



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA
Relatório de Estágio Profissional

Avaliação das Condições Operacionais do Sistema de Bombeamento, Estudo de Caso: Entrepasto Auto Maputo (Oficina GM)

Discente:

Machava Júnior, Jose Meque

Supervisor:

Engº Roberto L. David

Maputo, Dezembro de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação das Condições Operacionais do sistema de Bombeamento, Estudo de Caso: Entrepasto Auto Maputo (Oficina GM)

Discente:

Machava Júnior, Jose Meque

Supervisor:

Engº Roberto L. David

Maputo, Dezembro de 2022



Avaliação das Condições Operacionais do Sistema de Bombeamento, Estudo de Caso: Entrepasto Auto Maputo(Oficina GM). Machava Júnior, Jose Meque

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	IV
DEDICATÓRIA	V
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	VI
ÍNDICE DE TABELAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	X
RESUMO.....	XI
CAPÍTULO I INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problemática.....	2
1.2. Problema.....	2
1.3. Objectivo geral	3
1.4. Objectivos específicos.....	3
1.5. Hipótese/Proposições	3
1.6. Perguntas da investigação	4
1.7. A importância ou razões que motivam o estudo	4
1.8. Estrutura do trabalho	5
CAPÍTULO II REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1. Mecânica dos Fluidos e Hidráulica	6
2.1.1. Equação de energia mecânica	6
2.1.2. Escoamentos Internos	7
2.1.3. Perda de Carga em escoamento Interno	9
2.2. Sistema de Bombeamento.....	10

2.3.	Bombas Hidráulicas	11
2.3.1.	Bombas Centrifugas.....	12
2.3.2.	Grandezas Características para o estudo das Bombas centrifugas.....	13
2.3.3.	Apresentação das curvas Características	15
2.4.	Sistema Hidropneumático	18
2.5.	Avaliação de desempenho de um sistema de bombeamento.....	19
2.5.1.	Monitoria da Condição do Equipamento	19
2.5.2.	Técnicas de monitoria	20
2.5.3.	Indicadores de Desempenho	20
CAPÍTULO III Contextualização da investigação		23
3.1.	Estado Actual do Objecto de investigação.....	23
3.1.1.	Descrição Resumida do sistema.....	23
3.1.2.	Tubulação.....	26
3.1.3.	Reservatório de sucção	28
3.1.4.	Reservatório de recalque.....	29
3.1.5.	Bombas centrifugas.....	30
CAPÍTULO IV METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO		32
4.1.	Classificação da pesquisa.....	32
4.1.1.	Quanto a Natureza.....	32
4.1.2.	Quanto a abordagem	32
4.1.3.	Quanto aos procedimentos técnicos.....	33
4.2.	Técnicas e Instrumentos de recolha de dados	33
4.3.	Diagnostico do Sistema.....	34
4.3.1.	Inspecção sensorial (Visual, tátil, auditiva e olfativa)	34
4.3.2.	Escolha de indicadores de desempenho.....	36

CAPÍTULO V APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	38
5.1. Inspeção sensorial (Visual, tátil, auditiva e olfativa)	38
5.1.1. Sistema eléctrico	38
5.1.2. Sistema hidráulico.....	39
5.2. Indicadores de desempenho	44
CAPÍTULO VI CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	53
6.1. Conclusão.....	53
6.2. Recomendações	55
6.3. Limitações da pesquisa.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS	59

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus, por me guiar, proteger e fazer com que os meus objectivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudo. Agradeço aos meus pais, José Meque Machava (*in memoriam*), e Lucília Madeira Padecimento Machava, por todo amor investido em mim, por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade, por serem meus principais incentivadores e por lutarem para que não me faltasse nada.

Agradeço as minhas irmãs, por todo o suporte, pelo companheirismo, torcida e amor depositados em mim em todos os momentos.

Ao Eng^o Roberto L. David, pela dedicação, atenção, disponibilidade e instrução durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa e ao Prof. Doutor Eng^o Geraldo Nhumaio e ao Eng^o Arsénio Maringule por terem sido os responsáveis por lecionar as disciplinas relacionadas ao meu tema e por terem transmitido conhecimentos que foram essenciais para o meu progresso.

Agradeço aos meus colegas e amigos da Universidade Eduardo Mondlane que de alguma forma me auxiliaram nessa fase tão importante.

Agradeço à equipe da Entrepósito Auto-Maputo pela colaboração para a realização desse trabalho.

E finalmente, a Universidade Eduardo Mondlane e todo o corpo docente por promover oportunidades de aprendizagem.

O MEU MUITO OBRIGADO.

DEDICATÓRIA

“Dedico este trabalho a Deus todo-poderoso, e aos meus maravilhosos pais José Meque Machava (*in memoriam*), meu maior exemplo de um ser humano e Lucília Madeira Padecimento Machava, que todos os dias me deram forças para superar as dificuldades e persistir no meu sonho”.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, José Meque Machava Júnior declaro por minha honra que o presente Projecto Final do Curso é exclusivamente de minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assinatura: _____

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Características técnicas das bombas	30
Tabela 2- Consumo diário de energia	45
Tabela 3-Volume bombeado diariamente	47
Tabela 4- Resultados do cálculo da altura manométrica do CMB-01	49
Tabela 5-Resultados do cálculo da altura manométrica do CMB-02	49
Tabela 6-Resultados do cálculo da altura manométrica do CMB-03	50
Tabela 7-Faixa de eficiência energética relacionada ao consumo de energia normalizado, segundo Sabesp (2014).	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-Experimento de Reynolds para ilustrar o tipo de escoamento	8
Figura 2- Esquema geral de um sistema elevatória, com a posição dos principais elementos	11
Figura 3-Exemplo dos principais constituintes de uma bomba centrífuga	13
Figura 4- Curva do sistema	16
Figura 5-Curva da bomba	17
Figura 6-Curva de rendimento da bomba	17
Figura 7- Ponto de operação de um sistema de bombeamento	18
Figura 8-Esquema geral de um sistema hidropneumático	19
Figura 9-Níveis de monitoria da condição	20
Figura 10-Esquema hidráulico simplificado	23
Figura 11-Casa das bombas	24
Figura 12-Painel eléctrico dos conjuntos motor-bomba	24
Figura 13-Contador de água	25
Figura 14-Conjuntos Motor-bombas do Sistema	26
Figura 15-Disposicao dos tubos nos reservatórios de sucção	26
Figura 16-1 Canal orienta o fluido para os reservatórios; 16-2 Canal que permite a sucção do fluido pela bomba	28
Figura 17- Reservatório de sucção	29
Figura 18- Reservatório de recalque	30
Figura 19-Metodologia de avaliação	34
Figura 20- Condutores	38
Figura 21-Conjunto motor-bomba 3	39
Figura 22- Ilustração da falta dos pinos de fixação	40

Figura 23- Ausência de vedante à montante da bomba 1	41
Figura 24- Ilustração da causa de vazamento da bomba 2.....	41
Figura 25- Manómetros.....	42
Figura 26- Hidropressor presente, porém não conectado	43
Figura 27- Válvulas.....	44
Figura 28- Utilização da capacidade de bombeamento dos CMB, jornada de trabalho de 24h ...	46
Figura 29-Utilização da capacidade de bombeamento dos CMB, jornada de trabalho de 8h	46
Figura 30- Resultados do consumo de energia normalizado para os CMB	50
Figura 31- Resultado do grau de automação.....	51

LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS

NPSH	<i>Net Positive Suction Head</i>
CMB	Conjunto Motor-Bomba
D	Diâmetro
γ	Peso específico[N/m ³]
v	Velocidade[m/s]
Re	Número de Reynolds
η	Eficiência da bomba
Q	Vazão volumétrica[m ³ /s]
MCA	Metro coluna d'agua
AMT	Altura manométrica Total
%	Porcentagem
EDM	Electricidade de Moçambique
FIPAG	Fundo de investimento e património do abastecimento de água.
SB	Sistema de bombeamento

RESUMO

A água é um dos recursos naturais mais importantes na existência humana, suprindo as necessidades básicas e também no desenvolvimento de atividades económicas, a fim de garantir a sua disponibilidade são desenvolvidos sistemas de abastecimentos e principalmente sistemas de bombeamento que tem a função de bombear a água, vencendo desníveis até o local de uso. Garantir que este sistema seja capaz de desempenhar adequadamente a sua missão é o principal objectivo da boa gestão técnica e a avaliação periódica do desempenho auxilia o prognostico da condição do sistema.

Diante disso, esta pesquisa teve como objetivo realizar uma avaliação das condições operacionais e determinar as acções necessárias para melhorar a eficiência do sistema de bombeamento em uso na Entrepósito Auto-Maputo (Oficina da GM).

Para isso, foram realizadas visitas, coletadas informações técnicas sobre os equipamentos e dados de operações diárias. Com os dados foi realizada uma inspecção sensorial detalhada com a finalidade de diagnosticar potências falhas e a análise de indicadores de desempenho, focou-se em avaliar três indicadores de desempenho da IWA (*International Water Association*). Desta forma identificou-se várias falhas na operação dos elementos do sistema de bombeamento, principalmente nos conjuntos motor-bomba e realizando-se a análise dos indicadores de desempenho concluiu-se que os conjuntos motor-bomba existentes na estação de bombeamento operam com certa precariedade e com níveis de eficiência energética insatisfatórios.

Palavras-chave: Sistema de bombeamento; Indicador de desempenho; Eficiência Energética

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO

A água compreende-se como o recurso natural mais presente na existência humana, seja para suprir necessidades básicas, desenvolvimento de atividades económicas ou para outras ações, que são facilmente comprometidas pela sua escassez. Obrigando assim, a concepção de procedimentos e sistemas para aprimorar sua relação com a sociedade.

Os sistemas de bombeamento de água podem apresentar, dependendo do seu objectivo e importância, variações das mais diversas formas. O sistema consiste em uma rede formada por um conjunto de tubulações, conexões, reservatório e bombas hidráulicas. Sua função é atender os pontos de consumo de uma cidade ou setor dentro das condições sanitárias, vazão e pressão.

Garantir que um sistema de bombeamento de água é capaz de desempenhar adequadamente a sua missão sob as mais variadas condições operacionais, em particular as que são esperadas durante a sua vida útil, é o principal objectivo da boa gestão técnica, nas suas perspectivas de planeamento, projecto, operação e manutenção.

A avaliação de desempenho de sistemas é uma técnica moderna que permite reflexão sobre sua performance, e para sua aplicação são definidos indicadores que têm como objetivo simplificar, quantificar, analisar e comunicar a seu respeito, fornecendo informações importantes para o planeamento e o gerenciamento dos processos (Dantas Neto & Farias, 2013).

Fontana *et al* (2012), ressalta que embora as perdas de água ocorram em todos os sistemas de distribuição, em muitas redes de água as perdas são ainda maiores do que 30% e 40%, atribuídas ao envelhecimento, deterioração dos componentes dos sistemas (tais como tubulações e válvulas) e gerenciamento incorreto.

A tubulação subdimensionada produz excesso de velocidade e aumento de perda de energia, que implica aumento da altura manométrica do sistema e da potência absorvida pela bomba para transpor a vazão estabelecida no projeto. As peças especiais e os acessórios instalados na tubulação também são agentes causadores de perdas de energia e merecem atenção.

O uso de motores eléctricos superdimensionados e/ou recondicionados induz a redução na eficiência do uso da energia, pois carregamento abaixo de 75% da potência nominal requer maior

quantidade de energia elétrica para produzir a mesma energia mecânica (Oliveira filho *et al.*, 2010)

As bombas hidráulicas, usadas sob diferentes estados de conservação, indicam existir equipamentos que associam tempo de uso e falta de manutenção com desgaste e conseqüente redução da eficiência das mesmas (Marcolin & Robaina, 2002; Urrestarazu & Burt, 2012).

Devido à falta de manutenção no sistema hidráulico, acaba ocorrendo diversos problemas, como vazamentos, desgaste dos seus componentes através da contaminação do fluido, perda de rendimento, parada inesperada e podendo chegar até a perda total de alguns componentes.

Rocamora *et al.* (2013) apontam os índices de desempenho como uma ferramenta utilizada para monitorar a qualidade dos sistemas, mas alertam para a necessidade de verificação dos mesmos com periodicidade.

Deste modo, o trabalho pretende analisar as condições operacionais do sistema de bombeamento de água do Grupo Entrepósito Auto Maputo (Oficina GM) e determinar as ações necessárias para melhoria de sua eficiência.

1.1.Problemática

Alguns dos principais objectivos da gestão é garantir a máxima disponibilidade, estabelecimento das condições de trabalho seguras e que o tempo de paragem na bombagem de água em virtude de avarias ou falhas seja mínimo possível. Porém verifica-se que a maioria das intervenções de manutenção são do tipo acidental ou por avaria como por exemplo paragem repentina das bombas, vazão insuficiente, rompimento da tubulação entre outros, situações essas que poderiam ser evitadas fazendo uma monitoria da condição de funcionamento em intervalos regulares com a finalidade de diagnosticar as potenciais falhas.

1.2.Problema

Garantir que o sistema de bombeamento de água seja capaz de desempenhar adequadamente a sua missão sob as mais variadas condições operacionais durante a sua vida útil, é o principal objectivo da boa gestão técnica.

Durante a vida útil o sistema de bombeamento está sujeito a várias condições e circunstâncias que muitas dessas podem causar dano no seu funcionamento, podendo causar paragem ou redução da sua eficiência. O processo de avaliação tem a finalidade de diagnosticar potências falhas, essa monitoria envolve inspeções sensoriais e análises de indicadores, o sistema de bombeamento em funcionamento no Entrepasto Auto-Maputo (Oficina GM) apresenta as condições de funcionamento e padrões aceitáveis?

1.3.Objectivo geral

- Avaliação das condições operacionais do sistema de bombeamento e determinar as ações necessárias para melhorar a sua eficiência.

1.4.Objectivos específicos

- Descrição geral do estado actual de funcionamento;
- Determinação dos indicadores de desempenho a serem utilizados;
- Realizar o diagnóstico operacional do sistema de bombeamento;
- Avaliar o sistema de bombeamento tendo em conta os indicadores de desempenho escolhidos;
- Proposta de um plano de manutenção e ações necessárias para melhoria da eficiência

1.5.Hipótese/Proposições

- Feita uma inspeção visual, sensorial e a interpretação de indicadores de desempenho então verifica-se que o sistema de bombeamento em funcionamento no Grupo entreposto apresenta as condições de funcionamento e padrões aceitáveis!
- Feita uma inspeção visual, sensorial e a interpretação de indicadores de desempenho então verifica-se que o sistema de bombeamento em funcionamento no Grupo entreposto não apresenta as condições de funcionamento e padrões aceitáveis!

1.6.Perguntas da investigação

- O sistema de bombeamento actual não apresenta as condições de funcionamento aceitáveis, quais as causas desse mau funcionamento?
- O sistema de bombeamento actual não apresenta as condições de funcionamento aceitáveis, para melhorá-lo será necessário um redimensionamento total do sistema?
- O sistema de bombeamento actual não apresenta as condições de funcionamento aceitáveis, para melhorá-lo basta uma requalificação nos conjuntos motor-bomba?
- O sistema de bombeamento actual não apresenta as condições de funcionamento aceitáveis, para melhorá-lo temos de introduzir um hidropressor?

1.7.A importância ou razões que motivam o estudo

- O processo de avaliação do sistema de bombeamento tem a finalidade de diagnosticar as potenciais falhas na operação e no dimensionamento do mesmo, e assim tomar-se as ações necessárias para melhorar a sua eficiência.
- O sistema analisado no presente trabalho é o sistema em uso na Entrepósito Auto Maputo (Oficina GM), sistema esse que é responsável na bombagem de água para o uso diário nas diversas necessidades humanas, a bombagem para os dispositivos de prevenção de incêndios e para o sector de lavagem dos carros, sectores esses que precisam do sistema de bombeamento funcionando perfeitamente.
- Com a realização da pesquisa teremos um diagnóstico do sistema e com ele pode-se determinar as ações para melhorar a eficiência do sistema de bombeamento e assim garantindo que o sistema possa desempenhar a sua missão.
- Durante a avaliação espera-se uma investigação profunda no sistema, envolvendo a aplicação de técnicas de inspeção visual, inspeção sensorial, e análise de indicadores de desempenho para diagnosticar os sistemas de bombeamento.

- O processo de avaliação irá explorar as técnicas de avaliação de sistemas de bombeamento analisando as condições actuais e fazendo uma comparação com os padrões aceitáveis.

1.8.Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto por 6 capítulos: introdução, revisão de literatura, contextualização da investigação, metodologia de avaliação, apresentação análise e discussão dos resultados e conclusão e recomendações. Por fim, ainda são expostas as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração da pesquisa.

- Capítulo I – Introdução: apresenta-se uma breve introdução a respeito do tema e do trabalho, constando a problemática e o problema da investigação, elaboração dos objetivos, definição da hipótese, perguntas da investigação, importâncias ou razões que motivam o estudo e a estrutura do trabalho;
- Capítulo II – Revisão de literatura: apresenta-se as informações teóricas fundamentais para o entendimento do tema, possibilitando um bom embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho;
- Capítulo III – Contextualização da investigação: apresenta o estado actual do objecto da investigação, todas as suas implicações, seus componentes, estado de conservação e funcionamento actual.
- Capítulo IV – Metodologia de avaliação: descreve-se os métodos utilizados para a obtenção dos dados referentes ao sistema de bombeamento, permitindo assim analisar e diagnosticar sua eficácia comparando os dados com os padrões aceitáveis;
- Capítulo V – Apresentação, análise e discussão dos resultados: contém a apresentação e análise dos resultados do estudo, o diagnóstico qualitativo dos componentes do sistema em estudo, e a análise e interpretação dos indicadores de desempenho;
- Capítulo VI – Conclusões e recomendações: são apresentadas as conclusões obtidas com a realização do trabalho, através da análise da metodologia utilizada e de sua aplicação.

CAPÍTULO II REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Mecânica dos Fluidos e Hidráulica

A ciência voltada para o estudo do comportamento físico dos fluidos com base nas leis da Mecânica e da Termodinâmica, denomina-se Mecânica dos Fluidos. A Hidráulica trata apenas dos líquidos, particularmente da água. A maciça presença de água e ar, além de inúmeros outros gases e líquidos em nosso dia a dia, dá ideia da importância de ambas. Estão presentes em praticamente todos os ramos da engenharia e são a base do projeto das máquinas e processos que manipulam fluidos como, por exemplo, as bombas e turbinas e suas instalações. (Heber, 2012)

Para o estudo das bombas e das instalações elevatórias faz-se uso dos fundamentos da Mecânica dos Fluidos, tratados de uma forma mais técnica e prática na Hidráulica, destacando-se: a equação da continuidade ou conservação da massa, a equação da energia ou equação de Bernoulli generalizado, as fórmulas de cálculo de perdas de carga, além das definições e classificações dos escoamentos.

2.1.1. Equação de energia mecânica

Segundo Vilanova (2011), essa equação contabiliza as várias formas de energia envolvidas em um fluxo, como a energia cinética, a energia potencial, as perdas de energia que podem ocorrer nesse escoamento devido a força de atrito viscoso (devido a viscosidade do fluido), a energia fornecida ao volume de controle por bombas e compressores ou a retirada do volume de controle por turbinas. Assim, contabilizando as energias entre dois pontos 1 e 2 do escoamento, a equação da energia mecânica será:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_p - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (1)$$

Uma aplicação prática da equação da energia mecânica pode ser realizada na determinação da potência de uma bomba destinada a elevar água de um reservatório em um nível baixo para outro reservatório em um nível mais elevado.

2.1.2. Escoamentos Internos

Nos enunciados de Azevedo Netto (1998), afirma que a utilização de tubulações para deslocamento de líquidos é aplicada de forma que se atenda a necessidade de uma determinada vazão, admitindo que para água limpa o líquido escoado ocupe cerca de 75% da seção do tubo, funcionando sempre por gravidade.

Para tanto, um cientista britânico chamado Osborne Reynolds observou o comportamento dos líquidos enquanto escoavam, por meio de um dispositivo criado pelo mesmo onde se regulava a vazão, dividindo assim o regime do líquido entre movimento laminar e turbulento, de acordo com o filamento criado pelas partículas criando um trajeto bem definido.

Segundo Vilanova (2011), para identificar o tipo de escoamento, Reynolds propôs um parâmetro adimensional conhecido como número de *Reynolds* que relaciona as seguintes propriedades do fluido: massa específica e viscosidade; geometria do tubo e velocidade média do escoamento. O número de *Reynolds* para tubos circulares é dado pela seguinte relação:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2)$$

Através do número Reynolds, pode-se determinar se o escoamento é laminar, transiente ou turbulento. O escoamento será laminar se $Re < 2100$ a 2300 e será turbulento para $Re > 4000$. Para Re entre esses limites, o escoamento poderá ser turbulento ou laminar, ou seja, transiente.

Número de <i>Reynolds</i>	Tipo de escoamento
$Re < 2100$ a 2300	Escoamento laminar
$Re > 4000$	Escoamento turbulento

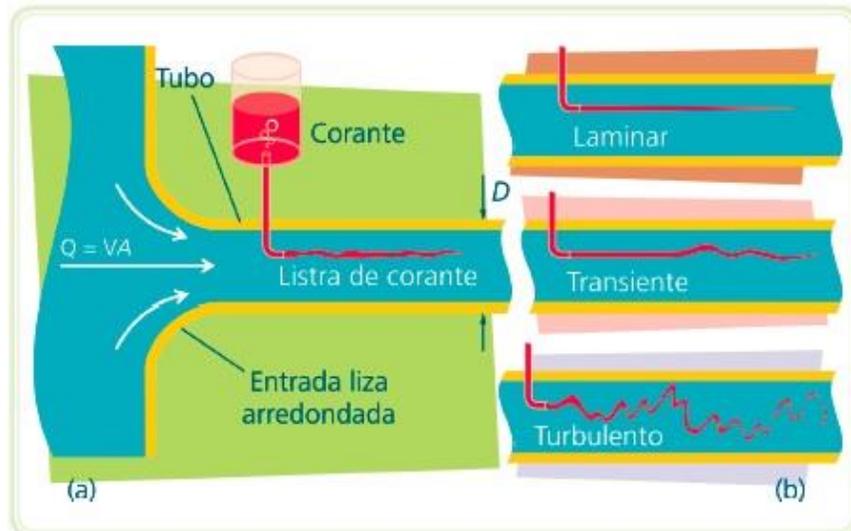


Figura 1-Experimento de Reynolds para ilustrar o tipo de escoamento

Fonte: Vilanova (2011)

2.1.2.1. Regime Laminar

Conforme Azevedo Netto (1998), para este caso, admite-se que as partículas do líquido possuem velocidades constantes dentro de uma tubulação, exceto aquelas que se encontram próximas a parede da tubulação, pois estas sofrerão retardamento devido a rugosidade do material, assim, conforme há o escoamento do líquido, as partículas em posição central dentro da tubulação assumem movimento acelerado. Por se tratar de um regime laminar, a velocidade se mantém em perfil parabólico com posicionamento em equilíbrio.

2.1.2.2. Regime Turbulento

Um fluido em regime turbulento, conforme Azevedo Netto (1998), isso significa que suas partículas, em um determinado ponto, possuem uma camada laminar que se torna espessa e alcança um ponto crítico com condição de equilíbrio definido, sendo atingido muito mais rápido

que no regime laminar, podendo desordenar a trajetória das partículas centrais e as partículas extremas permanecerão então em regime laminar.

2.1.3. Perda de Carga em Escoamento Interno

Conforme Vilanova (2011), na análise de escoamentos internos em tubos ou dutos é comum que se necessite determinar a perda de carga h_L [m] que a tubulação impõe ao sistema fluido. Essa perda de carga é oriunda dos efeitos da viscosidade do fluido e pode ser determinada contabilizando-se os efeitos localizados h_{Loc} [m] impostos por componentes como curvas, joelhos, válvulas ou outros componentes que estejam montados no fluxo fluido e pelos efeitos viscosos normais impostos pela tubulação linear h_N [m]. Assim, a perda de carga total do sistema será dada pela seguinte equação:

$$h_L = h_{Loc} + h_N \quad (3)$$

2.1.3.1. Perdas de carga normais

Conforme Vilanova (2011), as perdas de cargas normais ocorrem em função do efeito viscoso do fluido em escoamento e dependem de fatores como a velocidade do escoamento, a geometria da tubulação (comprimento e diâmetro), a rugosidade da parede da tubulação e das propriedades de viscosidade e massa específica do fluido. Algebricamente, é possível contabilizar as perdas de cargas normais utilizando a equação de *Darcy-Weisbach*:

$$h_N = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (4)$$

onde L [m] e o comprimento linear da tubulação, V [m/s] e a velocidade média do escoamento, D [m] e o diâmetro da tubulação, g [m/s²] e a aceleração da gravidade e f e o fator de atrito.

O fator de atrito é um parâmetro adimensional que depende do número de *Reynolds* e da rugosidade relativa.

2.1.3.2. Perdas de carga localizadas

Conforme Luciano (2011), as perdas de cargas localizadas são devidas aos componentes ou geometrias que compõem a tubulação que não sejam o tubo reto. A contabilização dessas perdas é relacionada a um fator experimental chamado coeficiente de perda K_L . O coeficiente de perda está muito relacionado a geometria dos componentes e pouco relacionado as condições do escoamento. Verificamos que o fluido, ao passar por uma válvula, assim como em qualquer outro componente, tem dificuldades devido as restrições que se apresentam e que obrigam a várias mudanças de direção do fluxo para o fluido transpassar o componente.

A determinação algébrica da perda localizada por um componente e dada por:

$$h_{LOC} = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

2.2. Sistema de Bombeamento

Quando os sistemas de gravidade mais baratos não puderem ser construídos, devem ser instalados equipamentos de bombeamento para o abastecimento de água.

Para P. Novak *et al* (2001), o projeto eficiente de uma estação de bombeamento é altamente dependente do sistema de tubulação usado para conduzir o fluxo. O atrito e outras perdas no sistema, que são função da vazão, devem ser superados pela bomba, cujo desempenho está inter-relacionado com as características da tubulação externa (sistema).

Segundo Manoel (2014), o sistema é constituído de:

- Bombas centrifugas (duas unidades, sendo uma de reserva);
- Motores eléctricos de indução (um para cada bomba);
- Tubulações de sucção e de recalque;
- Registo de gaveta;
- Válvulas de retenção na tubulação de sucção (válvula de pé, com crivo) e na tubulação de recalque;
- Comando automático (automático de boia);
- Quadros eléctricos de comando;

- Eventualmente uma válvula anti golpe de ariete.

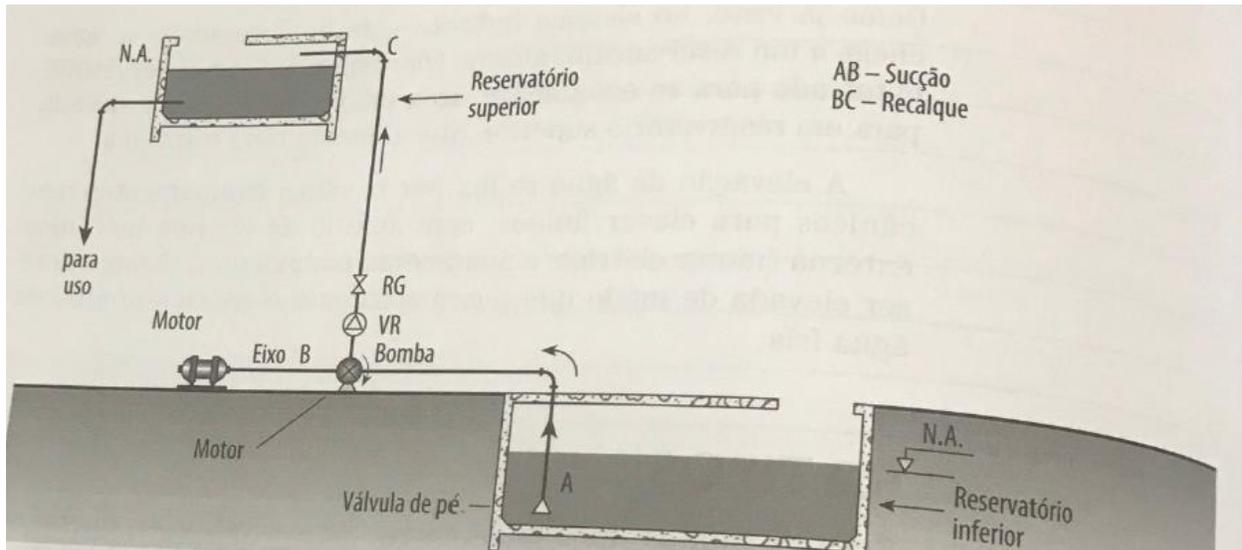


Figura 2- Esquema geral de um sistema elevatória, com a posição dos principais elementos

Fonte: Instalações Hidráulicas Prediais (2014)

2.3. Bombas Hidráulicas

Segundo Macintyre (1997), bombas hidráulicas são máquinas operatrizes que recebem trabalho mecânico (geralmente fornecido por um motor elétrico ou a combustão) e o transforma em energia hidráulica, transmitindo ao líquido um acréscimo de energia sob as formas de pressão e velocidade.

Para Ferreira (2003), são máquinas acionadas que recebem energia de uma fonte motora, transformam em energia cinética e energia de pressão e a transmitem ao fluido bombeado. A utilização de bombas ocorre sempre que se necessita aumentar a pressão de um fluido, transportá-lo pela tubulação de um ponto a outro de uma planta, seguindo as condições de vazão e pressão estabelecidas pelo processo.

Conforme Henn (2006), as bombas hidráulicas ou máquinas de fluido são normalmente subdivididas em dois tipos principais: as máquinas de deslocamento positivo e as de fluxo. Nas primeiras, uma quantidade de fluido encontra-se confinado durante sua passagem através da máquina e o seu aumento de pressão ocorre em razão da variação no volume da câmara em que

se encontra. Já no segundo equipamento, também conhecido como máquina hidrodinâmica, o fluido não se encontra confinado em nenhum momento e sim em um fluxo contínuo através da máquina, sendo submetido a uma troca de energia devido a efeitos dinâmicos.

O equipamento usado neste estudo é uma bomba centrífuga, a qual é um tipo de máquina de fluxo, será dado um enfoque mais pormenorizado tanto na sua definição quanto em suas características principais.

2.3.1. Bombas Centrífugas

Segundo Tsutiya (2004), as bombas centrífugas aceleram a massa líquida através da força centrífuga fornecida pelo giro do rotor, cedendo energia cinética à massa em movimento e transformando a energia cinética internamente em energia potencial de pressão.

Segundo Manoel (2014), a bomba está ligada a um eixo girado pelo motor. Interno a bomba acha-se um rotor, peça que, girando em torno do eixo, dá impulso de expulsão à água dentro da bomba, propiciando uma ação centrífuga, que ocasiona a elevação da água e permite que nova quantidade de água entre na bomba, tornando, assim, contínuo o bombeamento.

Entre os constituintes da bomba centrífuga, Henn (2006) cita o rotor e o sistema diretor (“caracol”) como sendo os elementos construtivos fundamentais, pois são eles os responsáveis pelos fenômenos fluidos dinâmicos essenciais.

A Figura 3 mostra alguns exemplos de sistemas diretores, além de rotores dos tipos fechado, aberto e semiaberto.

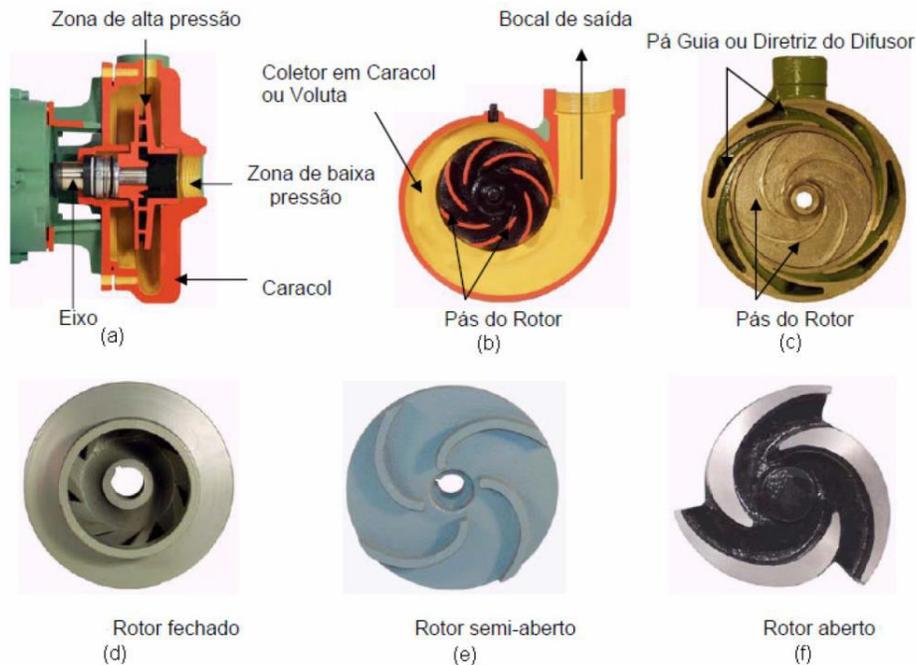


Figura 3-Exemplo dos principais constituintes de uma bomba centrífuga

Fonte: Schneider Motobombas (2006)

2.3.2. Grandezas Características para o estudo das Bombas centrífugas

O foco deste estudo é a avaliação da eficiência, serão abordados somente as grandezas hidráulicas que estão relacionadas ao objectivo desse trabalho, a serem apresentadas abaixo:

Vazão (Q) - Conforme Henn (2006), para o caso de bombas centrífugas que trabalham com fluidos incompressíveis (com massa específica constante), ao invés de fluxo mássico, torna-se mais frequente o uso da vazão volumétrica, a qual é definida pelo fluxo ou deslocamento de um volume em um determinado tempo.

Rendimento – Conforme Schmidlin Júnior (2006), por definição, rendimento é a razão entre a potência útil cedida ao fluido e a potência absorvida pela bomba. Segundo catálogos de fabricantes de bombas centrífugas, o rendimento normalmente varia de 0,45 a 0,85.

Energia ou carga hidráulica (H) - Para Guimarães (2008), a carga de uma bomba pode ser definida como energia por unidade de massa ou energia por unidade de peso que a bomba pode impor ao líquido na vazão desejada. Na prática, Henn (2006) afirma que é comum associar a

energia recebida pelo fluido ao passar pela bomba centrífuga a uma altura de coluna de fluido (H).

Potência Hidráulica - Conforme Schmidlin Júnior (2006) para que haja geração de carga por parte da bomba, é necessária a inserção de potência mecânica no seu eixo, comumente denominada de BHP (do inglês, “*Brake Horse Power*”). Henn (2006) afirma que, no sistema internacional de unidades, o cálculo de potência útil cedida ao fluido pode ser pela equação 6.

$$P_{hid} = \gamma QH \quad (6)$$

NPSH (*Net Positive Suction Head*) - Conforme Henn (2006) e De La Torre (2008), no bombeamento de líquidos, com o objetivo de evitar o fenômeno da cavitação, a pressão, em qualquer ponto da linha de sucção, nunca deve ser reduzida à pressão de vapor do líquido. A energia disponível para conduzir o líquido através da canalização de sucção e no seu percurso pelo interior do rotor, sem risco de vaporização, pode ser definida como a energia total na sucção menos a energia correspondente à pressão de vapor do líquido na temperatura de bombeamento. A esta energia disponível dá-se o nome de NPSH (do inglês, *Net Positive Suction Head*), a qual é dada em mca.

Segundo De La Torre (2008), cada bomba centrífuga possui, para cada ponto de operação, um valor de NPSH mínimo que deve estar disponível no sistema para que não ocorra o fenômeno da cavitação.

O efeito de cavitação se refere ao processo em que há formação de bolhas de ar no interior da bomba devido a vaporização, elevada temperatura em contato com o líquido, ou a possível variação de pressão interna. Este efeito se dá também devido ao não posicionamento correto da tubulação de sucção liberando a entrada de ar atmosférico, geralmente quando não se respeita a altura mínima de 50% da sua pressão, sendo essa altura de pressão de aproximadamente 10,33 mca e 50% correspondente a 5,165 mca ao serem levados pela biela de água, esses bolsões de ar implodem contra o rotor, mudando bruscamente do estado gasoso para o estado líquido, fazendo com que haja a criação de orifícios na parte atingida. Quando inúmeras cavidades (bolhas) se chocam contra o rotor, aparecem então corrosões que diminuem o rendimento da sua funcionalidade (Macintyre, 1997).

Perdas de Energia na bomba- Segundo Heber (2012), é a diferença entre a potência motriz e a potencia hidráulica. Em termos de energia/peso é a diferença entre altura motriz e a altura manométrica.

$$P_{pb} = P_m - P_{hid} \quad (7)$$

2.3.3. Apresentação das curvas Características

2.3.3.1. Curva do Sistema

Segundo Ferreira (2003), em um sistema de bombeamento é necessário determinar qual é a energia por unidade de massa que o sistema solicitará a uma determinada vazão. Na prática se utiliza energia por unidade de peso, chegando à carga do sistema em metros [m] ou altura manométrica total (AMT). A energia por unidade de peso solicitada pelo sistema é, para cada vazão, função da altura estática de elevação do fluido, da diferença de pressão entre a sucção e a descarga e das perdas existentes no circuito. São essas diferenças e perdas de carga que a bomba deve compensar.

Segundo Azevedo Netto (1998), a curva do sistema nada mais é do que a relação de várias vazões e alturas manométricas, que ao traçar uma linha entre seus pontos de interseção gera-se uma curva indicando o comportamento do sistema na medida em que a vazão aumenta (Fig. 4). Essa curva obtida é dividida em duas partes, uma parte dinâmica e a outra estática. A parte dinâmica corresponde ao fluido estando em movimento, com velocidade gerando perdas de carga, que aumentam de acordo com a vazão do sistema, já a parte estática independe da vazão inserida, pois se relaciona a altura geométrica e as cargas de pressão.

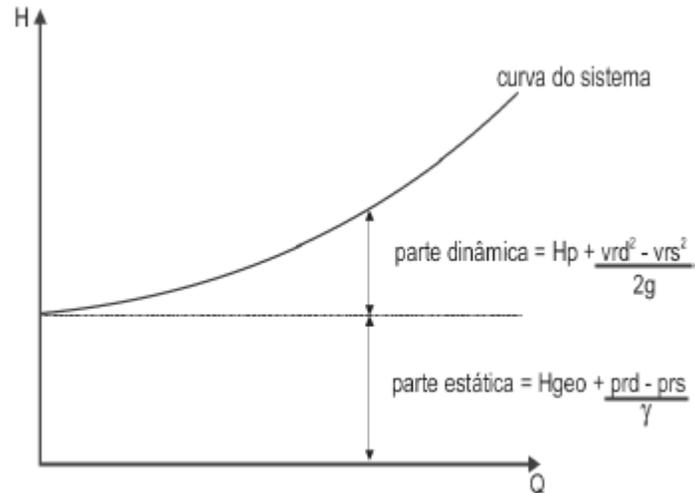


Figura 4- Curva do sistema

Fonte: Manual de Hidráulica (1998)

2.3.3.2. Curva da Bomba

As bombas apresentam uma curva característica que geralmente é fornecida pelo fabricante, que informam o desempenho esperado pela bomba centrífuga em funcionamento. Essas curvas são levantadas em laboratório e disponibilizadas em catálogos técnicos.

As curvas características das bombas centrífugas são em geral obtidas por equações de 2º grau, gerando pontos que ao serem ligados forma-se uma curva de ordem parabólica, compondo o plano cartesiano por dados relacionados à altura.

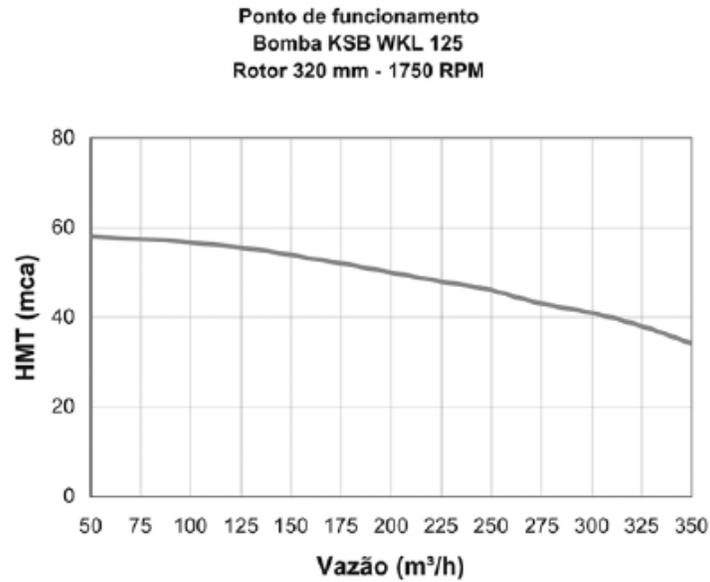


Figura 5-Curva da bomba

Fonte: Eletrobras (2006)

2.3.3.3. Curva de rendimento da bomba

A curva de rendimento de uma bomba nada mais é que a relação da potência hidráulica e a potência consumida em relação à imposição de várias vazões de trabalho, cujo em seu ponto máximo é chamado de vazão ótima.

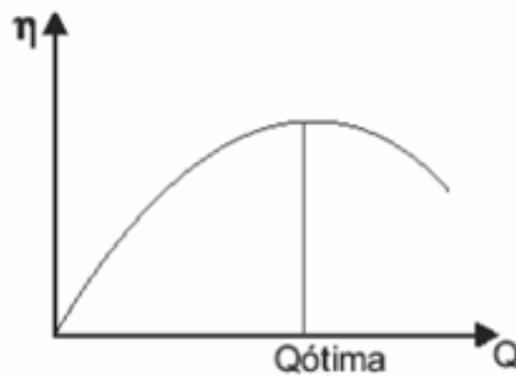


Figura 6-Curva de rendimento da bomba

Fonte: Eletrobras (2005)

2.3.3.4. Ponto de operação do sistema de bombeamento

Segundo Macintyre (1997), no mesmo gráfico, podemos representar a curva característica da bomba e do sistema, sendo a intersecção entre a curva da bomba e do sistema o ponto de trabalho conforme a figura a seguir.

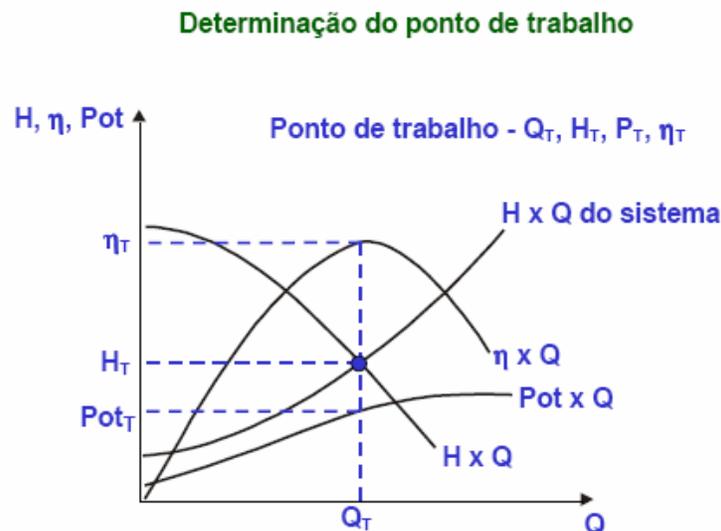


Figura 7- Ponto de operação de um sistema de bombeamento

Fonte: Bombas e instalações de bombeamento (1997)

Esse ponto de trabalho indica a altura manométrica total (AMT), a vazão, o rendimento e a potência absorvida. A reta vertical também cruza a curva de NPSH requerido e disponível. Recomenda-se que a diferença entre o disponível e o requerido seja no mínimo 0,6m (Macintyre, 1997)

2.4. Sistema Hidropneumático

Para além dos componentes normalmente utilizados para o funcionamento dos sistemas de bombagens, são também necessários os reservatórios hidropneumáticos (de pressurização) e seus acessórios, para o controle e protecção.

Segundo Manoel (2014), o reservatório pressurizado é abastecido, por recalque, pelo reservatório inferior tao logo o nível de água interno atinja um ponto mínimo. Este reservatório efectua a distribuição de água para a rede, sob pressão. O sistema devera ter condições de funcionar automaticamente.

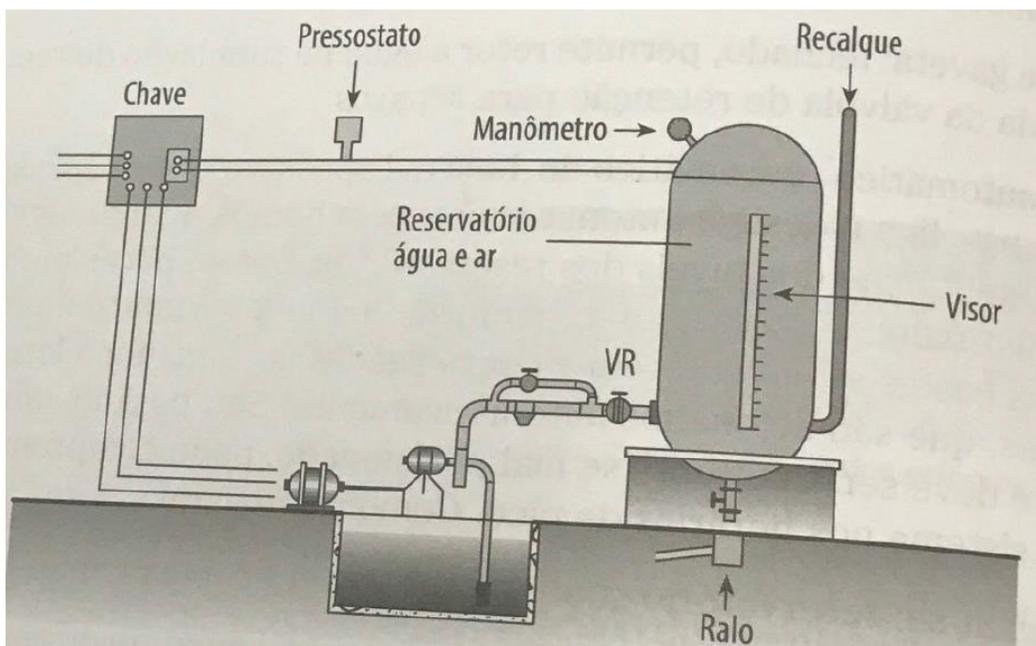


Figura 8-Esquema geral de um sistema hidropneumático

Fonte: Instalações Hidráulicas Prediais (2014)

2.5.Avaliação de desempenho de um sistema de bombeamento

2.5.1. Monitoria da Condição do Equipamento

Segundo Ali(s.d), A monitoria da condição do equipamento é o processo de avaliação do estado da máquina, equipamento ou sistemas industriais em intervalos regulares ou continuamente com a finalidade de diagnosticar potenciais falhas.

Para BID (2011), identificação de problemas tem por objetivo demonstrar a existência de problemas ou deficiências na manutenção dos diferentes componentes do sistema, com a finalidade de encontrar uma solução apropriada.

Segundo Ali(s.d), basicamente, a monitoria da condição do equipamento consiste na extração de informação sobre um determinado parâmetro de uma máquina ou equipamento, análise dos

dados obtidos para prognosticar a condição da máquina ou do equipamento sem afectar as suas operações.

2.5.2. Técnicas de monitoria

As principais actividades a desenvolver para concretizar essa identificação de problemas são as seguintes:

conforme Ali(s.d), Existem quatro níveis distintos a saber:-Inspeção visual;-Inspeção sensorial assistida;-Análise de indicadores; e monitoria integral.

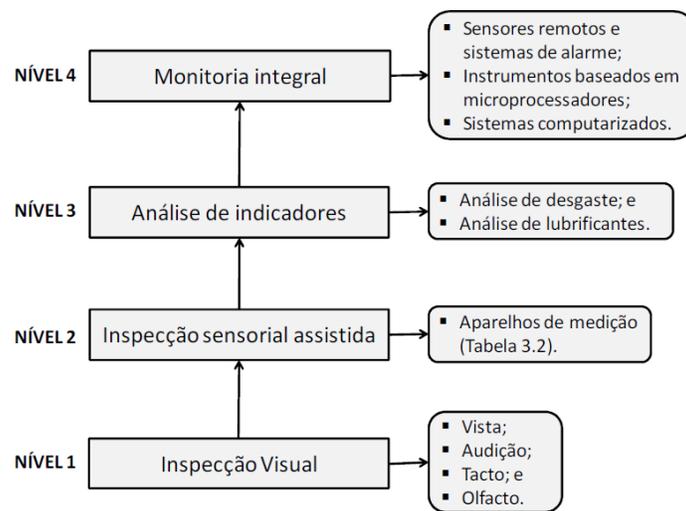


Figura 9-Níveis de monitoria da condição

Fonte: Lições de manutenção industrial (s.d)

As principais actividades a desenvolver para concretizar essa identificação de problemas em um sistema de bombeamento são as seguintes:

Segundo BID (2011), -Inspeção Sensorial (Visual, Tátil, Auditiva e Olfativa); - Análise do sistema eléctrico; - Análise do Sistema hidráulico; e Análise de temperaturas.

2.5.3. Indicadores de Desempenho

Para De Rolt (1998), indicadores de desempenho referem-se a elementos que medem níveis de eficácia e eficiência de uma organização por meio da análise dos processos produtivos

relacionados à satisfação dos clientes. A utilização de um indicador de desempenho, portanto, simplifica uma avaliação que de outra forma seria mais complexa e subjetiva (Alegre *et al.* 2004).

Segundo Franceschini *et al.* (2007), indicadores são ferramentas de representação de sistemas complexos, que permitem a coleta de informações e sua análise, visando à avaliação da evolução do sistema. Sugerem, ainda, que os indicadores possuem três funções básicas: avaliar e controlar o desempenho dos recursos disponíveis, demonstrar o desempenho da organização interna e externamente e apontar falhas entre o desempenho e as metas estabelecidas.

A principal referência internacional nesse sentido é a publicação feita pela IWA (2000) intitulada: *Performance Indicators for Water Supply Services*. Essa publicação teve por objetivo fornecer um quadro de referência de indicadores de desempenho que constituísse um instrumento de apoio à gestão das entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água. Foi traduzida para o português e publicada em 2004 com o título: *Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água* (Alegre *et al.*, 2004). O sistema proposto é dividido em seis grupos de indicadores: recursos hídricos, recursos humanos, infraestrutura, operacionais, qualidade de serviço e económico-financeiros.

De acordo com Alegre *et al.*, (2004), cada indicador expressa o nível do desempenho, tornando directa e objectiva a gestão dos resultados obtidos.

Segundo Gomes (2012), um dos indicadores mais utilizados para mensurar a eficiência de sistemas de bombeamento tem sido o consumo específico de energia elétrica, expresso em kWh/m³, que representa a energia necessária para bombear 1m³ de água.

A publicação sobre indicadores feita pela IWA (Alegre *et al.*, 2004) apresenta, alguns indicadores referentes ao sistema de bombeamento como por exemplo: o consumo de energia normalizado (Ph5)[kWh/m³/100m], que representa a energia consumida pelo sistema para elevar 1m³ de água a 100m de altura manométrica(Hm). O indicador representa uma medida indireta do rendimento dos conjuntos motobomba; Ph4 - Utilização da capacidade de bombeamento (%) que mede a capacidade de bombeamento remanescente no dia de maior consumo energético; Ph6 – consumo de energia reativa (%) que expressa o percentual de energia reativa consumida em relação ao consumo total de energia;

Segundo Duarte *et al.* (2008) apresentaram três índices de desempenho energético global para sistemas de bombeamento denominados: E1 (energia em excesso por volume de água que entra no sistema), E2 (energia em excesso por volume de água faturada) e E3 (razão entre a energia fornecida e a energia mínima do sistema).

CAPÍTULO III CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3.1.Estado Actual do Objecto de investigação

No desenvolvimento do Capítulo II, contestou-se a respeito de tópicos como, os elementos de um sistema de bombeamento, tipos de bombas e avaliação de desempenho de um sistema de bombeamento. No entanto o objectivo deste trabalho é apresentar resultados da avaliação realizada no sistema de bombeamento proposto. Tal sistema é implementado com bomba centrífuga acionada por motor eléctrico.

3.1.1. Descrição Resumida do sistema

O sistema de bombeamento é constituído por dois principais sistemas, a saber: sistema eléctrico e o sistema hidráulico. O esquema hidráulico é apresentado por meio da figura 10, que tem por objectivo apresentar resumidamente cada um dos elementos que compõem o sistema.

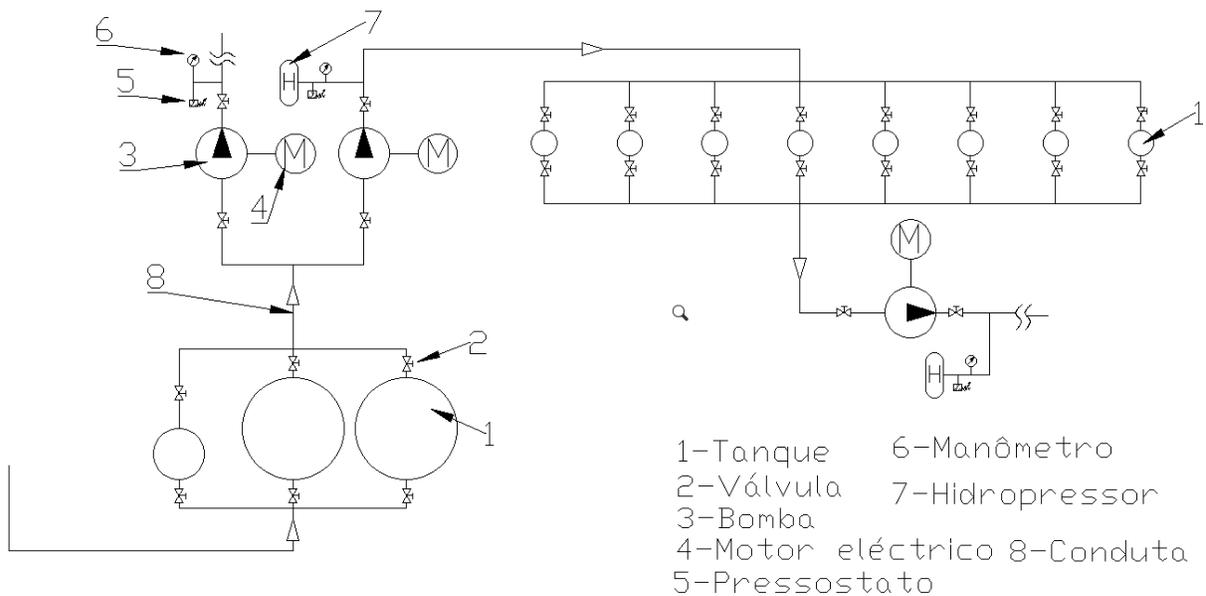


Figura 10-Esquema hidráulico simplificado

Fonte: Autor (2022)



Figura 11-Casa das bombas

Fonte: Autor (2022)

O sistema eléctrico tem a função de fornecer energia eléctrica para o acionamento do motor eléctrico. A corrente eléctrica utilizada provem da rede nacional de distribuição de energia fornecida pela EDM, mas em casos de falhas na distribuição o sistema usa energia gerada, por geradores de energia presentes na empresa.

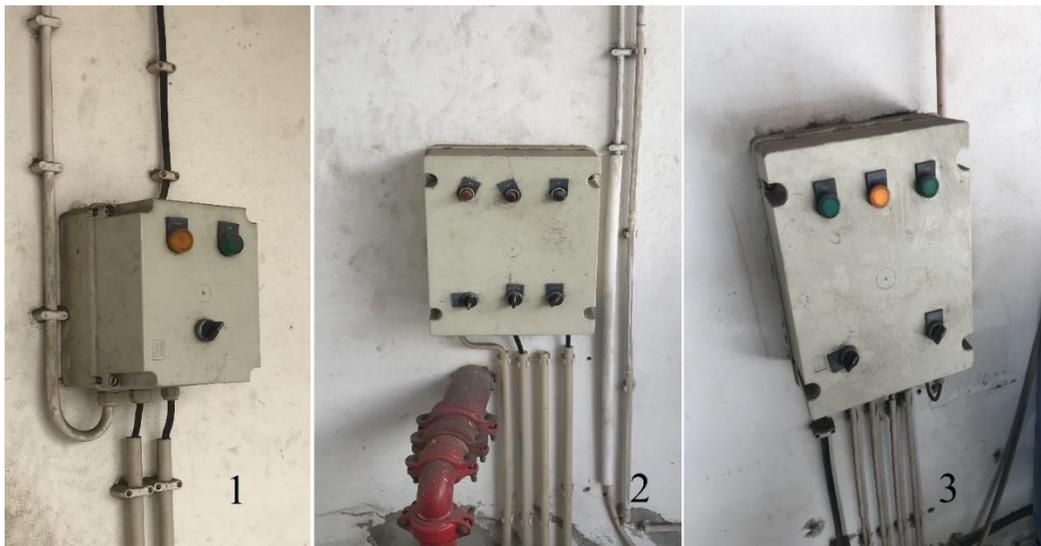


Figura 12-Painel eléctrico dos conjuntos motor-bomba

Fonte: Autor (2022)

O sistema hidráulico de bombeamento de água é constituído pelo reservatório de sucção, três conjuntos motor-bomba, as tubulações e o reservatório de recalque. A tubulação é formada por tubos de sucção, tubos de recalque e acessórios como (válvulas, curvas de 90°, ligações em T, cotovelos, registros de globo e de gaveta). O reservatório de sucção recebe água advinda da rede de distribuição nacional fornecida pela FIPAG. A fig. 13 ilustra o contador de água instalado.



Figura 13-Contador de água

Fonte: Autor (2022)

O sistema possui três conjuntos motor-bomba trabalhando simultaneamente e as bombas encontram-se trabalhando afogadas. O CMB-01 succiona água do reservatório de sucção para a estação de lavagens de carros que utilizam água sob pressão. O CMB-02 succiona água do reservatório de sucção e através da tubulação recalca no reservatório de recalque, e o CMB-03 succiona água do reservatório de recalque e bombeia para a rede interna de distribuição de água da empresa.

O CMB-02 está conectado ao sistema de incêndio, então em casos de emergência a bomba é accionada e bombeia água para os pontos com as mangueiras, pode-se notar na fig.14 a ligação com a conduta vermelha que é responsável em levar a água aos pontos das mangueiras.



Figura 14-Conjuntos Motor-bombas do Sistema

Fonte: Autor (2022)

3.1.2. Tubulação

A tubulação em geral esta constituída por tubos de 2 materiais: PVC e aço galvanizado.



Figura 15-Disposicao dos tubos nos reservatórios de sucção

Fonte: Autor (2022)

A tubulação de sucção tem por objetivo conduzir a água do reservatório de sucção até a entrada da CMB-01 e CMB-02. Estão associados ao tubo de sucção os seguintes elementos: válvula de pé, registro de gaveta, ligações em T, curvas de 90° e cotovelos. A figura 16-1 ilustra alguns dos elementos mencionados.

A tubulação de recalque tem por fim transportar a água da saída da bomba 2 até o reservatório superior (de recalque). Encontram-se associados ao tubo de recalque os seguintes elementos: Válvula de retenção, registros de globo, cotovelos, ligações em T, curvas de 90°, manómetro, válvula de comporta e o pressostato.

A saída do CMB-01 que leva a água para a secção de lavagem de carros, encontram-se contíguos os seguintes elementos: válvula de retenção, ligações em T, curvas de 90°, manómetro, válvula de comporta e pressostato.

A tubulação de sucção do CMB-03 conduz a água do reservatório de recalque á entrada do CMB-03. Estão associados ao tubo de sucção os seguintes elementos: válvula de pé, registro de globo, ligações em T, curvas de 90°, cotovelos e válvula de retenção. A figura 16-2 ilustra alguns dos elementos mencionados.

Quanto a tubulação de recalque tem o objectivo transportar a água da saída do CMB-03 até aos vários pontos de uso na empresa. Existe dificuldade em dizer precisamente todos os elementos associados ao tubo de recalque porem pode-se definir alguns dos elementos básicos de escoamento como: válvula de retenção, registros de globo, cotovelos, ligações em T, curvas de 90°, manómetro, válvula de comporta, pressostato, e o hidropressor.

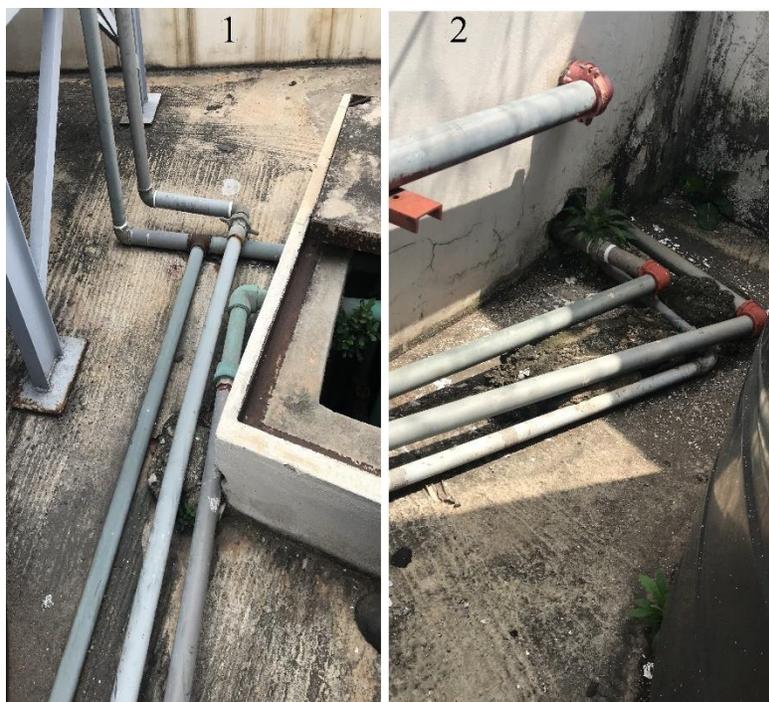


Figura 16-1 Canal orienta o fluido para os reservatórios; 16-2 Canal que permite a sucção do fluido pela bomba

Fonte: Autor (2022)

3.1.3. Reservatório de sucção

O reservatório de sucção é o componente onde fica armazenada a água que entra no sistema e é bombeada para os vários sectores. Ele está composto por 3 tanques de PVC da marca PLASTEX no total formando 25.000 litros de armazenamento de água, divididos em dois tanques de 10.000 litros e um tanque de 5.000 litros. Ilustrados na figura 17.



Figura 17- Reservatório de sucção

Fonte: Autor (2022)

3.1.4. Reservatório de recalque

O reservatório de recalque é o componente que armazena a água antes de ela ser distribuído para o uso diário no edifício. Ele está composto por oito tanques de PVC da marca PLASTEX no total formando 20.000 litros de armazenamento de água, divididos em oito tanques de 2500 litros. Os tanques são ilustrados pela figura 18.



Figura 18- Reservatório de recalque

Fonte: Autor (2022)

3.1.5. Bombas centrífugas

O sistema possui três conjuntos motor-bomba trabalhando simultaneamente, as bombas estão ilustradas na figura 13. Mais detalhes sobre as características das bombas utilizadas são mostrados a seguir pela tabela 1:

Tabela 1- Características técnicas das bombas

	Motor-Bomba 1	Motor-Bomba 2	Motor-Bomba 3
Marca	Grundfos	Grundfos	Grundfos
Tipo	CR 10-6 A-A-A-E HQQE	CR 10-6 A-A-A-E HQQE	CRE 10-5 A-A-A-E HQQE
Potencia[kW]	2.20	2.20	3
Vazão[m ³ /h]	8.97	8.97	12.1
Rotação [min ⁻¹]	2899	2899	3514
Frequência [Hz]	50	50	50/60

Tipo do motor	90LC	90LC	100LA
---------------	------	------	-------

Fonte: Autor (2022)

CAPÍTULO IV METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Este capítulo tem como objectivo apresentar os caminhos que foram usados para responder e atingir os objectivos do trabalho. E como forma de responder o problema identificado na presente pesquisa foram encontrados uma serie de procedimentos com vista a alcançar o objectivo da pesquisa.

4.1. Classificação da pesquisa

4.1.1. Quanto a Natureza

Trata-se de uma pesquisa aplicada porque pretende trazer novos conhecimentos e propostas de melhoria no que diz respeito as funcionalidades, disponibilidade, eficiência do sistema de bombeamento em uso na Entrepósito Auto-Maputo. A pesquisa aplicada, caracteriza seu interesse pratico, isto e, que os resultados sejam aplicados ou utilizados imediatamente, na solução de problemas que ocorrem na realidade (Marconi & Lakatos, 2003).

4.1.2. Quanto a abordagem

Quanto ao tipo de abordagem do problema, a pesquisa classificou-se como sendo quantitativa. Para Sibino (1996), a abordagem quantitativa se efectua com toda informação numérica resultante da investigação, que se apresenta como um conjunto de quadros, tabelas e medias.

A presente pesquisa considerou-se como sendo de abordagem quantitativa porque visou na análise de indicadores de desempenho na avaliação dos resultados desses para o sistema de bombeamento em estudo.

Na perspectiva de Trivinos (1987), a abordagem de cunho qualitativo trabalha os dados buscando seu significado, tendo como base a percepção do fenómeno dentro do seu contexto.

Utilizou-se uma pesquisa qualitativa que permitiu uma observação/inspecção das condições das tubulações, o reservatório, as bombas, o sistema em geral, as entrevistas também foram grande fonte de dados qualitativos.

4.1.3. Quanto aos procedimentos técnicos

Quanto aos procedimentos técnicos a sua realização usou meios bibliográficos e experimental, isto é, o trabalho foi desenvolvido com base na utilização de teses, dissertações, artigos, livros e *sites* na internet, para desenvolver e suportar os objectivos propostos nesse estudo.

Uma pesquisa bibliográfica é aquela que é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos (Gil, 2009). Ainda segundo Gil (2009), a principal vantagem de uma pesquisa bibliográfica reside no facto de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenómenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar directamente.

Por sua vez, uma pesquisa documental utiliza fontes primarias, ou seja, dados e informações que ainda não foram tratados cientificamente ou analiticamente, tal como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, entre outros (Tumelero, 2019).

Para a pesquisa, foram usadas tabelas estatísticas e fotografias, para uma melhor compilação de dados necessários para a elaboração da pesquisa.

Uma pesquisa experimental consiste em determinar um objecto de estudo, seleccionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objecto (Gil, 2009).

4.2. Técnicas e Instrumentos de recolha de dados

Nesta etapa, foi realizada através das informações que foram recolhidas ao longo da fase da pesquisa exploratória, isto é, para ajudar na busca e demonstração dos resultados em conciliação dos objectivos pretendidos na pesquisa.

O método de análise dos dados, nos enunciados de Yin (2005), defende que a análise de dados consiste em examinar, categorizar, classificar em tabelas, testar ou do contrário, recombinar as evidências quantitativas e qualitativas para tratar as proposições iniciais de estudo.

4.3. Diagnostico do Sistema

O diagnostico foi realizado a partir das seguintes etapas: visitas ao SB, coleta e levantamento de dados, inspeção sensorial, e análise técnica de dados usando indicadores de desempenho.

As visitas foram realizadas para reconhecimento do sistema, registos fotográficos e coleta de informações sobre os equipamentos, operação, manutenção do sistema, informações sobre a estrutura e funcionamento da instalação.

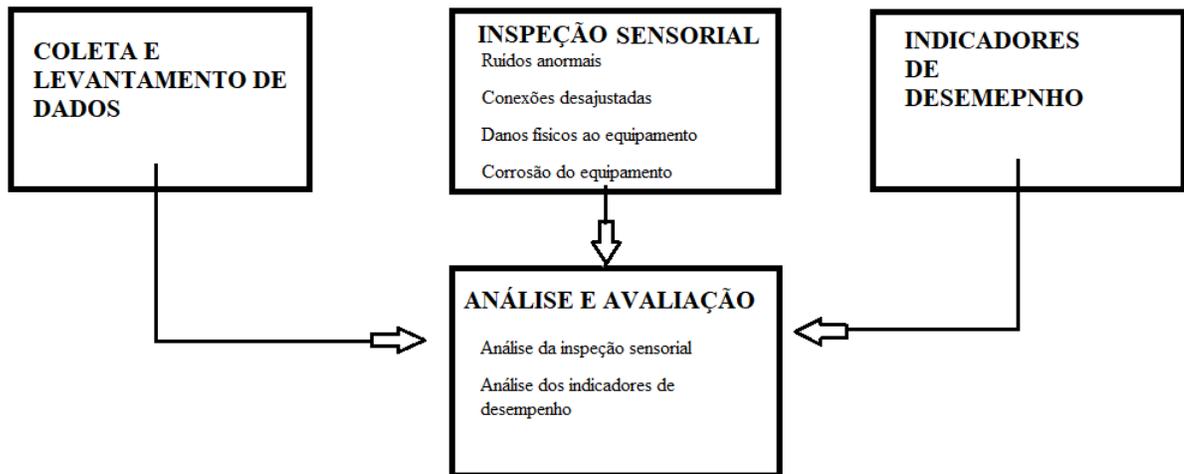


Figura 19-Metodologia de avaliação

Fonte: Adaptado de (Avaliação de sistemas de bombeamento de água, 2011)

4.3.1. Inspeção sensorial (Visual, tátil, auditiva e olfativa)

A inspeção visual e auditiva tem por objetivo a identificação de problemas no equipamento e instalações derivados de algum problema de manutenção. As principais atividades a realizar e aspectos a serem levados em consideração são detalhados a seguir.

4.3.1.1. Sistema eléctrico

Painel

- Certificar-se de que não existam sons ou vibrações anormais.
- Certificar-se que a pintura do painel esteja em bom estado.

- Certificar-se de que não existam vazamentos de óleo dielétrico.

Disjuntor

- Certificar-se de que não existam ruídos elétricos.

Condutores

- Certificar-se de que o isolamento não apresente falhas

Motor

- Certificar-se de que não existam ruídos ou vibrações anormais.
- Certificar-se de que não existam vazamentos.

4.3.1.2. Sistema hidráulico

Bomba

- Certificar-se de que não existam ruídos ou vibrações anormais.
- Certificar-se de que não existam pinos soltos no cabeçote.
- Certificar-se de que não haja indícios de corrosão no cabeçote.
- Certificar-se de que não haja vazamentos em vedações e preme-gaxetas.

Cabeçote de alívio

- Certificar-se de que o equipamento de medição (macro medidor e manômetro) esteja operando.
- Certificar-se de que não haja vazamentos.
- Certificar-se de que a válvula de expulsão de ar esteja operando.
- Certificar-se de que não existam falhas físicas nos componentes.

Tubulação

- Certificar-se de que não existam vibrações anormais.
- Verificar o estado da tubulação.

Válvulas

- Verificar as junções, conexões e áreas de vedação para detectar vazamentos.
- Certificar-se de que não existam vibrações anormais.

Reservatórios

- Verificar as conexões e a vedação.

4.3.2. Escolha de indicadores de desempenho

Na revisão da literatura, se estudou alguns dos principais autores e suas fontes para se encontrar os indicadores que melhor se encaixam no estudo a ser feito. Entre os autores destacou-se a autora Alegre *et. al.* (2004) que mostra vários indicadores existentes dividindo-os em suas respectivas categorias para o estudo.

Sendo o objectivo do trabalho fazer a análise do sistema de bombeamento, serão utilizados os indicadores de desempenho propostos por Alegre *et. al.* (2004) para a avaliação do bombeamento.

- Utilização da capacidade de bombeamento (%).

Este indicador mede a capacidade de bombeamento remanescente no dia de maior consumo energético

$$Ph4 = D2 / (C7 \times 24) \times 100. \quad (8)$$

D2 – Consumo máximo diário de energia para o bombeamento (kWh), ou seja, o número de horas de funcionamento do motor no dia de maior consumo energético durante o período de referência X potência nominal.

C7 – Capacidade máxima de bombeamento das estações elevatórias (kW).

- Consumo de energia normalizada (kWh/m³/100m).

Este indicador corresponde ao inverso da eficiência média de bombeamento do grupo.

$$Ph5 = D1 / D3. \quad (9)$$

D1 - Consumo de energia no bombeamento.

D3 – Fator de uniformização ($m^3 \times 100m$) ou seja, o volume bombeado no período x altura manométrica/100.

A eficiência energética é considerada boa para o consumo de energia normalizado entre 0,27 a 0,40, mediano para 0,40 a 0,54 e insatisfatória para consumos maiores que 0,54.

- Grau de automação (%).

$$Ph14 = C16 / C15 \times 100. \quad (10)$$

C15 – Unidade de controle.

C16 - Unidade com controle automático.

CAPÍTULO V APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos pela aplicação da metodologia proposta nesta pesquisa.

5.1. Inspeção sensorial (Visual, tátil, auditiva e olfativa)

5.1.1. Sistema eléctrico

- Disjuntor

Um disjuntor é um interruptor eléctrico projectado para proteger um circuito eléctrico de danos causados por falha na alimentação eléctrica, principalmente em situações de sobrecargas. Os disjuntores do motor eléctrico estão localizados dentro do painel se encontram em bom estado e durante o funcionamento não é possível ouvir ruídos eléctricos.

- Condutores

Na casa das bombas é possível identificar vários condutores eléctricos, conectados entre o painel eléctrico e o motor eléctrico de cada conjunto motor-bomba, e também conectados entre o painel eléctrico e o pressostato. Todos os condutores não apresentam falhas no isolamento, tendo até uma protecção extra de um tubo PVC, pode-se ver na figura 20-1 , e figura 20-3.



Figura 20- Condutores

Fonte: Autor (2022)

- Motor Eléctrico

O motor eléctrico esta acoplado a bomba e juntos fazem o conjunto motor-bomba, é possível ver na parte superior do conjunto motor-bomba e com uma coloração preta, como ilustrada na figura 21. O estado geral (o corpo, a pintura, etc.) está em excelentes condições, embora o motor eléctrico do conjunto motor-bomba 3 esteja muito sujo, resultado da fraca limpeza que é feita nos equipamentos.

O funcionamento dos três conjuntos motor-bomba é suave e não é possível identificar nenhum ruído fora do normal, e as vibrações durante o seu funcionamento são normais.



Figura 21-Conjunto motor-bomba 3

Fonte: Autor (2022)

5.1.2. Sistema hidráulico

- Bomba

As Três bombas do sistema, funcionam, porém, foram identificadas algumas anomalias no seu funcionamento, o que chega a comprometer a eficiência e a segurança no funcionamento. As três bombas apresentam vibrações anormais durante o funcionamento, resultado do facto de não existe nenhum pino/parafuso de fixação nos 3 conjuntos como pode-se ver na figura 22, a bomba praticamente esta funcionando sendo segurada somente pelas ligações da tubulação.



Figura 22- Ilustração da falta dos pinos de fixação

Fonte: Autor (2022)

O corpo não está em bom estado de conservação e já se nota níveis altos de corrosão no cabeçote da bomba, principalmente nos CMB-01 e CMB-02, como ilustrado pela figura 22. Os CMB-02 e CMB-03 estão posicionadas por cima de suportes metálicos, suportes esses que estão em péssimo estado de conservação com toda a superfície corroída

Vazamento de água não foi identificado no CMB-03, porém foi identificado nos conjuntos 1 e 2, sendo em níveis mais elevados no conjunto 1. O vazamento é tao acentuado que chega a encharcar toda área ao redor.

O vazamento da bomba 1 é causado pela preme-gaxeta que se encontra destruída e ausência de vedante na ligação à montante da bomba, ilustrado pela figura 23.



Figura 23- Ausência de vedante à montante da bomba 1

Fonte: Autor (2022)

O vazamento do CMB-02 que em comparação com o CMB-01 é menor, esta sendo causado por falta de vedante e falta de parafusos de fixação à montante da bomba, como ilustrado pela figura 24.



Figura 24- Ilustração da causa de vazamento da bomba 2

Fonte: Autor (2022)

- Cabeçote de alívio

Cada conjunto motor-bomba apresenta um manómetro, instrumento usado para medir a pressão. O manómetro do CMB-01 esta danificado, o manómetro do CMB-02 esta em excelente estado e funciona, já o manómetro do CMB-03 funciona, mas esta em péssimo estado, o visor todo destruído podendo levar a leituras erradas, pode-se ver na figura 25.

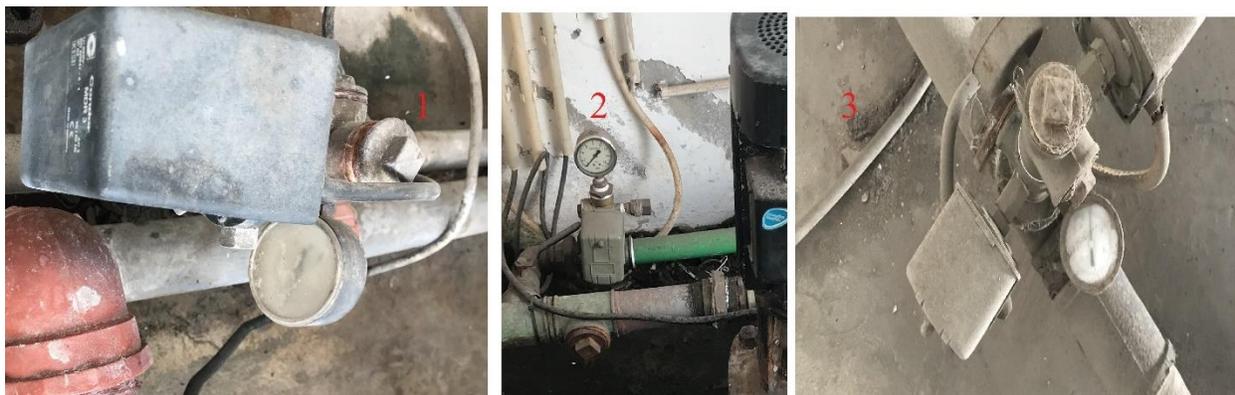


Figura 25- Manómetros

Fonte: Autor (2022)

Na casa das bombas tem um hidropressor, porém encontra-se desconectado do sistema, o hidropressor funciona, e de acordo com as informações disponibilizadas pela equipe de manutenção, este hidropressor deveria estar conectado com o CMB-02, como ilustrado na figura 26. No CMB-03, o hidropressor encontra-se conectado e operando, a exceção é o CMB-01 que não tem um hidropressor, causando uma redução da sua eficiência.



Figura 26- Hidropressor presente, porém não conectado

Fonte: Autor (2022)

- Tubulação

O canal que enche o reservatório de sucção é subterrâneo então não foi possível fazer a verificação do seu estado, mas o restante encontra-se em bom estado, sem defeitos aparentes, com a pintura de protecção em excelente estado e sem vibrações anormais.

- Válvulas

A estanquicidade das válvulas foi verificada, sendo assim não foi identificado vazamentos nas válvulas, não apresentam sinais de corrosão e nenhuma vibração anormal, algumas das válvulas presentes no sistema estão ilustradas na figura 27.



Figura 27- Válvulas

Fonte: Autor (2022)

- Reservatórios

Os reservatórios são de PVC e se encontram em perfeito estado, não apresenta nenhuma falha física como rachas ou furos como pode-se ver pelas figuras 17 e 18, e não apresenta nenhum vazamento nas uniões.

5.2. Indicadores de desempenho

- P4 – Utilização da capacidade de bombeamento (%).

Com as observações feitas durante o período de estágio das horas de funcionamento dos conjuntos motor-bomba, foi calculado o consumo de energia diário dos 3 conjuntos motor-bomba, num período de referência de 7 dias a partir da fórmula:

$$\text{Consumo [Kwh]} = \text{Potência [Kw]} \times \text{horas [h]}. \quad (11)$$

Sendo que a potencia nominal pra CMB-01 e CMB-02 é 2.2 Kw e o CMB-03 é 3 Kw.

O consumo diário estimado para cada conjunto motor-bomba é apresentado na tabela a seguir:

Tabela 2- Consumo diário de energia

Dia	CMB-01		CMB-02		CMB-03	
	Tempo de funcionamento[h]	Consumo [Kwh/dia]	Tempo de funcionamento[h]	Consumo [Kwh/dia]	Tempo de funcionamento[h]	Consumo [Kwh/dia]
1	5	11	4	8.8	6	18
2	3	6.6	4.5	9.9	4	12
3	4	8.8	4	8.8	4.8	14.4
4	4.5	9.9	5	11	5.2	15.6
5	3.3	7.29	6	13.2	6.2	18.6
6	4.5	9.9	3.8	8.36	5	15
7	4	8.8	4.3	9.46	5.5	16.5

Fonte: Autor(2022)

O consumo medio para o período de referência de 7 dias para o CMB-01 é de 8.89 Kwh/dia, para o CMB-02 é de 9.93 Kwh/dia, e para o CMB-03 é de 15.72 Kwh/dia. O consumo máximo no CMB-01 foi verificado no dia 1 que é de 11 Kwh, sendo que no CMB-02 foi de 13.2 Kwh e no CMB-03 foi de 18.6 Kwh.

Com os dados faz-se o cálculo da utilização da capacidade de bombeamento (Ph4) para cada CMB.

$$Ph4 = D2 / (C7 \times 24) \times 100.$$

CMB-01

D2= 11Kwh

C7=2.2 Kw

Ph4 = 20.83%

CMB-02

D2=13.2 Kwh

C7- 2.2 Kw

Ph4 = 25%

CMB-03

D2= 18.6 Kwh

C7= 3 Kw

Ph4= 25.83%

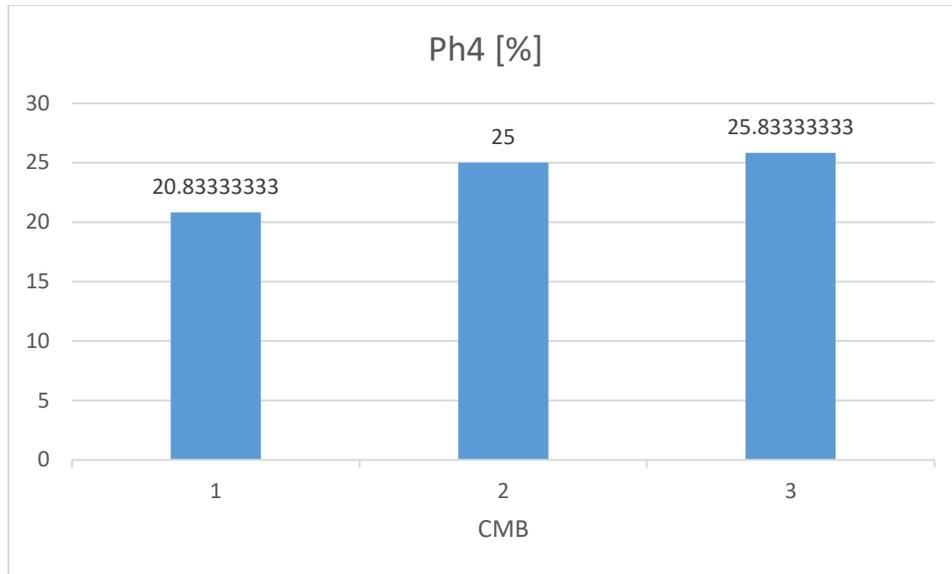


Figura 28- Utilização da capacidade de bombeamento dos CMB, jornada de trabalho de 24h

Fonte: Autor (2022)

A fórmula segundo Alegre *et. al.* (2004), pressupõe uma jornada de trabalho das bombas de 24h, a bomba em estudo tem uma jornada máxima de trabalho de 8h, sendo assim adaptando a fórmula de Ph4 para uma jornada de trabalho de 8h obtém-se valores da utilização da capacidade de bombeamento mais realista para o estudo:

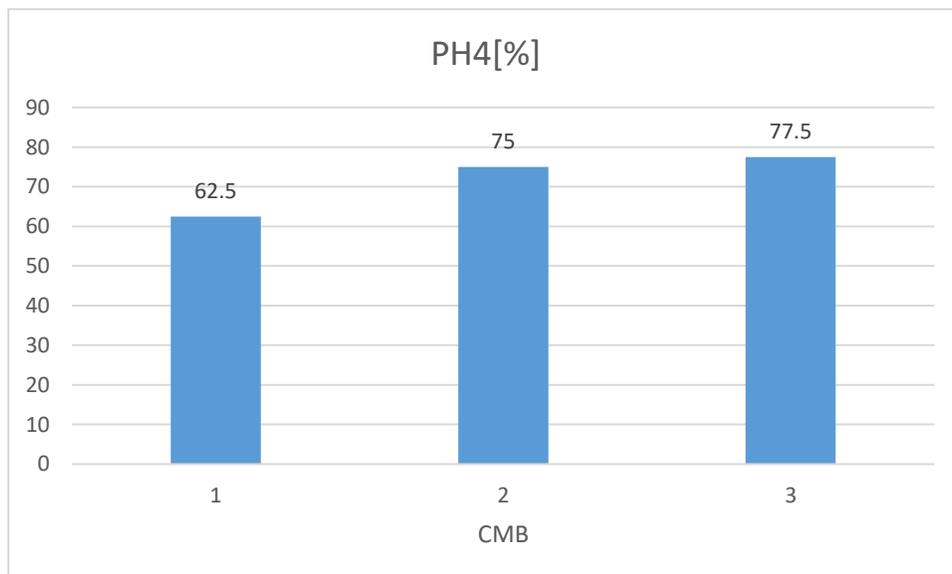


Figura 29-Utilização da capacidade de bombeamento dos CMB, jornada de trabalho de 8h

Fonte: Autor (2022)

Pode-se observar na figura 29 que a capacidade de bombeamento no dia de maior consumo energético dos CMB não estão próximo do ideal que é 100%, o CMB-03 possui um índice de 77.5%, melhor entre os 3 CMB. Assim se conclui que os 3 CMB estão trabalhando com baixa eficiência.

- Ph5 - Consumo de energia normalizada (kWh/m³/100m).

Na falta dos registros de operação diário, foi estimado o volume de água bombeado pelo CMB-01 usando dados como: o número de carros que são lavados por dia e a quantidade de água usada para lavar um carro, que segundo Bancorbras(2019), constatou que em média são usados 250 litros de água na lavagem de um carro. O CMB-02 e CMB-03 bombeia para o uso diário na empresa, que inclui água utilizada pelos funcionários para suas necessidades diárias, para o uso na oficina, refeitório e limpeza. Fazendo variar quantidade utilizada em cada sector mencionado, por 7 dias (o período de referência), estimou-se o volume que deve ser bombeado por dia

Na tabela 3 estão apresentados os dados médios de operação para cada CMB, o volume bombeado, a vazão média diária.

Tabela 3-Volume bombeado diariamente

Dia	CMB-01		CMB-02		CMB-03	
	Volume bombeado[m ³]	Vazão [m ³ /h]	Volume bombeado[m ³]	Vazão [m ³ /h]	Volume bombeado[m ³]	Vazão [m ³ /h]
1	3.75	0.75	3	0.75	3.85	0.642
2	3	1	3.5	0.778	4.2	1.05
3	3.55	0.8875	3.5	0.875	3.8	0.80
4	3.5	0.778	3	0.6	4	0.769
5	4	1.21	4	0.667	4.2	0.677
6	3.5	0.778	3.3	0.868	3.5	0.7
7	3.75	0.9375	2.8	0.651	3.7	0.672

Fonte: autor(2022)

Conforme os parâmetros calculados, verifica-se que o volume bombeado durante o período de referência pelo CMB-01, CMB-02 e CMB-03 foram, respectivamente, 25.05 m³, 23.1 m³ e 27.25 m³. E também se verifica que a vazão em média durante o período de referência, apontado pelo CMB-01, CMB-02 e CMB-03 foram, respectivamente, 0.906 m³/h, 0.741 m³/h e 0.759 m³/h.

Com os dados médios já calculados, com observações e medições feitas em campo, segue-se para o cálculo da altura manométrica, que é dado pela fórmula 12.

$$H_m = H_G + \sum H_{perdas} \quad (12)$$

Cálculo da altura manométrica:

A altura manométrica como mostra a equação 12 é a soma da altura geométrica e das perdas na sucção e recalque.

- Perdas de carga na sucção

A velocidade é obtida pela equação:

$$U_s = \frac{4Q}{\pi d_s^2} \quad (13)$$

A perda de carga localizada obtém-se pela equação:

$$H_{loc}^{suc} = K_L \frac{U_s^2}{2g} \quad (14)$$

O K_L é o somatório do coeficiente ξ , coeficiente que está relacionado a geometria dos componentes na sucção.

A perda de carga normais/fricção obtém-se pela equação:

$$H_N^{suc} = f \frac{L * U_s^2}{2 * d_s * g} \quad (15)$$

onde L [m] é o comprimento linear da tubulação, U_s [m/s] é a velocidade media do escoamento, d_s [m] é o diâmetro da tubulação, g [m/s²] é a aceleração da gravidade e f é o fator de atrito.

O factor de atrito(f) é obtido pelo diagrama de Moody, tendo como dados de entrada para a leitura o numero de Reynold's (Re) e a rugosidade relativa k .

$$Re = \frac{d_s * U_s}{\nu} \quad k = \frac{\Delta}{d_s [mm]} \quad (16)$$

Onde Δ é a rugosidade absoluta do material, do sistema em estudo é o aço galvanizado, que é igual a 0.03m

- Perdas de carga no recalque

A velocidade é obtida pela equação:

$$U_r = \frac{4Q}{\pi d_r^2} \quad (17)$$

A perda de carga localizada obtém-se pela equação:

$$H_{loc}^{rec} = K_L \frac{U_r^2}{2g} \quad (18)$$

O K_L é o somatório do coeficiente ξ , coeficiente que está relacionado a geometria dos componentes no recalque

A perda de carga normais/fricção obtém-se pela equação:

$$H_N^{rec} = f \frac{L * U_r^2}{2 * d_r * g} \quad (19)$$

onde L [m] é o comprimento linear da tubulação, U_r [m/s] é a velocidade media do escoamento, d_r [m] é o diâmetro da tubulação, g [m/s²] é a aceleração da gravidade e f é o fator de atrito.

O factor de atrito(f) é obtido pelo diagrama de Moody, tendo como dados de entrada para a leitura o numero de Reynold's (Re) e a rugosidade relativa k .

$$Re = \frac{d_r * U_r}{\nu} \quad k = \frac{\Delta}{d_r [mm]} \quad (20)$$

Onde Δ é a rugosidade absoluta do material, do sistema em estudo é o aço galvanizado, que é igual a 0.03m

Concluindo os cálculos calculamos a altura manométrica

$$\sum H_{perdas} = H_{loc}^{suc} + H_{loc}^{rec} + H_N^{suc} + H_N^{rec} \quad (21)$$

$$H_m = H_G + \sum H_{perdas}$$

A tabela apresenta o resultado do cálculo para o CMB-01:

Tabela 4- Resultados do cálculo da altura manométrica do CMB-01

d_s [m]	d_r [m]	Q [m ³ /s]	K_{L-s}	K_{L-r}	L_s [m]	L_r [m]	H_g [m]	H_{perdas} [m]	H_m [m]
0.07	0.05	0.000252	18.8	7.3	11.1	17.5	1.5	0.02205	1.52205

Fonte: autor(2022)

A tabela apresenta o resultado do cálculo para o CMB-02:

Tabela 5-Resultados do cálculo da altura manométrica do CMB-02

$d_s[m]$	$d_r[m]$	$Q[m^3/s]$	K_{L-s}	K_{L-r}	$L_s[m]$	$L_r[m]$	$H_g[m]$	$H_{perdas}[m]$	$H_m[m]$
0.07	0.06	0.0002058	18.8	127.5	10.8	41.2	9	0.0454	9.0454

Fonte: Autor(2022)

A tabela apresenta o resultado do cálculo para o CMB-03:

Tabela 6-Resultados do cálculo da altura manométrica do CMB-03

$d_s[m]$	$d_r[m]$	$Q[m^3/s]$	K_{L-s}	K_{L-r}	$L_s[m]$	$L_r[m]$	$H_g[m]$	$H_{perdas}[m]$	$H_m[m]$
0.07	0.05	0.0002108	110.4	163.5	18.7	400	8	0.2902	8.2902

Fonte: Autor(2022)

Com os parâmetros calculados pode-se prosseguir com o cálculo do consumo de energia normalizado (Ph5).

$$Ph5 = D1 / D3.$$

CMB-01

$$D1 = 1.11125 \text{ Kwh}$$

$$D3 = 0.3813$$

$$Ph5 = 2.91 \text{ kWh/m}^3/100\text{m}$$

CMB-02

$$D1 = 1.24125 \text{ Kwh}$$

$$D3 = 2.0895$$

$$Ph5 = 0.594 \text{ kWh/m}^3/100\text{m}$$

CMB-03

$$D1 = 1.965 \text{ Kwh}$$

$$D3 = 2.2590$$

$$Ph5 = 0.8698 \text{ kWh/m}^3/100\text{m}$$

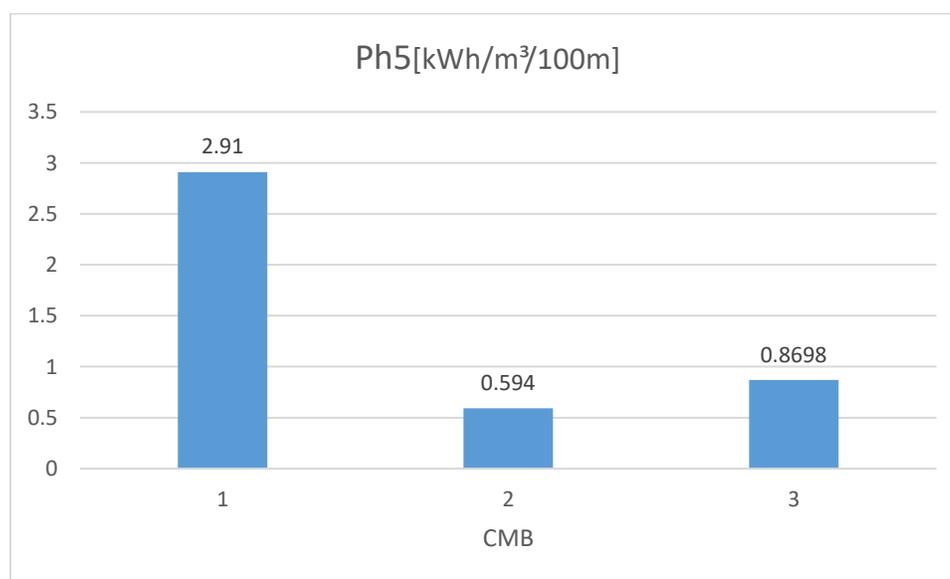


Figura 30- Resultados do consumo de energia normalizado para os CMB

Fonte: autor(2022)

Segundo Sabesp (2014), o valor se encontra em uma faixa considerada como boa eficiência energética, como apresentada na tabela a seguir

Tabela 7-Faixa de eficiência energética relacionada ao consumo de energia normalizado, segundo Sabesp (2014).

Consumo de energia normalizado[kWh/m ³ /100m]	Eficiência energética
0.27 a 0.40	Boa
0.40 a 0.54	Mediana
>0.54	Insatisfatória

Como mostrado, Segundo Sabesp (2014), os valores do consumo de energia normalizada mostrados pela figura 30, os CMB encontram-se em uma faixa considerada insatisfatória, segundo a tabela 7, salvo o CMB-03 que se encontra próximo do limite entre mediana e insatisfatória. Porém pode se observar que os CMB não apresentam boa eficiência energética, relacionada ao consumo de energia normalizada, onde se indica um reparo nos danos verificados, e se possível a substituição do conjunto por um novo.

- Ph 14 – Grau de automação (%).

$$Ph14 = C16 / C15 \times 100$$

$$Ph14 = 1/3 \times 100 = 33.3\%$$

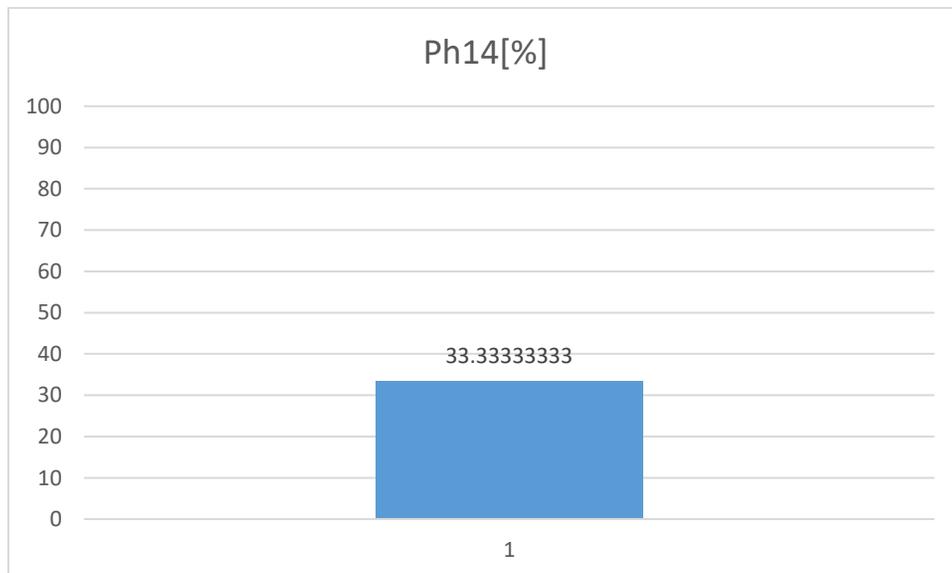


Figura 31- Resultado do grau de automação

Fonte: autor(2022)

O indicador demonstra que o sistema é fracamente automatizado sendo necessário o acionamento manual, o que causa demora e reduz a produtividade, aumenta a probabilidade de falha e torna o processo menos ágil. Uma situação observada foi que o funcionário que trabalha na área da lavagem deve deslocar-se para a casa das bombas para fazer o acionamento manual sempre que parar ou começar a lavagem.

CAPÍTULO VI CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusão

O objectivo deste trabalho foi fazer uma avaliação, de modo geral, das condições operacionais do sistema de bombeamento de água em uso na sede da Entrepasto Auto- Maputo.

A metodologia proposta para o diagnostico foi mediante a realização de uma inspeção sensorial, pois ela demonstra a existência de problemas ou deficiências na manutenção dos equipamentos e com os resultados prognosticar a condição da máquina sem afectar a sua operação. E também mediante o uso de indicadores de desempenho, em virtude de sintetizarem as informações relevantes e possibilitar uma comparação a partir de critérios seleccionados.

A pesquisa avaliou o sistema de bombeamento em uso na Entrepasto Auto- Maputo, na qual o sistema é abastecido pela rede de distribuição de água nacional fornecida pela FIPAG, apresentando um reservatório de sucção com 25.000 litros, repartidos em três tanques de PVC na qual dois de 10.000 litros e um de 5.000 litros. Apresenta 3 conjuntos motor bomba da marca Grundfos, duas CR10-6 e uma CRE 10-5, com diferentes configurações (altura manométrica, potência, volume bombeado, etc.). Um reservatório de recalque com 20.000 litros, divididos em oito tanques de PVC, cada um deles tendo uma capacidade de 2500 litros, e a tubulação em geral usa tubos de PVC e aço galvanizado.

A inspeção sensorial realizada na estação de bombeamento, evidenciou-se que as bombas quando em funcionamento apresentam uma vibração anormal, isto pois as bombas não apresentam os pinos de fixação, assim deixando-os soltas e causando uma vibração anormal. Ainda nos CMB-01 e CMB-02 foi identificado pontos de vazamento de água causando perdas e inundando a casa das bombas e outros equipamentos, vazamento este causado por falta de vedante e parafusos de união na junção entre a bomba e a conduta de sucção como pode-se ver na figura 24, e o CMB-01 apresenta vazamento causado por falha do elemento preme-gaxeta e ausência de vedante na conduta à montante a bomba, ilustrado pela figura 23. O vazamento de água acabou causando níveis de corrosão altos no corpo de bomba e nos suportes que se encontram em péssimo estado de conservação em parte causado também pela franca limpeza realizada na casa das bombas. Foi possível verificar também que dos 3 manómetros pertencentes as 3 bombas somente o manómetro da bomba 2 esta em condições de funcionamento, o da

bomba 1 esta danificado e o da bomba 3 o visor está em péssimo estado podendo causar falhas na leitura. A tubulação em geral está em boas condições, não apresentando defeitos físicos como trincas e rachaduras e a pintura contra a corrosão também se encontra em condições. As válvulas, os condutores, disjuntores não apresentam falhas, estando a funcionar nos padrões aceitáveis. No CMB-02 o hidropressor se encontra desconectado, ilustrado na figura 26, o CMB-01 esta funcionando sem um hidropressor o que causa fraca pressão na área da lavagem, assim reduzindo a eficiência e no CMB-03 o hidropressor está instalado e funcionando.

Em relação aos indicadores de desempenho, foram utilizados três indicadores, nomeadamente: a utilização da capacidade de bombeamento; consumo de energia normalizado e o grau de automação. Em relação a utilização da capacidade de bombeamento, observou-se uma franca capacidade nos CMB, muito abaixo do nível ideal (100%), sendo que o CMB-01 apresentou um índice muito de baixo de 62.5%. E quanto ao consumo de energia normalizado, os CMB apresentaram uma eficiência energética insatisfatória. Resultados demostram baixo desempenho dos CMB, que podem ser explicados por um problema operacional da bomba ou motor eléctrico. E o grau de automação de todo sistema foi 33.33% sendo um índice muito baixo, do ideal (100%), existindo a necessidade de acionamentos manuais o que reduz a produtividade e agilidade no trabalho.

Á vista disso, a partir da avaliação da condição realizada pela inspeção sensorial e a análise dos indicadores de desempenho, apontam que o sistema de bombeamento não apresenta as condições operacionais aceitáveis por apresentar vários problemas particularmente nos conjuntos motor-bomba e uma baixa eficiência energética.

Tendo a vista os resultados obtidos, a fim de resolver os problemas identificados e melhorar o funcionamento das bombas, eliminar os vazamentos, reduzindo as perdas e garantindo um bom funcionamento dos conjuntos motor-bomba e acréscimos na eficiência energética são indicadas a seguir as medidas a serem tomadas:

- Instalação de pinos de fixação nas bombas;
- Montagem de vedante na ligação a montante do CMB-01;
- Substituição da preme-gaxeta do CMB-01;
- Montagem de vedante e parafusos de fixação na ligação a montante do CMB-02;

- Ligação do hidropressor com o CMB-02;
- Aquisição e montagem de um hidropressor para o CMB-01;
- Substituição de manómetros nos CMB-01 e CMB-03;
- Requalificação dos corpos das bombas e suportes em virtude do nível de corrosão existente;
- Utilização de inversores de frequência nos CMB;
- No caso de as medidas não causarem melhoras, substituição dos CMB-01, CMB-02 e CMB-03;

6.2. Recomendações

Na sequência das investigações feitas e das conclusões que foram tiradas, o estudo recomenda:

- Considerar a aprovação da proposta das medidas para melhoria no funcionamento do sistema de bombeamento propostas no presente estudo;
- Repetir a metodologia com o uso de uma maior quantidade de dados de campo, efectuar essas medições durante um maior tempo, para evitar possíveis falhas na interpretação, como indicado por Alegre *et al* (2004);
- Calcular novos indicadores representativos baseado em dados obtidos;
- Aprovação do plano de manutenção dos equipamentos e instalações proposta em anexo no presente estudo, como forma de assegurar a disponibilidade, confiabilidade, longevidade e a adequação aos requisitos de qualidade;
- Propor a criação e implementação de um sistema de reutilização da água de chuva na área de lavagem dos automóveis.

6.3. Limitações da pesquisa

A realização do presente estudo sofreu algumas restrições decorrentes dos seguintes factores:

- Indisponibilidade de documentos/registos a nível interno, que ilustram os dados históricos de funcionamento do sistema de bombeamento;
- Indisponibilidade de registos diários de operação de cada conjunto motor-bomba (energia consumida, volume bombeado, tempo de funcionamento, consumo diário);
- Indisponibilidade dos cálculos de dimensionamento da instalação e escolha da bomba e motores de accionamento do projecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M.; PARENA, R. Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água: versão portuguesa de Performance indicators for water supply services. Tradução Patrícia Duarte, Helena Alegre, Jaime Melo Baptista. Londres: IWA/IRAR/LNEC, 2004.

AZEVEDO NETTO, J. M., et al. Manual de Hidráulica. ed. Edgard Blucher Ltda, 8ª Edição, São Paulo, 1998.

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento. Avaliação de Sistemas de Bombeamento de Água: Manual de manutenção., 1ª Edição, Washington, D.C.2011

DANTAS NETO, J.; FARIAS, M.S.S. Indicadores de desempenho como instrumento de gestão em projetos de irrigação. In: AGUIAR NETO, A.O.; BASTOS, E.A. (Org.). Princípios agronômicos da irrigação. Brasília: EMBRAPA, 2013.

DE LA TORRE, Antonio. Efficiency optimization in SWRO plant: high efficiency and low maintenance pumps. Desalination. Madri, v. 221, p. 151-157, 2008.

DE ROLT, M. I. P. O Uso de Indicadores para a Melhoria da Qualidade em Pequenas Empresas. 1998. 193 f. (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

DUARTE, P.; ALEGRE, H.; COVAS, D. I. C. Avaliação do Desempenho Energético em Sistemas de Abastecimento de Água. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E DRENAGEM, 8, Portugal. 2008. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/resumo_viiiiserea.pdf>. Acesso em: 18 de set. 2022.

Eletrobras. Apresentação PROCEL Sanear. Eletrobras, Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/main.asp?TeamID={17B0348E-BC5F-44B2-8FB4-6A9BEEF33020}>>. Acesso em: 26 set. 2022.

FERREIRA FILHO, J.; RODRIGUES, R. C. Monitoramento e controle de processos, 2 / — Rio de Janeiro: Petrobras Brasília: SENAI/DN, 2003. 249 p.: il. — (Série Qualificação Básica de Operadores).

FONTANA, N., GIUGNI, M., PORTOLANO, D. Losses Reduction and energy production in water-Distribution Networks. Water Resources Planning and Management, 2012.

FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M.; MAISANO, D. Management by measurement: Designing key indicators and performance measurement systems. Heidelberg: Springer, 2007. 250p.

GIL, A.C. Estudo de caso.1.edd. São Paulo: Atlas, 2009

GOMES, H. P.; CARVALHO, P. S. O. Manual de Sistemas de Bombeamento: eficiência energética. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2012. 189p.

GUIMARÃES, Ronaldo. Comportamento elétrico, mecânico e hidráulico de um sistema de bombeamento sob o enfoque da eficiência energética. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Uberlândia, 2008.

Heber P. Gomes, Paulo O.de Carvalho, et al. Manual de sistemas de bombeamento.1ª Edição.Editora Universitária – UFPB, 2012.

HENN, Érico Antônio Lopes. Máquinas de fluido. 2.ed. Santa Maria, RS: Editora da UFSM, 2006. 474 p.

Lakatos, Eva Maria; Marconi, Maria de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MACINTYRE, Archibald Joseph. Bombas e instalações de bombeamento. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 1997. 782 p.

MANOEL BOTELHO, GERALDO JUNIOR. Instalacoes hidraulicas prediaia. 4.ed. São Paulo: Blucher, 2014.

MARCOLIN, E.; ROBAINA, A.D. Consumo de energia e eficiência das estações de bombeamento de lavouras de arroz irrigado. Ciência Rural, Santa Maria, 2002.

OLIVEIRA FILHO, D.; SAMPAIO. R.P.; MORAES, M.J.; PIZZIOLLO, T.A.; DAMIÃO, J.H.A. Metodologia de diagnóstico energético em estação de captação de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola

P. Novak, C.Nalluri, et al. Hydraulic structures.1ª Edição.McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.,2001

ROCAMORA, C.; VERA, J.; ABADÍA, R. Strategy for efficient energy management to solve energy problems in modernized irrigation: analysis of the Spanish case. Irrigation Science, Heidelberg, v.31, n.5

SCHMIDLIN JÚNIOR, Celso Rogério. Operação do conjunto bomba centrífuga, motor de indução trifásico e conversor de frequência visando a eficiência no uso da energia elétrica. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) –Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2006.

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. Manual Técnico.2006

Trivinos, Augusto N.S. Introducao à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo, 1987.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de água. 3.ed. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2004. 643 p.

Tumelero, Naina. Pesquisa aplicada: material completo, com exemplos e características. Mettzer, 2019. Disponível em:<https://blog.mettzer.com/pesquisa-aplicada/>. Acesso em 24/08/2022

URRESTARAZU, L.P.; BURT, C.M. Characterization of pums for irrigation in Central Califórnia: Potential energy savings. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.138, n.9, p.815–822

Vilanova, Luciano caldeira. Mecânica dos fluidos.3. ed. Santa Maria-RS, 2011

Yin, Robet K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2005

ANEXOS

Anexo I: Proposta de plano de manutenção de subsistemas e equipamentos

Subsistema	Equipamento	Acção recomendada	Frequência de manutenção				
			Diária	Semanal	Mensal	Anual	Obs.
Eléctrico	Centro de controle de motores	Limpeza do painel				X	
		Limpeza e lubrificação de acionamentos mecânicos (molas, botoeiras)				X	
		Reaperto de parafusos de terminais e conectores eléctricos				X	
		Medição e análise de parâmetros eléctricos			X		
		Testes de resistência eléctrica na rede de aterramento				X	
		Limpeza do enrolamento com solvente dieléctrico				X	
	Motores eléctrico	Lubrificação de rolamentos			X		
		Troca de rolamentos axiais				X	
		Medição e análise de parâmetros eléctricos				X	

		Medição e análise de vibrações mecânicas				X	
		Testes de isolamento				X	
Mecânico	Bombas	Lubrificação de rolamentos e portarolamentos			X		
		Lubrificação do eixo superior		X			
		Troca da bucha da bacia					X
		Troca do eixo superior					X
		Troca de rolamentos					X
		Troca da bucha					X
		Medição e análise de vibrações mecânicas				X	
		Medição e análise de pressão de descarga e carga de bombeamento			X		
		Medição e análise da vazão			X		
		Inspeção de bucha		X			
	Insensato do preme-gaxeta	X					
	Tubulação	Limpeza e inspeção da tubulação de descarga		X			
		Pintura da tubulação de descarga				X	

	Tubulação	Troca de gaxetas quebradas entre os acoplamentos de braçadeiras, válvulas, medidores e válvulas de retenção sustentadoras de pressões			X		
		Troca de válvulas					X
		Inspeção do funcionamento e calibragem dos macro medidores				X	
		Medição e análise de vibrações mecânicas				X	
	Válvulas	Limpeza do corpo da válvula			X		
		Medição e análise de vibrações mecânicas			X		
		Lubrificação de mancal do eixo			X		
		Limpeza e avaliação da mola do diafragma				X	
		Limpeza e avaliação do diafragma					X