estudos e as aplicações de melhorias.

4.2. Diagnóstico dos Equipamentos Estudados

Para a realização deste trabalho, analisou-se todo o sistema das estações elevatórias de água da empresa, que possuem em sua concepção, bombas, tubulações, válvulas e conexões, e painéis de acionamento elétrico. Em suas estações a empresa utiliza, em grande maioria, bombas centrífugas com sucção negativa, conforme Figura 20.



Figura 20: Instalação de Bombeamento
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Na Figura 20 pode-se observar a característica da instalação de bombeamento, onde as bombas instaladas no interior da estação elevatória se encontram abaixo do nível de água do reservatório.

Devido ao desnível topográfico, característico da cidade, há demanda de recalque de água em elevadas alturas manométricas, por este motivo a maioria das bombas são multiestágio, conforme Figura 21.



Figura 21 Características dos componentes de uma estação elevatória
Fonte: Pesquisa Direta (2021)

Na Figura 21, pode-se observar ainda, que o material de fabricação da tubulação na linha de recalque de alta pressão, das estações elevatórias mais utilizado é o Ferro Galvanizado, e há uma grande e desnecessária quantidade de conexões e acessórios na composição do layout das instalações, que aumenta a perda de carga nas tubulações.

4.3. Diagnóstico do tipo de manutenção

Durante o acompanhamento das manutenções e tabulação dos dados relativos à abordagem de manutenção utilizadas pela empresa, percebe-se que a manutenção é exclusivamente corretiva, sempre são realizadas as manutenções após o surgimento da falha, que geram grandes perdas por interrupção da produção. Por possuir um sistema, em que algumas instalações possuem bombas em *stand by*, algumas vezes são tomadas ações de manutenção corretiva planejada. Há um modo arcaico de geração de dados, que não são analisados, gerando apenas um histórico simples das falhas que ocorreram, sem nenhum tratamento, ou gerenciamento.

Verifica-se a necessidade de formulação e melhoria estrutural empresarial a partir da reestruturação e melhoria dos processos, pessoas e equipamentos, com envolvimento de todos os níveis hierárquicos e a mudança da postura organizacional, incluindo a estruturação a partir dos pilares da TPM.

Quanto à ausência de gerenciamento de manutenção, percebe-se que a equipe de manutenção é tecnicamente capacitada, logo, torna-se de extrema importância a implantação de um sistema bem estruturado de padronização da manutenção e análise de falhas, por meio da utilização de ferramentas da qualidade, garantindo a efetividade da gerência da manutenção, aliada à manutenção preventiva.

Percebidos estes fatos, aproveita-se a oportunidade para a implantação de um sistema de tratamento de dados por meio da implantação das ferramentas da qualidade, como a FMEA e o diagrama de Ishikawa.

4.4. Obtenção de dados

Para a obtenção e tabulação dos dados relativos à manutenção, utiliza-se o histórico de manutenção da empresa, que contém dados relativos ao processo, determinando a descrição do modelo e localização do equipamento, a data, o tipo de manutenção, e à constatação do erro, sem exibir maiores detalhes sobre a causa e motivo da falha

O levantamento de dados sobre a tubulação é realizado por meio do acompanhamento das manutenções e de registros fotográficos das estações elevatórias, onde são levantados quais peças compõem as linhas de sucção e de recalque e os diâmetros das tubulações. Já o detalhamento sobre o comprimento da linha de recalque, são obtidos através de levantamentos topográficos utilizando *softwares* como o *Google Earth e Maps* conforme pode-se observar na Figura 22.



Figura 22: Comprimento da linha de recalque
 Fonte: Google Maps (2021)

A Figura 22 representa o dimensionamento de uma rede de recalque de água, desde o ponto 0 Km, que é o ponto de instalação da estação elevatória, até o ponto 1,05 Km, que para este caso, representa a distância até a caixa d'água, que é o ponto final onde é realizada a descarga. São também tomados os dados de coordenadas e altitude, detalhando o desnível entre os dois pontos principais.

Os dados relativos ao consumo energético, são levantados por meio de tabulação dos valores de faturamento da companhia energética que fornece a energia elétrica para o estado de Minas Gerais, no período em que é realizado e implantado o estudo, a fim de compará-los com os dados de faturamento do ano anterior.

4.5. Identificação das causas de falha

A partir dos registros das falhas e das informações coletadas com o pessoal de operação e manutenção, parte-se à procura das causas raízes ou fundamentais da falha. Desenvolve-se um diagrama de espinha de peixe, utilizando o método de Ishikawa, onde são descritas as falhas em seis principais aspectos, incluindo as falhas por defeitos da máquina, das medidas, do ambiente, da mão de obra, do método e dos problemas relacionados ao material, conforme exibido na Figura 23.



Figura 23: Diagrama de Ishikawa

Fonte: Pesquisa direta (2021)

No diagrama da Figura 23, estão detalhadas as causas das falhas, que são utilizadas para determinar a melhoria do processo, a fim de se alcançar a eficiência energética, melhoria nas instalações e melhoria do processo de manutenção, focando nos dados obtidos das deficiências, abordando o conjunto como um todo.

4.6. Elaboração de sistema de tratamento de falhas e plano de manutenção

Após o levantamento e detalhamento de todas as causas principais, parte-se para o aprofundamento das situações que conduzem às falhas, para a tomada das ações para evitar problemas que ocasionam prejuízos de produção que afetam os lucros e prejuízos financeiros por perdas de eficiência.

4.6.1. Registro de ocorrência de falhas

A fim de se elaborar uma Análise do Modo e Efeito de Falha - FMEA detalhada, parte-se da proposta de elaboração de um histórico de manutenções específicas para o conjunto de bombeamento, característico da empresa onde realiza-se o estudo. O histórico de manutenção assume um novo formato, facilitando a geração e análise de dados de manutenção, para evidenciar os pontos de maior importância, conforme o modelo esquematizado na Figura 24.

Ficha de Manutenção			
Equipamento	Localização		Data
			/ /
Tipo de Manutenção			
Corretiva:	Preventiva:	Detectiva:	Preditiva:
Falha			
Efeito da Falha			
Provável Causa			
Peças Danificadas			
Bomba			
Motor	Eixo do Motor	Rolamentos	Tampas/Mancais
Voluta	Oring do Estágio	Selo Mecânico	Cubo do Selo
Oring do Cubo	Rotor	Estágio	Ponta do Eixo
Parafusos do Motor	Parafusos da bomba	Chaveta	Bucha da ponta
Descrição da(s) Peça(s) Danificada(s) da Bomba			
Acessórios da Tubulação			
Rosca	Luva	União	Tube
Curva Longa	Válvula de Pé	Válvula de Retenção	Redução
Tê	Tê Y	Joelho	Registro
Descrição da(s) Peça(s) Danificada(s) da Tubulação			
Acessórios do Painél			

Cabos de Potência	Cabos Comando	Contator de Potência	Contator Auxiliar
Soft-starter	Compensadora	Relé de Nível	Relé de Tempo
Relé Falta de Fase	Relé Térmico	Porta Fusível	Fusível
Horímetro	Voltímetro	Amperímetro	Botoeira
Disjuntor Potência	Disjuntor Comando	Disjuntor Motor	Borne
Ventoinha	Clamper	Caixa do Painél	Espelho
Lâmpada	Botão Emergência	Calha	Trilho
Descrição da(s) Peça(s) Danificada(s) do Painél			

Figura 24: Ficha de Manutenção Atualizada
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Com treinamento do pessoal de manutenção e instituição do uso da ficha de manutenção, conforme exposto na Figura 24, facilita-se a entrada e tabulação de dados no sistema de análise.

4.6.2. Sistema de Tratamento de Falhas e Plano de Manutenção

Aplica-se a FMEA, por meio da capacitação para uso do programa e lançamento de dados, determinando a hierarquia das falhas e recomendações de ações preventivas, isolando os componentes, descrevendo o modo potência de falha, sua função, seus efeitos a gravidade, a frequência da falha, o programa calcula o risco e determina a ação corretiva, sendo esta última o ponto de partida para a análise da equipe de manutenção com a programação das manutenções e execução do planejamento da manutenção. Dedicar-se a análise neste caso para o FMEA de produto.

No documento FMEA relacionam-se os componentes, funções ou serviços que podem falhar determinando a ocorrência, os efeitos e os modos de falha para que então o risco inerente à falha possa ser calculado e hierarquizado. O valor do risco é um múltiplo de 3 variáveis que são descritas como a ocorrência que se define como a frequência que ocorre o erro, a severidade, representada como a gravidade do erro e por último a detecção deste erro. Estas variáveis assumem valores mínimos de 1 e máximo de 10.

Quanto à ocorrência, os valores variam partindo de uma chance remota de falha, que assume o valor mínimo, progredindo ao valor máximo, que consiste em uma frequência de surgimento da falha várias vezes ao dia.

Quanto à severidade, são analisados a perda de produção e desempenho que podem causar aborrecimentos do cliente, e problemas de acidentes por motivo de ausência de segurança.

Quanto à detecção, quanto maior a probabilidade de detecção de um problema, menor o risco, logo se não é possível detectar um problema, este assume valor máximo.

Para cada falha, há uma recomendação de manutenção, que varia sua periodicidade de acordo com o valor do risco na lista de hierarquia. Tais dados se tornam o plano de manutenção, que se divide em atividades diárias, semanais, mensais e anuais.

Definidos os termos que compõem a estrutura do FMEA, parte-se para o preenchimento das planilhas, lançando os dados do histórico de manutenção, conforme representado na Tabela 3.

Tabela 3: Ficha modelo de FMEA

FUNÇÃO	FALHA	OCORRÊNCIA	SEVERIDADE	DETECÇÃO	RISCO	AÇÃO PREVENTIVA
BOMBEAMENTO	QUEIMA DO MOTOR	6	10	7	420	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA SEMANAL
BOMBEAMENTO	VARIAÇÃO DA CORRENTE	7	4	1	28	ANÁLISE DE TENSÃO E CONTROLE DE VAZÃO DIÁRIA
BOMBEAMENTO	TRAVAMENTO DOS ROLAMENTOS	6	7	6	252	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA E VIBRACIONAL SEMANAL
BOMBEAMENTO	SOBRECARGA DO MOTOR	8	9	4	288	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA SEMANAL
BOMBEAMENTO	VAZÃO INSUFICIENTE	8	7	4	224	ANÁLISE DE VAZÃO DIÁRIA
BOMBEAMENTO	CAVITAÇÃO	7	4	1	28	ANÁLISE DE VAZÃO DIÁRIA
BOMBEAMENTO	AQUECIMENTO EXCESSIVO DO MOTOR	10	3	3	90	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA SEMANAL
BOMBEAMENTO	VIBRAÇÃO/RUÍDO	10	3	3	90	INSPEÇÃO VIBRACIONAL SEMANAL

Fonte: Pesquisa direta (2021)

A partir da análise dos dados, obtém-se valores de hierarquia conforme ilustra a Tabela 3, percebe-se que o alto grau de severidade e ocorrência dos itens “queima do motor”, “sobrecarga do motor”, “travamento dos rolamentos” e “vazão insuficiente”, são fatores determinantes para classificar tais falhas, indicando-as no topo da lista de maiores riscos. Quando as falhas que assumem alto grau de risco na lista de hierarquia são analisadas, percebe-se que uma generalização de fatores que podem inferir em seu surgimento.

Quando analisados em relação à eficiência energética, percebe-se que qualquer problema que ocorra na bomba e suas prováveis causas, descritas na figura anterior, terão como consequência a baixa eficiência de funcionamento associado à queda de rendimento. Consequentemente isso acarreta baixa eficiência energética devido ao aumento de consumo de energia, que ocorre quando o motor deixa de trabalhar em sua faixa ideal.

4.7.Elaboração do sistema de dimensionamento

4.7.1. Proposta do sistema de dimensionamento de máquinas e tubulações

Ao se realizar o tratamento de dados, percebe-se a necessidade de implantar um sistema eficiente, de maneira geral, e implementar melhorias além da manutenção, a fim de assegurar a diminuição e tratamento das causas de falhas que, em grande parcela, são ocasionados pela precariedade do sistema em si, analisando de maneira global, todos os componentes, verificando a necessidade de troca e proposta de mudança e adequação dos equipamentos que compõem todo o conjunto de bombeamento.

Para tal, realiza-se a etapa de dimensionamento de bombas, a fim de se coletar informações do processo e das estações elevatórias, conforme pode-se observar na Figura 17.

Faz-se um levantamento das variáveis que devem ser analisadas por meio dos registros e levantamento de dados. Analisa-se cada elevatória de maneira individual, a fim de se produzir uma proposta peculiar, e ao mesmo tempo, visando a globalização e padronização do sistema.

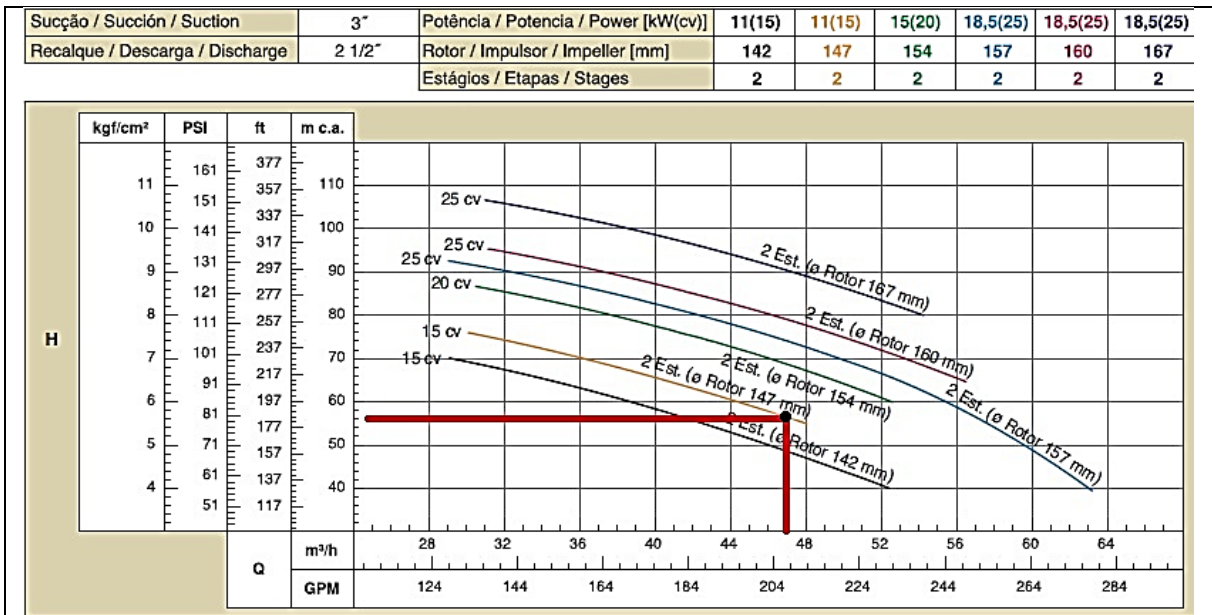
Após coletados todos os dados, procede-se à etapa de dimensionamento da bomba, para isto é criado um programa dentro do *software Excel*, onde são lançados os dados coletados.

Esses dados são analisados pelo programa, conforme pode-se observar na Tabela 4, que apresenta um recorte da tela do programa. Após análise é determinado automaticamente uma potência de motor, e seleção uma bomba específica, e dados referentes às medidas de tubulação. Os dados de vazão e altura são fixos, pois a vazão é especificada de acordo com a capacidade

de produção da estação de tratamento de água, e a altura é referente ao desnível entre caixa d'água e estação elevatória.

Tabela 4 – Cálculo de Dimensionamento

ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO DA BOMBA
Cálculo de Perda de Carga – Tubulação de Recalque
Tubulação de 150mm: Perda de carga em aproximadamente 600m de rede: 1,8 m
Tubulação 110mm: Perda de Carga em aproximadamente 600m de rede: 7,2 m
1 Curva 45° de 110mm / Comprimento Equivalente: 1 m
2 Joelhos de 90° com Ø 110mm/ Comprimento Equivalente: 8,6 m
3 Joelhos de 90° com Ø 150mm / Comprimento Equivalente 16,2 m
1 Redução de 150mm para 110mm: Comprimento Equivalente : 1 m
Comprimento Equivalente Ø 150mm: 617,2m + Comprimento Equivalente Ø 110mm: 609,6m
Comprimento Equivalente total: 1226,8 m
Perda de Carga Ø 150mm: $H_{f_{1-2}} = 2,674\text{m}$
Perda de Carga Ø 110mm: $H_{f_{2-3}} = 11,112\text{m}$
Altura Manométrica
Altura Geométrica Caixa Cruzeiro do Sul: 783m
Altura Geométrica Matadouro: 742m
Diferença de Altura Geométrica Total: 41m
Altura Manométrica total ($H_m = HG + H_{f_{1-3}}$): 54,786 m
Vazão da bomba
Máx: 47,3m ³ /h à 56m de altura (Ideal)
Seleção da bomba (*)



(*) os dados da seleção das bombas têm como fonte o catálogo de curvas de Schneider - Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A. (2021)

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Conforme pode-se observar na Tabela 4, a bomba selecionada através do *software* de dimensionamento, possui valores específicos de medidas dos diâmetros de sucção igual a 3" e recalque de 2 1/2", logo, surge a necessidade de modificação da estrutura, tubulação, acessórios a fim de atender a demanda de um sistema adequado e eficiente de bombeamento. A potência da bomba indicada é igual a 15 CV, e deve possuir um rotor de 147mm de diâmetro.

4.7.2. Proposta e modificação das instalações

Analisa-se o conjunto de bombeamento para verificação das condições, logo percebe-se a necessidade de modificação estrutural das estações elevatórias desta empresa de saneamento. Observando a Figura 25, percebe-se a precariedade do sistema que compõe algumas das estações elevatórias. Nota-se que durante a instalação, as condições, inicialmente analisadas para implantação do bombeamento foram a demanda de água, e a proteção contra intempéries para a motobomba, sem considerar fatores de estrutura, acionamento, segurança e dimensionamento que alteram o consumo energético.



Figura 25: Estação Elevatória
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Percebe-se então, pela Figura 25, a necessidade de intervenção nas instalações, que indicam falha ou ausência de dimensionamento, percebido também pela desorganização física do espaço e pela ausência de correto dimensionamento da tubulação utilizada nas linhas de sucção e de recalque, ocasionando prejuízos econômicos quanto ao desperdício de água tratada e perdas características do sistema que geram alto consumo energético.

Através do dimensionamento da bomba e proposta de melhoria das instalações do sistema, inicia-se o processo de adequação das instalações, conforme representado na Figura 26.



Figura 26: Modificação estrutural de uma estação elevatória
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Ao modificar a instalação, percebe-se ao pela Figura 26, que a nova instalação da tubulação de sucção e recalque obedece aos requisitos de dimensionamento, em comparação com a situação anterior, observada na Figura 25. Pode-se perceber a instalação de equipamentos e acessórios novos, e uma diminuição considerável de peças de conexão das tubulações, que são responsáveis por ocasionar aumento da perda de carga e diminuição da eficiência energética.

A mudança das instalações resulta em uma nova instalação de bombeamento, com uma modificação completa da estrutura, começando pela mudança de localização dentro da mesma estação de tratamento de água, modificação necessária para este caso específico, pois o local de instalação anterior, conforme observa-se na Figura 25 é totalmente inadequado, percebe-se a modificação da tubulação, instalada conforme demanda determinada pelo dimensionamento da bomba e da tubulação.

A Figura 27 é panorâmica e pode-se perceber a mudança da localização e a melhoria efetuada através da nova instalação de bombeamento, que é construída após o dimensionamento da bomba.



Figura 27: Panorama após finalização das modificações das instalações de bombeamento
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Ao analisar a Figura 27 pode-se notar que o local da instalação da bomba foi modificado, anteriormente a bomba se encontrava sob um abrigo de estrutura precária, próximo aos tanques de tratamento de água, localizados à direita da figura. A nova estação elevatória é feita de alvenaria, e constitui-se em uma instalação adequada às dimensões da bomba e da tubulação, e em um abrigo para as bombas, os painéis de acionamento e demais componentes.

Opta-se também, por modificar o sistema de acionamento dos motores por painéis com partida controlável e dispositivos de proteção para os equipamentos, conforme Figura 28.



Figura 28: Painel de acionamento, proteção e controle de partidas
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Equipamentos como o painel controlador, demonstrado na Figura 28, geram alta confiabilidade, garantindo a redução de custos operacionais dos processos produtivos e ganhos no desempenho energético dos equipamentos, e ocasionam a proteção do motor.

4.8. Ganhos econômicos com eficiência energética

As atividades de dimensionamento e projeto, a partir da aplicação das melhorias e extinção das perdas no sistema, impactaram positivamente, ocasionando o decréscimo do consumo e dos custos de energia elétrica, conforme dados levantados sobre o consumo energético de 36 estações elevatórias, para um período de 6 meses, entre Janeiro e Junho considerando em relação ao mesmo período do exercício anterior, conforme pode ser observado na Figura 29.

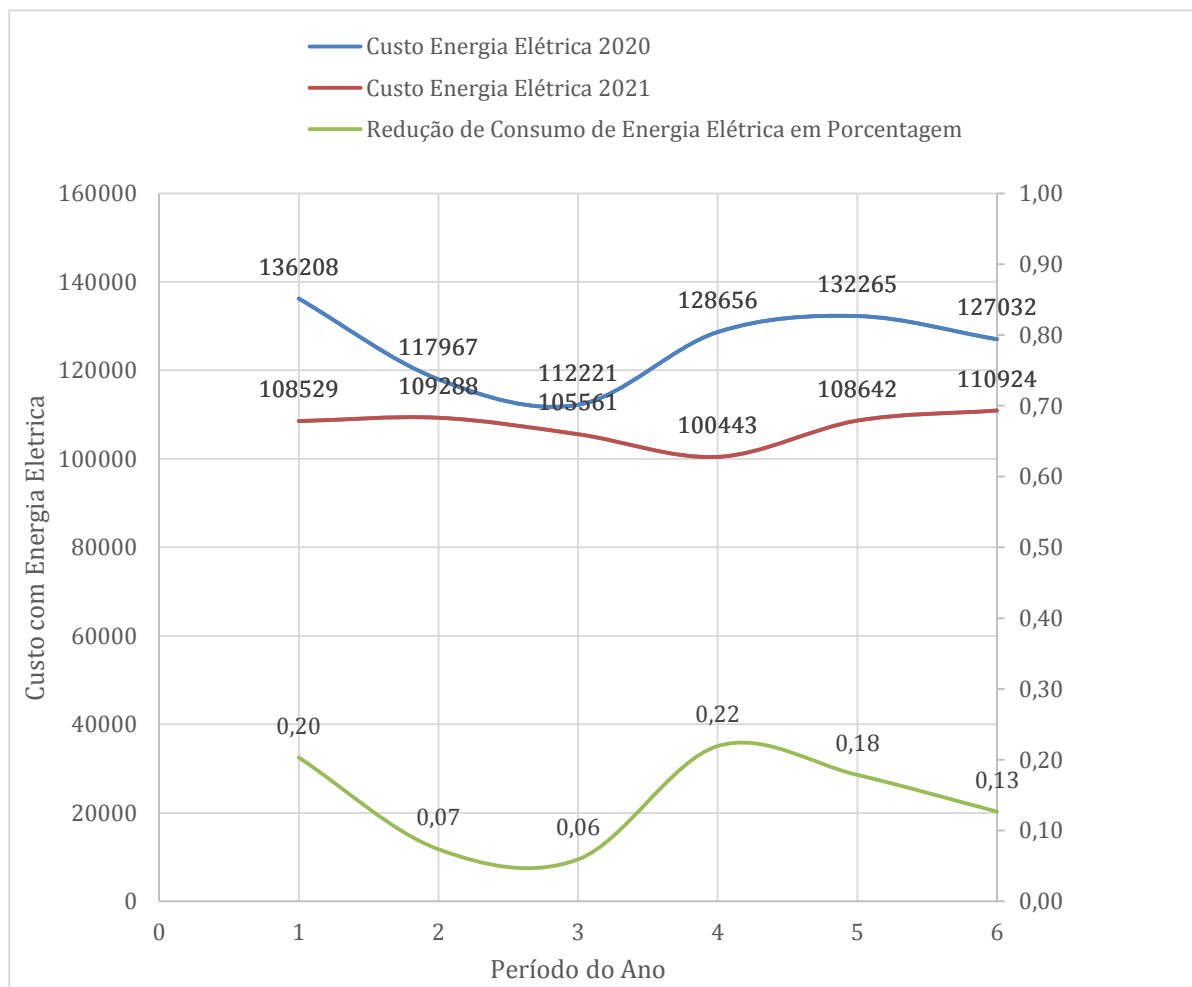


Figura 29: Gráfico de Análise de consumo
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Reconhecendo a necessidade de realizar intervenção, visando à diminuição do valor total de energia elétrica gasto pela autarquia, em todas as unidades consumidoras, instaura-se o

plano de diminuição de consumo de energia elétrica, tendo seu ponto alto de economia no mês de Abril, onde o ganho econômico com redução dos custos de energia elétrica estabelece-se em vinte e dois por cento, equivalente a aproximadamente vinte e oito mil reais. Em todos os meses analisados avalia-se ganhos econômicos, conforme dados do gráfico na Figura 29. Os dados são comparativos, obtidos através da tabulação do faturamento da empresa fornecedora de energia elétrica para o primeiro semestre dos anos de 2020 e 2021.

5. CONCLUSÃO

5.1. Conclusões

Este trabalho teve por objetivo apresentar a importância de se elaborar metodologias de elevação da eficiência em conjuntos de bombeamento por meio da melhoria do sistema e da instituição de práticas adequadas de manutenção. Observa-se que se trata de um estudo de caso, onde efetua-se uma pesquisa exploratória alinhada a um estudo teórico e levantamento bibliográfico sobre as ferramentas de gerenciamento da manutenção, bombas, métodos de dimensionamento, e eficiência energética. Nota-se que o estudo teórico representa elevada relevância para gerar embasamento e desenvolvimento do trabalho, assim como, a etapa prática de conhecimento da empresa e do seu processo de produção, maquinário, ferramental e mão de obra, demonstrando extrema importância para direcionar as entrevistas com funcionários, o levantamento e tabulação de dados, e realizar a proposta, gerando resultados e melhorias que são observadas pela diminuição dos custos quando há aumento da eficiência e adequação da manutenção.

Vale ressaltar que o processo de análise de falhas é contínuo, visto que as falhas dependem de vários fatores, assim como demonstrado em levantamento das prováveis causas de falha. Logo, o gerenciamento, planejamento e execução correta da manutenção é de extrema importância para investigar e trabalhar com foco nas causas fundamentais das falhas, para uma melhor manutenibilidade do sistema garantindo a redução das falhas, aumento da produtividade e diminuição de prejuízos e perdas inerentes do sistema.

Além da economia referente à diminuição dos custos de energia elétrica apresentada, os resultados também se definem em uma melhoria generalizada no sistema de bombeamento, por meio da modificação estrutural das estações elevatórias, adequação e melhoria das tubulações, dos equipamentos de acionamento e a melhoria das práticas de manutenção, que não são amplamente mensurados neste trabalho, assim como a disponibilidade da equipe de manutenção que deixa de se preocupar com as paradas não planejadas e assume uma posição estratégica no gerenciamento da manutenção, reduzindo o trabalho desnecessário, as perdas energéticas, aumento da disponibilidade de pessoal e máquinas e conseqüentemente, aumento da confiabilidade. Tais melhorias na eficiência aqui tratadas, afetam positivamente não somente a empresa e o meio ambiente, como também a sociedade de forma geral, com a redução dos custos.

5.2.Recomendações

Após propor a elevação da eficiência energética por meio da instituição de práticas adequadas de manutenção e melhoria das instalações de sistemas de bombeamento, recomenda-se a algumas propostas para estudos futuros:

- Adequação de estações de bombeamento segundo normas de instalações de bombeamento a partir do dimensionamento da bomba, tubulações e sistema elétrico de potência.
- Mensuração de ganhos na elaboração de planos de manutenção preventiva e preditiva, e revisão dos planos de manutenção das bombas em empresas de saneamento e análise econômica dos custos para as melhorias e tempo para recuperação dos investimentos.
- Desenvolvimento de procedimentos operacionais padronizados a partir de sistema de análise de falhas e implantação dos pilares da manutenção produtiva total

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Gomes, Heber Pimentel. Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos. 2ª Edição. João Pessoa. Editora Universitária/UFPB, 2009
- EPE [Empresa de Pesquisa Energética] Balanço Energético Nacional (BEN) 2021: Ano base 2020, 2021. Disponível em < <https://ben.epe.gov.br> >. Acesso em Out/2021.
- XENOS, Harilaus G. *Gerenciando a Manutenção Produtiva*. São Paulo: Edg, 2004.
- MIRSHAWKA, Victor; OLMEDO, Napoleão Lupes. *Manutenção – Combate aos custos da não eficácia – A vez do Brasil*. São Paulo: Editora Makron Books do Brasil Ltda., 1993.
- MONTENEGRO, Leonardo L. B.; Saulo de T. M. Bezerra; Paulo S. O. de Carvalho; Daniela da S. Santos; João S. O. P. da Silva e Heber Pimentel Gomes. *Análise Econômica Das Alternativas Do Sistema De Bombeamento Da Cidade Do Conde, Paraíba, Brasil*. João Pessoa, 2006
- TSUTIYA, Milton Tomoyuki. *Abastecimento de água*. [S.l: s.n.], 2004
- Manual de Cálculo do Consumo Energético Normalizado e do Potencial de Economia em Instalações de Bombeamento (CEN). Outubro, 2017
- R. W. Fox, A. T. McDonald e P. J. Pritchard, *Introdução à Mecânica dos Fluidos*, 8ª. Edição, LTC Editora, 2014.
- MACINTYRE, Archibald Joseph , 1908-1967 . Título Principal, *Bombas e instalações de bombeamento* / Archibald Joseph Macintyre. Edição, 2. ed., rev. Editora LTC, 1997
- CARVALHO, Djalma Francisco. *Instalações Elevatórias. Bombas*. 6ª Edição. Fumarc 1999.
- MENEGOTTO, Margarete Luisa Arbugeri. Giacobe, Mateus Paulo. *Estudo do Custo e Consumo de Energia Elétrica em uma Instituição de Ensino Superior*. 2017
- GANGHIS, Diógenes. *Bombas Industriais*. Centro Federal De Educação Tecnológica – CEFET/BA, 2015
- BOLGENHAGEN, Andrea. **Gestão da manutenção de equipamentos em micro e pequenas empresas via web**. Revista Qualidade Emergente, 2011, v.2 n.1: 30-45
- SILVA, Romeu Paulo., *Gerenciamento do Setor de Manutenção*. 2004. 92 f. Monografia (Pós Graduação, Gestão Industrial) – Pró Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade de Taubaté, Taubaté.

WEG. O movimento da Internacionalização. Ano XIV - Abr/Mai/Jun 2013 nº 73. Disponível em <<https://static.weg.net/news/weg-em-revista/WR-73.pdf>>. Acesso em Out/2021.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia, Planejamento e Controle da Manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2002.

PINTO, Alan K., XAVIER, Júlio A. N., Manutenção Função Estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2007.

OTANI, Mario; MACHADO, Waltair Vieira. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial, v. 4, n. 02, p. 01-16, 2008.

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

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade** (Reliability-centred Maintenance) - Edição Brasileira, São Paulo, SPES, 2000.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2009.

TAVARES, Lourival. **Administração Moderna de Manutenção**. Novo Pólo Editora – New York, 1998.

ISHIKAWA, K. A essência do controle da Qualidade. In Controle da Qualidade total: á maneira japonesa. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1993

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) - Bombas: guia básico / Eletrobrás [et al.]. Brasília : IEL/NC, 2009.

LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas 2003.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 22 ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2003.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

MUNIZ, Gracielle. Medidas De Eficiência Energética No Sistema De Abastecimento De Água Do Rio Das Velhas Na Região Metropolitana De Belo Horizonte. Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2016

Appolinário, F. Metodologia Científica. [Digite o Local da Editora]: Cengage Learning Brasil, 2015. 9788522122424. Disponível em:

<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522122424/>>. Acesso em: 02 Jan 2022