



**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL**

**Trabalho de Licenciatura**

**Tema:**

**Dimensionamento de um Sistema de Captação e Abastecimento de Água na Comunidade em Matola**

**Autor:**

Jesualdo Horácio Pimentel Halafo

**Supervisor:**

Engº. Jaime Matavel

Maputo, Junho de 2025



**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL**  
**Trabalho de Licenciatura**

**Dimensionamento de um Sistema de Captação e Abastecimento de Água  
na Comunidade em Matola**

**Autor:**

Jesualdo Horácio Pimentel Halafo

**Supervisor:**

Engº. Jaime Matavel

Maputo, Junho de 2025



**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
Curso de Engenharia e Gestão Industrial

**TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA**

Declaro que o estudante Jesualdo Horácio Pimentel Halafo entregou no dia \_\_\_\_/06/2025 as \_\_\_\_ cópias do relatório do seu trabalho de Trabalho de Licenciatura intitulado: Dimensionamento de um Sistema de Captação e Abastecimento de Água na Comunidade em Matola.

| SUPERVISORES  | Nome                | Assinatura |
|---------------|---------------------|------------|
| Da UEM        | Engº. Jaime Matavel |            |
| Co-supervisor |                     |            |

Maputo, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2025

O estudante

\_\_\_\_\_

O Director do Curso

\_\_\_\_\_



## **Dimensionamento de um Sistema de Captação e Abastecimento de Água na Comunidade em Matola**

## Índice

|                                                                                         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| AGRADECIMENTOS .....                                                                    | VII  |
| DEDICATÓRIA .....                                                                       | VIII |
| DECLARAÇÃO DE HONRA.....                                                                | IX   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                                                  | X    |
| ÍNDICE DE TABELAS.....                                                                  | XI   |
| LISTA DAS ABREVIATURAS .....                                                            | XII  |
| RESUMO.....                                                                             | XIII |
| CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....                                                            | 1    |
| 1.1 Introdução .....                                                                    | 1    |
| 1.2 Problemática .....                                                                  | 2    |
| 1.3 Objectivos do trabalho .....                                                        | 3    |
| 1.3.1 Objectivo geral.....                                                              | 3    |
| 1.3.2. Objectivos específicos .....                                                     | 3    |
| 1.4. Preposições .....                                                                  | 3    |
| 1.5. Perguntas da investigação .....                                                    | 3    |
| 1.6. Justificativa de estudo.....                                                       | 4    |
| 1.7. Estrutura do trabalho.....                                                         | 5    |
| CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA .....                                                 | 6    |
| 2.1. Histórico do abastecimento de água em Moçambique .....                             | 6    |
| 2.1.1. Desafios enfrentados no abastecimento de água em Moçambique.....                 | 7    |
| 2.1.2. Iniciativas anteriores para a melhoria do sistema de abastecimento de água ..... | 8    |
| 2.2. Sistemas de captação e distribuição de água.....                                   | 9    |
| 2.2.1. Sistemas de captação de água superficial .....                                   | 10   |
| 2.2.2. Sistemas de captação de água subterrânea.....                                    | 11   |
| 2.2.3. Comparação entre sistemas antigos e modernos de captação de água.....            | 13   |
| 2.3. Partes de um sistema de abastecimento de água.....                                 | 14   |
| 2.3.1 Manancial.....                                                                    | 14   |
| 2.3.2 Captação.....                                                                     | 15   |
| 2.3.4 Estação elevatória .....                                                          | 15   |
| 2.3.4. Estação de tratamentos de águas.....                                             | 16   |

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 2.3.5 Reservatório de água.....                          | 16 |
| 2.3.6. Rede de distribuição.....                         | 17 |
| 2.4. Elementos de uma estação elevatória de água .....   | 18 |
| 2.4.1. Bomba .....                                       | 18 |
| 2.4.2. Válvula Solenoide .....                           | 20 |
| 2.4.3. Relé .....                                        | 20 |
| 2.4.4. Sensor de fluxo .....                             | 21 |
| CAPÍTULO 3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO .....       | 23 |
| 3.1 Localização Geográfica .....                         | 23 |
| 3.2 Caracterização Sócio-económica .....                 | 23 |
| 3.3 Infra-estrutura de Abastecimento de Água .....       | 23 |
| 3.4 Problemas Identificados.....                         | 24 |
| 3.5 Justificativa da Intervenção em Ndlavela .....       | 24 |
| 3.6 Infra-estrutura de Distribuição .....                | 25 |
| 3.7. Desempenho Operacional Actual .....                 | 25 |
| 3.8. Necessidade e Oportunidade de Intervenção .....     | 26 |
| CAPÍTULO. 4 METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA .....   | 27 |
| 4.2 Abordagem Quantitativa .....                         | 28 |
| 4.2.1 População e Amostra.....                           | 28 |
| 4.2.2 Instrumentos de Recolha de Dados.....              | 28 |
| 4.2.3 Procedimentos de Campo .....                       | 28 |
| 4.2.4 Tratamento e Análise Estatística .....             | 28 |
| 4.3 Abordagem Qualitativa .....                          | 29 |
| 4.3.1 Entrevistas Semi-estruturadas .....                | 29 |
| 4.3.2 Grupos Focais .....                                | 29 |
| 4.3.3 Análise de Conteúdo .....                          | 29 |
| 4.4 Desenvolvimento do Sistema Proposto .....            | 29 |
| 4.4.1 Arquitetura Técnica.....                           | 29 |
| 4.4.2 Dimensionamento dos Componentes.....               | 30 |
| 4.4.3 Prototipagem e Testes Piloto.....                  | 30 |
| 4.5. Limitações do Estudo.....                           | 30 |
| 4.6. Metodologia para o dimensionamento do sistema ..... | 31 |
| 4.6.1 Cálculo de vazão .....                             | 31 |
| 4.6.2 Cálculo do diâmetro económico .....                | 31 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6.3 Cálculo de perdas do sistema .....                               | 32 |
| 4.6.4 Cálculo da potência de accionamento .....                        | 34 |
| CAPÍTULO 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....               | 35 |
| 5.1 Apresentação e análise dos resultados .....                        | 35 |
| 5.1.1. Problemas identificados e análise técnica.....                  | 35 |
| 5.1.2. Propostas de resolução com argumentos científicos.....          | 36 |
| 5.1.3. Melhor solução para o bairro de Ndlavela .....                  | 37 |
| 5.2. Dimensionamento do sistema .....                                  | 38 |
| 5.2.1 Cálculo de vazão .....                                           | 38 |
| 5.2.2 Cálculo do diâmetro económico .....                              | 38 |
| 5.2.3 Cálculo de perdas do sistema .....                               | 39 |
| 5.2.4 Cálculo da potência de accionamento .....                        | 40 |
| 5.2.5 Escolha da bomba do sistema .....                                | 41 |
| 5.3. Discussão dos Resultados .....                                    | 42 |
| 5.3.1. Dimensionamento dos componentes do projecto .....               | 42 |
| 5.3.2. Relação custo-benefício e estudo de viabilidade económica ..... | 44 |
| 5.4. Propostas (medidas operacionais, técnicas e sociais) .....        | 46 |
| CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E RECOMENDACÕES.....                            | 47 |
| 6.1. Conclusão.....                                                    | 47 |
| 6.2. Recomendações para trabalhos futuros.....                         | 49 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                        | 50 |

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela força, coragem, ânimo que me deu para realização deste trabalho e pela sabedoria e ousadia para cada pesquisa que, até aqui, se realizou.

Em segundo lugar, agradeço aos meus pais por me apoiarem no meu curso dos sonhos e por investirem em mim, na minha carreira estudantil.

E por fim, a todos os colegas e professores do Curso de Engenharia e Gestão Industrial da Universidade Eduardo Mondlane.



## DEDICATÓRIA

A minha esposa que trabalhava muito, enquanto eu permanecia ocupado com este projecto, foi capaz de me incentivar todos os dias. Obrigado por me ajudar a realizar este sonho.”

*“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem”.*

(Guimarães Rosa, escritor brasileiro)

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Eu, Jesualdo Horácio Pimentel Halato declaro por minha honra que o presente Trabalho de Licenciatura, 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 FIGURAS

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Sistemas de captação de água superficial (Fonte: World Bank, 2017). .....                    | 10 |
| Figura 2: Sistemas de captação de água subterrânea (Fonte: World Bank, 2017).....                      | 11 |
| Figura 3: Unidade de sistema de abastecimento de água (fonte: Tsutiya).....                            | 14 |
| Figura 4: Estação elevatória de água (Fonte: Google Imagens). .....                                    | 16 |
| Figura 5: Reservatórios de Água Doce Inducuzana.....                                                   | 17 |
| Figura 6: Elementos de uma estação elevatória de água (Fonte: Google Imagens). .....                   | 18 |
| Figura 7: Válvula solenoide a usar caso não se queira a bomba de combustível (Fonte: Ford 2015). ..... | 20 |
| Figura 8: Relé a ser usado no projecto. (Fonte: Google Imagens).....                                   | 21 |
| Figura 9: YF-S403 (Fonte: Google Imagens) .....                                                        | 21 |
| Figura 10: Ábaco de Moody (Fonte: Googleforms ) .....                                                  | 33 |
| Figura 11: Sistema de distribuição obsoleto da água doce lindicuzana.....                              | 36 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Características das bombas dinâmicas (fonte: Silva).....                          | 18 |
| Tabela 2: Características das bombas volumétricas (fonte: Silva) .....                      | 19 |
| Tabela 3:Tabela de consumo per capita (fonte: Tsutiya).....                                 | 31 |
| Tabela 4: Diâmetros normalizados (fonte: Douglas) .....                                     | 32 |
| Tabela 5. Dados de base: 3 000 habitações no Quarteirão 20 (fonte: inventário do estudo)... | 35 |
| Tabela 6: Escolha da bomba do sistema .....                                                 | 41 |
| Tabela 7. Lista de componentes necessários ao projecto (fonte: Silva) .....                 | 43 |
| Tabela 8: Preço dos componentes do mecanismo (Fonte: Alibaba) .....                         | 44 |

## LISTA DAS ABREVIATURAS

|          |                                                               |
|----------|---------------------------------------------------------------|
| $d_r$    | Diâmetro para o recalque                                      |
| $d_s$    | Diâmetro para sucção                                          |
| ETA      | Estação de Tratamentos de Águas                               |
| GIRH     | Gestão Integrada de Recursos Hídricos                         |
| H        | Altura manométrica                                            |
| INE      | Instituto Nacional de Estatística                             |
| $k_1$    | Coefficiente do dia de maior consumo                          |
| $k_2$    | Coefficiente da hora de maior consumo                         |
| MOPHRH   | Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos  |
| $\eta_b$ | Rendimento mecânico da bomba                                  |
| ONU      | Organização das Nações Unidas                                 |
| P        | População da área abastecida                                  |
| PEDRH    | Plano Estratégico de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos    |
| PRONASAR | Programa Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento Rural |
| q        | Consumo médio diário per capita                               |
| Q        | Vazão volumétrica                                             |
| $U_r$    | Velocidade de recalque                                        |
| $U_s$    | Velocidade de sucção                                          |
| OMS      | Organização Mundial da Saúde                                  |

## **RESUMO**

A pesquisa trata da problemática do acesso inadequado à água potável, particularmente no bairro de Ndlavela, Município da Matola, Moçambique. Com o aumento populacional, a infraestrutura de água existente, projectada para atender menos de 7000 clientes, agora serve mais de 8000, o que resulta em frequentes interrupções no fornecimento, principalmente durante o verão. O objectivo geral é melhorar o sistema de captação e distribuição de água no bairro Ndlavela e especificamente, busca-se avaliar a capacidade actual do sistema, dimensionar adequadamente a infra-estrutura, e implementar estratégias de gestão sustentável de recursos hídricos. A pesquisa utiliza métodos descritivos e exploratórios, com base em um estudo de caso e em técnicas qualitativas e quantitativas. Foram aplicados questionários aos residentes e realizadas entrevistas com os gestores da empresa Águas Dice Inducuzana. Também foram analisados documentos técnicos para obter um diagnóstico do sistema de abastecimento e elaborar propostas de melhoria, como a modernização das bombas e o aumento da capacidade de reservatórios. A pesquisa propôs a modernização do sistema de abastecimento de água, incluindo a instalação de novas bombas submersas com maior potência e a construção de novos reservatórios, aumentando a capacidade de armazenamento em 40.000 litros. O projecto mostrou-se viável economicamente, com retorno do investimento estimado para o 18º mês de operação, e uma eficiência de 20% na redução de custos operacionais. Com a modernização do sistema, espera-se um fornecimento contínuo de água, especialmente durante os picos de demanda, melhorando significativamente a qualidade de vida dos moradores. A infra-estrutura actual será ampliada para atender o aumento populacional previsto para os próximos 10 anos. A pesquisa conclui que o sistema de abastecimento de água de Ndlavela necessita de modernizações urgentes para suprir a demanda crescente.

**Palavras-chave:** abastecimento de água, crescimento populacional, sistemas de captação, reservatórios, custo benefício.

## **SUBSTRAT**

This research addresses the issue of inadequate access to drinking water, particularly in the Ndlavela neighborhood, Matola Municipality, Mozambique. With population growth, the existing water infrastructure, designed to serve fewer than 7,000 customers, now serves more than 8,000, resulting in frequent supply interruptions, especially during the summer. The overall objective is to improve the water collection and distribution system in the Ndlavela neighborhood. Specifically, it seeks to assess the system's current capacity, appropriately size the infrastructure, and implement sustainable water resource management strategies. The research uses descriptive and exploratory methods, based on a case study and qualitative and quantitative techniques. Questionnaires were administered to residents and interviews were conducted with managers of the company Águas Doce Inducuzana. Technical documents were also analyzed to obtain a diagnosis of the supply system and develop improvement proposals, such as modernizing pumps and increasing reservoir capacity. The research proposed modernizing the water supply system, including the installation of new, more powerful submersible pumps and the construction of new reservoirs, increasing storage capacity by 40,000 liters. The project proved economically viable, with an estimated return on investment within the 18th month of operation and a 20% efficiency reduction in operating costs. With the modernization of the system, a continuous water supply is expected, especially during peak demand, significantly improving the quality of life for residents. The current infrastructure will be expanded to meet the population growth projected for the next 10 years. The study concludes that Ndlavela's water supply system requires urgent modernization to meet the growing demand.

**Keywords:** water supply, population growth, collection systems, reservoirs, cost-benefit

## **CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Introdução**

O município da Matola, com a sua expansão demográfica acelerada, reflecte o desfasamento entre a evolução populacional e a capacidade técnica e operacional dos sistemas de abastecimento. O actual sistema de abastecimento de água da empresa Água Doce Inducuzana em Ndlavela no Quarteirão número 20 (Q. 20) assenta em tecnologias obsoletas e carece de mecanismos automáticos de controlo, o que potencia perdas físicas (fugas) e comerciais (roubo e desperdício). A expansão desordenada da malha urbana não foi acompanhada por investimentos proporcionais na modernização da rede, deixando vastas áreas sem cobertura adequada e penalizando, sobretudo, as residências localizadas em cotas elevadas ou afastadas dos pontos de captação.

O bairro de Ndlavela está enfrentando uma crise de abastecimento de água devido ao aumento significativo da população, que superou a capacidade do sistema existente e este problema é exacerbado durante o verão, quando a procura por água aumenta e muitos residentes ficam dias sem água nas torneiras. Este descompasso entre oferta e procura resulta em interrupções frequentes no fornecimento de água, principalmente nos meses de verão, quando o consumo aumenta devido às altas temperaturas. Além disto, a infra-estrutura obsoleta, composta por tubulações e bombas com capacidade insuficiente, contribui para a baixa eficiência do sistema, a falta de planeamento para o crescimento populacional e a ausência de investimentos na modernização do sistema de abastecimento têm gerado impactos negativos na qualidade de vida dos moradores, comprometendo a saúde pública e o desenvolvimento económico local.

Ndlavela é um destes bairros em franco crescimento no Município da Matola, província de Maputo. Caracteriza-se por ocupações espontâneas de solos, densidade populacional elevada e carências na oferta de serviços básicos. A população depende de redes privadas e informais de abastecimento, que frequentemente operam com baixa pressão, interrupções frequentes e ausência de monitorização, resultando em perdas físicas, fugas e roturas e comerciais, ligações clandestinas e roubo de água (MOPHRH, 2020).



## 1.2 Problemática

O sistema de abastecimento de Ndlavela baseia-se em captações subterrâneas, reservatórios de capacidade limitada e redes de distribuição envelhecidas, sem mecanismos automáticos de deteção de anomalias. Esta arquitetura deficiente provoca:

- Baixa pressão em pontos altos e extremidades da rede, obrigando famílias a recorrer a fontes alternativas, muitas vezes não potáveis;
- Elevado índice de perdas de cãrgass, estimado em até 40 % do volume captado, devido a tubagens degradadas;
- Perdas comerciais, por ligações clandestinas e falta de leitura remota de consumo, dificultando a faturação justa.

O conjunto destes factores não só penaliza a eficiência técnica do sistema, como se traduz em impactos diretos na saúde pública (doenças de veiculação hídrica), na produtividade económica (tempo perdido na captação alternativa de água) e na equidade social (o pobre acaba pagando mais caro por água de qualidade inferior).

E os problemas constatados são:

1. Capacidade inadequada do sistema de abastecimento: o sistema foi projectado para atender menos de 7000 consumidores, mas actualmente serve 8000 consumidores.
2. Sistema de distribuição obsoleto: o fornecimento por gravidade não é eficiente para atender todas as áreas do bairro de maneira uniforme.
3. Interrupções frequentes no fornecimento de água: principalmente durante o verão, a água não é suficiente para atender a todos os residentes, resultando em escassez.
4. Crescimento populacional: a migração de pessoas da cidade capital e áreas circunvizinhas para Ndlavela aumentou a procura por água.

E por se faz a seguinte question de pesquisa:

De que forma pode ser implementado um sistema de captação de água no bairro de Ndlavela Quarteirão número 20 (Q. 20), Município da Matola, que permita mitigar perdas, combater utilizações ilícitas e melhorar a qualidade e a eficiência do serviço?

### **1.3 Objectivos do trabalho**

#### **1.3.1 Objectivo geral**

- Dimensionamento de um sistema de captação e abastecimento de água para o Bairro Ndlavela Q. 20, com foco na redução de perdas e na sustentabilidade operacional.

#### **1.3.2. Objectivos específicos**

- Avaliar a capacidade actual do sistema de abastecimento de água da empresa Água Doce Inducuzana em Ndlavela Q. 20.
- Dimensionar uma solução tecnológica baseada em contadores eléctricos inteligentes e sensores de pressão e caudal, e plataforma de telemetria.
- Propor medidas para mitigar as principais fontes de perdas e ligações clandestinas.
- Avaliar o impacto potencial da solução no desempenho hidráulico e financeiro do sistema, por meio de simulações e modelagem.

### **1.4. Preposições**

- A infra-estrutura actual de abastecimento de água da empresa Água Doce Inducuzana em Ndlavela Q. 20 não é suficiente para atender à procura dos residentes do bairro, necessitando de melhorias significativas.
- A ampliação e modernização do sistema de abastecimento de água melhorará significativamente a disponibilidade de água no bairro.
- O modelo integrado de gestão, suportado por *dashboards* híbridos (técnico-operacional e social), aumentará a transparência e a confiança dos usuários, resultando em melhora de indicadores de satisfação acima de 80 % nas perdas físicas na rede da empresa Água Doce Inducuzana.

### **1.5. Perguntas da investigação**

1. Qual é a capacidade actual do sistema de abastecimento de água da empresa Água Doce Inducuzana?
2. Quais medidas podem ser dimensionadas para melhorar a eficiência do sistema de captação e distribuição de água?
3. Como a implementação de novas tecnologias pode otimizar o fornecimento de água em Ndlavela ?
4. De que forma a plataforma de telemetria e análise de dados pode ser configurada para alertas precoces e relatórios de desempenho?

## **1.6. Justificativa de estudo**

A persistente escassez e a irregularidade no fornecimento de água nas periferias urbanas constituem factores de risco para a saúde pública, afectando práticas de higiene, incidindo em doenças de veiculação hídrica e limitando o potencial produtivo das comunidades (World Bank, 2021). A proposta de um sistema inteligente alinha-se com a Água potável e saneamento para todos (ODS 6), garantindo a deteção precoce de anomalias e promovendo a utilização racional do recurso.

A modernização do sistema actual permitirá uma utilização mais eficiente dos recursos hídricos, reduzindo desperdícios e perdas durante o processo de captação e distribuição. Além disto, o projecto apresenta um potencial de replicação em outras áreas suburbanas de Moçambique que enfrentam desafios semelhantes, podendo servir como um modelo de boas práticas em gestão de recursos hídricos.

Para além de beneficiar directamente os habitantes da Ndlavela, este estudo serve de referência para intervenções semelhantes noutras localidades moçambicanas, contribuindo para a formulação de políticas públicas mais eficazes.

A urgência de soluções inovadoras em zonas periféricas moçambicanas reflete-se nos compromissos internacionais (Agenda 2030) e nacionais (Política Nacional de Água, Lei 16/91). Ndlavela, como microcosmo das periferias urbanas, oferece um laboratório natural para testar tecnologias de Smart Water Management que, até aqui, têm sido pouco exploradas em países em desenvolvimento (GWP, 2018). Este estudo contribuirá para:

- Inovação técnica, ao adaptar e dimensionar sensores e plataformas de telemetria a contextos de recursos limitados;
- Políticas públicas, fornecendo recomendações operacionais e financeiras para a replicação do modelo em outros bairros;

Desta forma, a pesquisa não só beneficiará os moradores do bairro de Ndlavela, mas também contribuirá para a construção de políticas públicas voltadas à melhoria da infra-estrutura de abastecimento de água em regiões com crescimento populacional acelerado.

## **1.7. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho apresenta seis capítulos, que estão divididos da seguinte forma:

**Capítulo I – INTRODUÇÃO** – foi apresentada a contextualização, a importância da escolha do tema, a pergunta de partida, os objectivos gerais e específicos e a hipótese de investigação;

**Capítulo II- REVISÃO DE LITERATURA** – aborda os principais conceitos de sistemas inteligentes, de implantação global e lições aprendidas.

**CAPÍTULO III – CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO:** O capítulo aborda os passos e as etapas seguidas para alcançar os objectivos desenhados.

**Capítulo IV- METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA:** O capítulo aborda os passos e as etapas seguidas para alcançar os objectivos desenhados.

**Capítulo V- ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS** – são apresentados os resultados da pesquisa que consiste em melhorar um sistema de abastecimento de água.

**Capítulo VI- CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO** – serão referidas as principais ilações do trabalho bem como a indicação de sugestões e recomendações para os trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Histórico do abastecimento de água em Moçambique**

Após a independência, Moçambique enfrentou um período de guerra civil que dificultou severamente o desenvolvimento de infra-estruturas essenciais, incluindo o sistema de abastecimento de água. Durante este período, o acesso à água potável era limitado, especialmente nas áreas rurais e suburbanas. As cidades principais, como Maputo e Beira, possuíam algum nível de infra-estrutura, mas esta era inadequada para atender ao rápido crescimento populacional destas áreas (Baptista, 2002).

Com o fim da guerra civil em 1992, o governo moçambicano, com o apoio de doadores internacionais, começou a investir na reconstrução das infra-estruturas de água. Programas como o Plano de Acção para a Redução da Pobreza Absoluta (PARPA) incluíram metas específicas para melhorar o acesso à água potável em todo o país, incluindo as zonas suburbanas (Ministério das Obras Públicas e Habitação, 2006).

Nas últimas décadas, houve um foco crescente na expansão do sistema de abastecimento de água nas zonas suburbanas de Moçambique. Essas áreas, caracterizadas por um rápido crescimento populacional e desenvolvimento desordenado, apresentam desafios específicos para a provisão de serviços públicos, incluindo o abastecimento de água (Davidson et al., 2019). E o desenvolvimento das infra-estruturas de água nestas zonas tem sido impulsionado por vários projectos, incluindo a expansão das redes de distribuição e a construção de novos sistemas de captação e tratamento de água. No entanto, a cobertura ainda é desigual, e muitos bairros suburbanos continuam a depender de fontes alternativas, como poços e rios, que nem sempre são seguros ou confiáveis (Tvedt & Oestigaard, 2014).

Apesar dos avanços, Moçambique ainda enfrenta desafios significativos no abastecimento de água, especialmente nas áreas suburbanas e entre os principais desafios estão a insuficiência de recursos financeiros, a falta de capacidade técnica para manutenção e expansão dos sistemas existentes, e a pressão contínua do crescimento populacional (Smiley, 2020).

Além disto, as mudanças climáticas têm agravado os problemas de acesso à água em Moçambique. A crescente variabilidade climática, incluindo secas mais frequentes e intensas, tem afectado a disponibilidade de recursos hídricos, complicando ainda mais o abastecimento de água nas zonas suburbanas (Pereira, 2017).

### **2.1.1. Desafios enfrentados no abastecimento de água em Moçambique**

- **Infra-estrutura inadequada**

Desde a independência de Moçambique em 1975, a infra-estrutura de abastecimento de água tem sido insuficiente para atender às necessidades da população em crescimento. A guerra civil, que durou de 1977 a 1992, agravou essa situação ao destruir muitas das infra-estruturas existentes e impedir a construção de novas. Mesmo após o fim do conflito, as infra-estruturas de água em muitas áreas, especialmente nas zonas suburbanas e rurais, permaneceram precárias, com sistemas de distribuição limitados e instalações de tratamento insuficientes (Baptista, 2002).

- **Crescimento populacional e urbanização**

O rápido crescimento populacional e a urbanização acelerada em cidades como Maputo e Beira têm exercido uma enorme pressão sobre os sistemas de abastecimento de água. As áreas suburbanas, em particular, têm crescido desordenadamente, muitas vezes sem o planeamento adequado para a expansão dos serviços públicos, incluindo o abastecimento de água. Isto resultou em uma cobertura desigual e em muitos bairros sem acesso confiável a água potável (Davidson et al., 2019).

- **Recursos financeiros limitados**

A falta de recursos financeiros tem sido um desafio constante para o desenvolvimento e manutenção das infra-estruturas de água em Moçambique. Embora o governo tenha recebido ajuda internacional para projectos de água, a dependência de doadores e a gestão inadequada dos fundos disponíveis têm limitado a capacidade de implementar projectos de larga escala de forma sustentável. Isto impacta directamente a expansão e modernização dos sistemas de abastecimento de água, especialmente em áreas menos privilegiadas (Ministério das Obras Públicas e Habitação, 2006).

- **Capacidade técnica e gestão**

A capacidade técnica limitada e a falta de profissionais qualificados para gerenciar e operar os sistemas de abastecimento de água são problemas recorrentes em Moçambique. A manutenção inadequada das infra-estruturas existentes, combinada com a falta de treinamento especializado, resulta em sistemas ineficientes e frequentemente fora de operação. Além disto, a gestão do sector de água tem enfrentado desafios relacionados à governança e à corrupção, o que compromete a eficácia dos projectos de abastecimento (Smiley, 2020).

- **Mudanças climáticas**

As mudanças climáticas têm exacerbado os problemas de abastecimento de água em Moçambique. A maior variabilidade das chuvas, com secas mais frequentes e intensas, tem afectado a disponibilidade de recursos hídricos, especialmente em áreas dependentes de fontes de água superficiais e subterrâneas. Isto não só agrava a escassez de água, mas também complica o planeamento e a gestão dos recursos hídricos, dificultando a garantia de um abastecimento de água estável e previsível (Pereira, 2017).

- **Desigualdades regionais**

Há uma significativa desigualdade no acesso à água entre as áreas urbanas, suburbanas e rurais. As zonas rurais e suburbanas, em particular, têm historicamente recebido menos investimentos em infra-estruturas de água, resultando em uma maior dependência de fontes alternativas de água, como poços e rios, que nem sempre são seguros ou confiáveis. Essas desigualdades são reforçadas por políticas de desenvolvimento urbano que frequentemente priorizam as áreas centrais das cidades (Tvedt & Oestigaard, 2014).

### **2.1.2. Iniciativas anteriores para a melhoria do sistema de abastecimento de água**

Ao longo das últimas décadas, várias iniciativas foram implementadas para melhorar o sistema de abastecimento de água em Moçambique, com ênfase especial nas áreas urbanas e suburbanas, estas iniciativas envolveram esforços do Governo Moçambicano, apoio de organizações internacionais e parcerias público-privadas.

- **Programa Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento Rural**

Uma das principais iniciativas foi o Programa Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento Rural (PRONASAR), lançado em 2010, que visava melhorar o acesso à água potável em áreas rurais e suburbanas. O programa, financiado por doadores internacionais como o Banco Mundial e a Agência Sueca de Cooperação para o Desenvolvimento Internacional (SIDA), concentrou-se na construção de novas infra-estruturas, incluindo poços e sistemas de captação de água, e na capacitação das comunidades para a gestão sustentável desses recursos (World Bank, 2017).

- **Plano Estratégico de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**

Outro esforço significativo foi o Plano Estratégico de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (PEDRH), lançado em 2007. Este plano tinha como objectivo melhorar a gestão integrada dos recursos hídricos do país, garantindo a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento de água.

Entre as acções propostas estavam a modernização das infra-estruturas de captação e distribuição de água, a redução das perdas de água, e o fortalecimento institucional das entidades responsáveis pelo sector (Ministério das Obras Públicas e Habitação, 2007).

- **Reabilitação de Sistemas de Abastecimento de Água em Áreas Urbanas**

Nas áreas urbanas, especialmente em Maputo e Beira, foram realizadas várias iniciativas de reabilitação e expansão dos sistemas de abastecimento de água. A Águas da Região de Maputo, uma parceria público-privada estabelecida em 1999, foi uma dessas iniciativas que buscou melhorar o fornecimento de água através de investimentos em infra-estrutura e melhorias na gestão dos sistemas de distribuição. Essa parceria permitiu a expansão da rede de abastecimento e a melhoria da eficiência no fornecimento de água aos bairros periféricos da capital (Davidson et al., 2019).

- **Parcerias com Organização Não Governamentais e Organizações Internacionais**

Diversas Organizações Não Governamentais (ONGs) e organizações internacionais também desempenharam um papel crucial na melhoria do abastecimento de água. Programas como o *WaterAid* e a UNICEF colaboraram com o governo moçambicano em projectos focados em aumentar o acesso à água potável em comunidades carentes. Esses programas incluíram a construção de poços, a instalação de sistemas de filtragem e a promoção de práticas de higiene e saneamento, com um foco especial nas escolas e centros de saúde (WaterAid, 2015).

- **Iniciativas de gestão participativa de recursos hídricos**

Nos últimos anos, houve um crescente foco na gestão participativa dos recursos hídricos, envolvendo as comunidades locais na gestão dos sistemas de abastecimento de água, buscando capacitar as comunidades para que elas possam gerir os recursos hídricos de forma sustentável, garantindo a manutenção e operação dos sistemas de abastecimento de água (Smiley, 2020).

Estas iniciativas mostram um esforço contínuo para enfrentar os desafios do abastecimento de água em Moçambique. No entanto, apesar dos progressos alcançados, ainda há muito a ser feito para garantir o acesso universal e sustentável à água potável em todo o país.

## **2.2. Sistemas de captação e distribuição de água**

Os sistemas de captação e distribuição de água podem ser classificados em dois tipos principais: sistemas de captação de água superficial e sistemas de captação de água subterrânea



e cada um destes sistemas possui características específicas, tecnologias distintas e requer infra-estruturas adequadas para garantir a eficiência na distribuição da água.

### 2.2.1. Sistemas de captação de água superficial

As captações superficiais podem ser a fio de água, utilizando instalações de posicionamento de bombadores do tipo flutuante, construções directas no leito do corpo hídrico ou derivações para poço de elevatória em área próxima ao corpo hídrico.

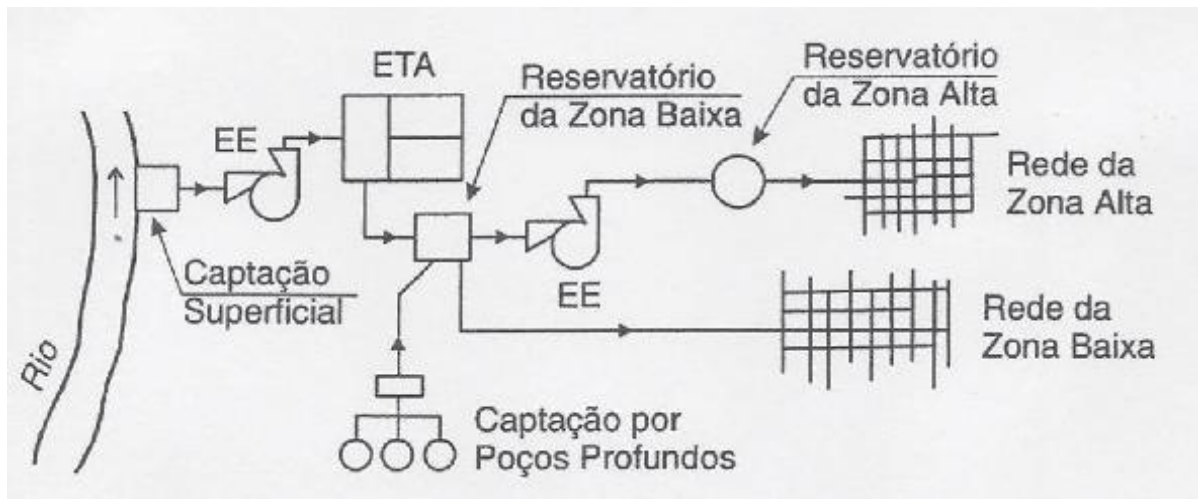


Figura 1: Sistemas de captação de água superficial (Fonte: World Bank, 2017).

#### Características

- Fonte de água: a água é captada de corpos de água superficiais, como rios, lagos, represas e barragens.
- Quantidade de água: geralmente, esses sistemas podem captar grandes volumes de água, dependendo da disponibilidade dos corpos de água.
- Qualidade da água: a qualidade da água superficial pode ser influenciada por factores ambientais como a poluição industrial, escoamento agrícola e descarte de esgoto.

#### Tecnologia e infra-estrutura utilizada

- Captação: utilizam-se estruturas como tomadas de água, barragens ou represas para armazenar e direccionar a água.
- Tratamento: a água captada passa por estações de tratamento onde são removidos sedimentos, impurezas e patogénicos, por meio de processos como floculação, sedimentação, filtração e desinfecção.

- Distribuição: após o tratamento, a água é bombeada para sistemas de distribuição, que envolvem tubulações, reservatórios e estações elevatórias para transportar a água até os consumidores.

### Vantagens

- Capacidade de aprovisionar maior volume de água adequado para imensa população.
- Facilidade de captação em áreas onde os corpos de água são abundantes.

### Desvantagens

- A qualidade da água pode ser comprometida por poluentes e mudanças sazonais.
- Dependência de condições climáticas e que podem afectar a disponibilidade da água.

#### 2.2.2. Sistemas de captação de água subterrânea

A captação de água subterrânea se dá mediante a construção de poços tubulares, tais como: poço artesiano, raso ou tubular profundo, são designações comumente utilizadas para se referir a este modelo de abastecimento que se servir-se das águas existentes em regiões do subsolo, nos aquíferos.

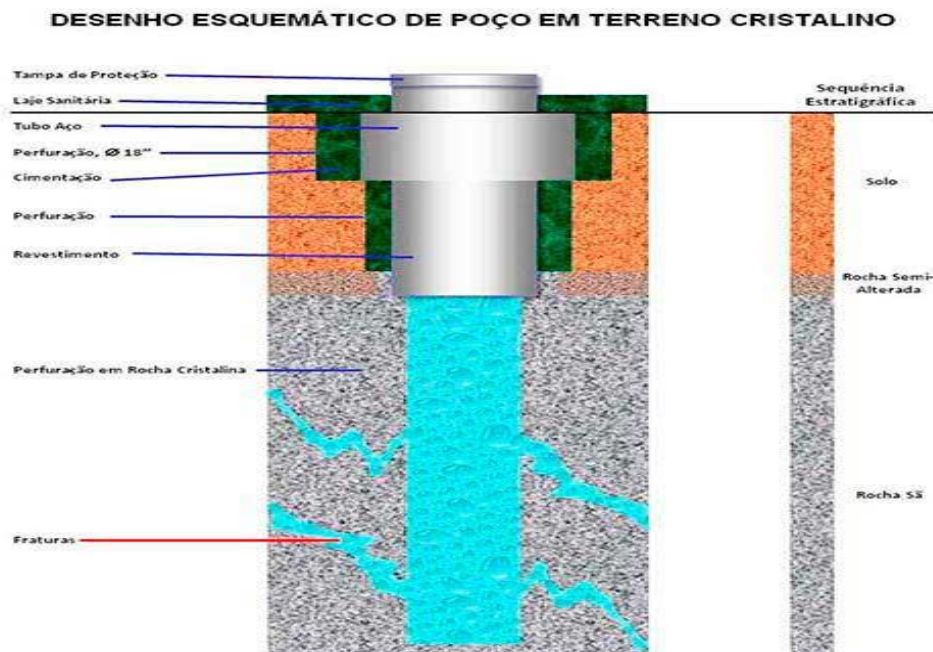


Figura 2: Sistemas de captação de água subterrânea (Fonte: World Bank, 2017).

### **Características**

- Fonte de água: a água é captada de aquíferos subterrâneos por meio de poços artesianos, semi-artesianos ou de superfície.
- Quantidade de água: a quantidade de água disponível depende da capacidade do aquífero, que pode variar conforme a recarga natural do sistema.
- Qualidade da água: a água subterrânea tende a ter uma qualidade mais consistente e geralmente é menos susceptível à poluição, devido à filtração natural do solo.

### **Tecnologia e infra-estrutura utilizada**

- Captação: utilizam-se poços perfurados que podem ser artesianos (onde a pressão natural do aquífero permite a ascensão da água) ou semi-artesianos (onde bombas são necessárias para extrair a água).
- Tratamento: dependendo da qualidade da água, pode ser necessário um tratamento mínimo, como desinfecção para remover microorganismos ou tratamento específico para remover substâncias como ferro e manganês.
- Distribuição: a água captada é distribuída directamente aos consumidores através de sistemas de bombeamento e redes de distribuição.

### **Vantagens**

- Qualidade de água geralmente mais alta e estável.
- Menor vulnerabilidade à poluição externa e às variações sazonais.
- Pode ser uma solução viável em áreas onde corpos de água superficiais são escassos.

### **Desvantagens**

- Custo elevado de perfuração e manutenção de poços.
- Risco de sobre-exploração dos aquíferos, que pode levar à diminuição dos níveis de água subterrânea.
- Em algumas regiões, a recarga dos aquíferos é lenta, o que pode comprometer a sustentabilidade do sistema a longo prazo.

### **2.2.3. Comparação entre sistemas antigos e modernos de captação de água**

#### **Sistemas Antigos**

- **Tecnologia:** tradicionalmente, os sistemas de captação de água utilizavam técnicas simples, como canais de irrigação e aquedutos, para direccionar a água de fontes naturais para as comunidades.
- **Infra-estrutura:** estruturas de captação eram rudimentares, muitas vezes feitas de pedra ou materiais naturais, com sistemas de distribuição baseados em gravidade.
- **Eficiência:** a eficiência era limitada, com grandes perdas de água devido à evaporação, infiltração e vazamentos.
- **Controlo de qualidade:** havia pouco ou nenhum tratamento da água, resultando em riscos significativos para a saúde pública.

#### **Sistemas Modernos**

- **Tecnologia:** hoje, os sistemas utilizam tecnologia avançada, como sensores automáticos para monitorar a qualidade da água, bombas de alta eficiência, e sistemas de tratamento sofisticados que garantem água potável e segura.
- **Infra-estrutura:** utilizam materiais como aço inoxidável e PVC, que são duráveis e menos susceptíveis a corrosão e vazamentos e, as redes de distribuição são projectadas com base em análises hidráulicas para otimizar o fluxo e minimizar perdas.
- **Eficiência:** a eficiência melhorou significativamente, com sistemas que minimizam perdas e utilizam energia de forma mais eficaz. A automatização permite uma operação contínua e monitoramento em tempo real.
- **Controlo de qualidade:** sistemas modernos incluem processos rigorosos de tratamento e monitoramento contínuo da qualidade da água, garantindo que a água entregue aos consumidores atenda aos padrões de segurança.

A escolha entre sistemas de captação de água superficial ou subterrânea, bem como entre tecnologias antigas e modernas, depende de vários factores, incluindo a disponibilidade de recursos hídricos, a demanda da população, e as condições económicas e geográficas da região. Sistemas modernos oferecem vantagens significativas em termos de eficiência e segurança, mas também vêm com desafios financeiros e técnicos que devem ser cuidadosamente geridos.

### 2.3. Partes de um sistema de abastecimento de água

Entende-se como sistema de abastecimento de água o conjunto de equipamentos, obras e serviços, destinados a fornecer água potável às unidades consumidoras, com qualidade e quantidade adequadas, atendendo aos requisitos necessários para o fornecimento a que se destina. Para que seja compreendido todo o processo, desde a captação da água passando pelo tratamento, até chegar ao ponto de entrega, o sistema deve ser dividido em etapas. De um modo geral, um sistema de abastecimento de água é composto, basicamente, pelas seguintes unidades, conforme ilustra a figura 3.

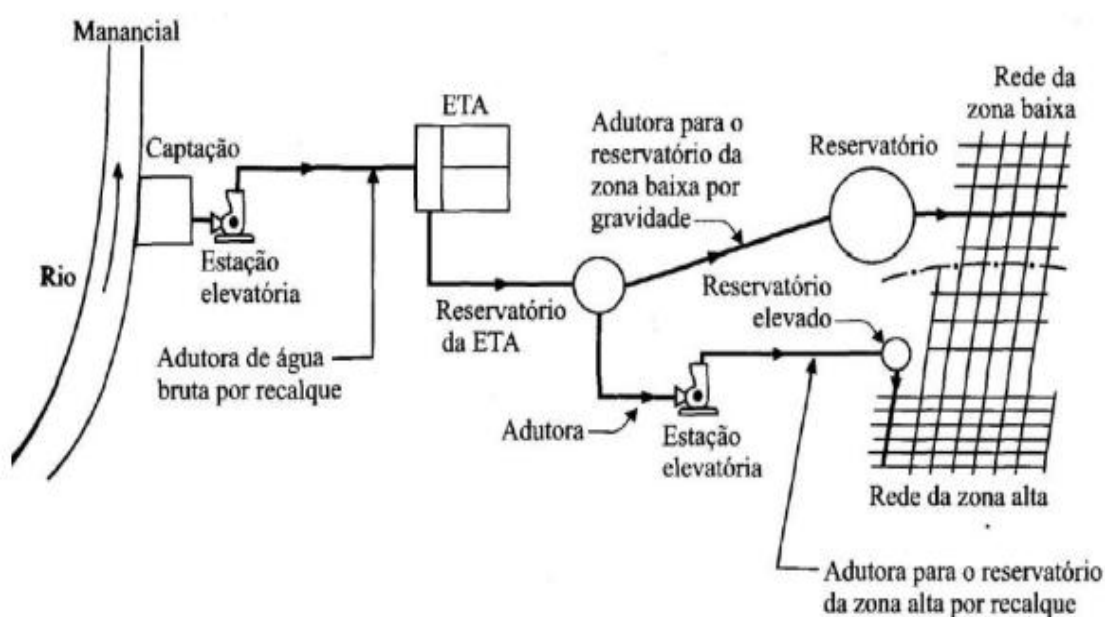


Figura 3: Unidade de sistema de abastecimento de água (fonte: Tsutiya)

#### 2.3.1 Manancial

É o corpo de água superficial ou subterrâneo que oferece todas as condições satisfatórias para a retirada e para o fornecimento de água do ponto de vista sanitário e económico, devendo oferecer vazão suficiente para atender a procura de projecto, mesmo nos períodos de estiagem. Quanto à sua classificação, os mananciais se dividem em dois principais grupos: o subterrâneo, que se entende como todo aquele cuja água provenha do subsolo, através de galerias, fontes, poços, etc.; e o superficial, disponível em córregos, lagos, rios, represas, etc. Ao seleccionar o manancial, deve-se realizar todo um levantamento, analisando os possíveis mananciais da região, que sozinhos ou agrupados apresentem condições satisfatórias para atender a procura máxima, observando-se o horizonte de projecto.

### **2.3.2 Captação**

A captação é o conjunto de obras, equipamentos e acessórios instalados junto ao manancial com a finalidade de abastecer o sistema, para a elaboração do projecto de captação de águas superficiais, deve-se realizar uma análise das condições locais do manancial, levando-se em consideração os métodos construtivos necessários para a instalação dos equipamentos que irão compor o sistema, inclusive os custos com desapropriações e a disponibilidade de energia eléctrica para alimentar as bombas da estação elevatória. Em sistemas de captação de águas superficiais, é comum a construção de barragens para regularizar a vazão do sistema. Por tanto, faz-se necessário o estudo hidrológico da bacia, e, assim, conhecer a variação do nível de água do manancial.

### **2.3.3 Adução**

A adução é a canalização responsável pelo transporte de água entre as várias etapas do sistema e conduzem a água para as unidades que precedem a rede de distribuição. Este transporte ocorre por meio de bombeamento ou por gravidade, dependendo da concepção adoptada, levando-se em conta a topografia do terreno. As adutoras se classificam quanto à natureza da água transportada, que pode ser denominada de água bruta e água tratada, ou em função da energia utilizada para realizar o transporte da água, denominada de adutora por gravidade, recalque ou mista. O dimensionamento das adutoras depende da vazão de projecto, que varia em função de factores como a população, o consumo per capita e posição no sistema de abastecimento de água.

### **2.3.4 Estação elevatória**

Estação elevatória é formada pelo conjunto de bombas, tubulações e acessórios, montado com a finalidade de fornecer energia a um líquido e transportá-lo de uma cota inferior para uma cota superior e é composta por três partes: a sucção, que é formada pela tubulação e acessórios que ligam a bomba ao líquido, o conjunto elevatório composto pelas bombas e seus respectivos motores que normalmente são movidos à electricidade e a tubulação de recalque destinada a conduzir o líquido até o ponto a que se destina. Quanto ao conjunto motor bomba, quando o nível da lâmina de água a ser recalçada estiver acima do eixo da bomba, diz-se que a instalação é com rotor afogado, quando o nível da lâmina de água está abaixo, nesse caso é rotor não afogado. Nas instalações com rotor não afogado, muito cuidado deve-se ter para evitar o efeito da cavitação, que consiste no aumento excessivo da pressão no sistema, atingindo a pressão de

vapor do líquido, cujo efeito provoca bolhas de ar que estouram no conjunto, comprometendo seriamente o funcionamento e até mesmo a integridade do equipamento.

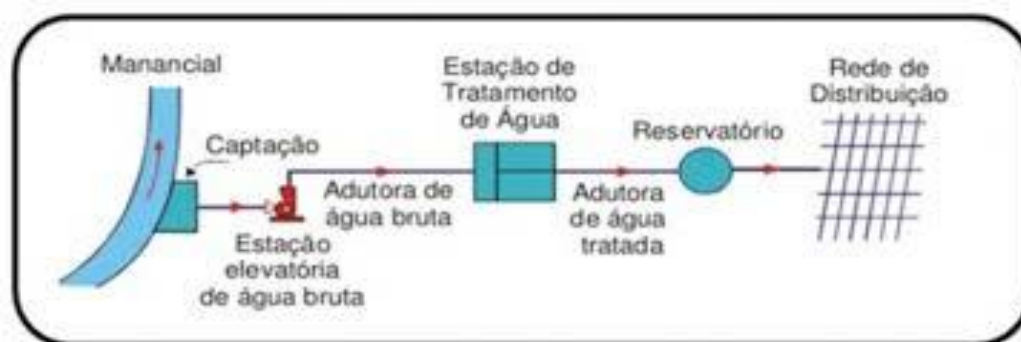


Figura 4: Estação elevatória de água (Fonte: Google Imagens).

#### 2.3.4. Estação de tratamentos de águas

As águas dos mananciais quase sempre não atendem os padrões de potabilidade para o consumo humano do ponto de vista físico-químico e microbiológico, necessitando de tratamento para adequá-las aos padrões exigidos e este tratamento é realizado em estruturas chamadas Estações de Tratamento de Água (ETA), a água passa por diversas etapas, tornando a potável e a quantidade de etapas subordina da qualidade da água bruta.

Nem sempre são necessárias todas essas etapas, pois vai depender da qualidade da água do manancial e dos riscos de contaminação do mesmo. Em geral, as águas dos mananciais superficiais são mais vulneráveis e nos mananciais subterrâneos, por sua vez, as camadas do solo já servem como filtros para reter boa parte das impurezas, por esta razão não necessita de todas essas etapas, bastando na maioria das vezes, adicionar uma quantidade adequada de cloro, no seu armazenamento, para garantir a sua potabilidade.

#### 2.3.5 Reservatório de água

Dentro de um sistema de abastecimento de água, o reservatório tem como principal objectivo armazenar água nas etapas posteriores ao reservatório, pelo tempo mínimo possível, em casos de eventuais manutenções nas etapas a montante, assim como regular a pressão nas etapas a jusante. Precisa também manter o fornecimento de água nos horários de maior consumo, garantindo o abastecimento no sistema, em que se faça necessário o desligamento das bombas de recalque no horário de ponta.

Os reservatórios devem ser instalados, aproveitando-se a topografia do terreno de maneira que possa cumprir as exigências mínimas de depressão e vazão na rede e podem ser construídos elevados, enterrados, apoiados no terreno, a montante ou a jusante da rede.



Figura 5: Reservatórios de Água Doce Inducuzana.

#### **2.3.6. Rede de distribuição**

As redes de distribuição podem ser compreendidas como: a parte do sistema de abastecimento formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas. As condutas de uma rede de distribuição classificam-se como principais e secundários.

Os condutos secundários são responsáveis por abastecer os consumidores; e os principais, que possuem diâmetros maiores, são responsáveis pela alimentação e distribuição da rede. De acordo com a disposição dos condutos principais e o sentido do escoamento nas tubulações secundárias, as redes são classificadas como rede ramificada e rede malhada.

A principal diferença entre as redes ramificadas e malhadas é que as redes ramificadas admitem somente um sentido para o fluxo de água, sendo ideal para atender pequenos empreendimentos, devido a sua baixa complexidade para dimensionamento. Porém, apresenta um sério inconveniente, pois, em caso de manutenção no sistema, dependendo do ponto, faz-se necessária a interrupção do fornecimento de água a jusante, o que não ocorre com a rede malhada devido seu traçado em forma de anéis, a interrupção em ponto dificilmente interfere nos demais para pressão dinâmica mínima.



## 2.4. Elementos de uma estação elevatória de água

A estação elevatória de água é constituída por seguintes elementos identificados na figura abaixo:

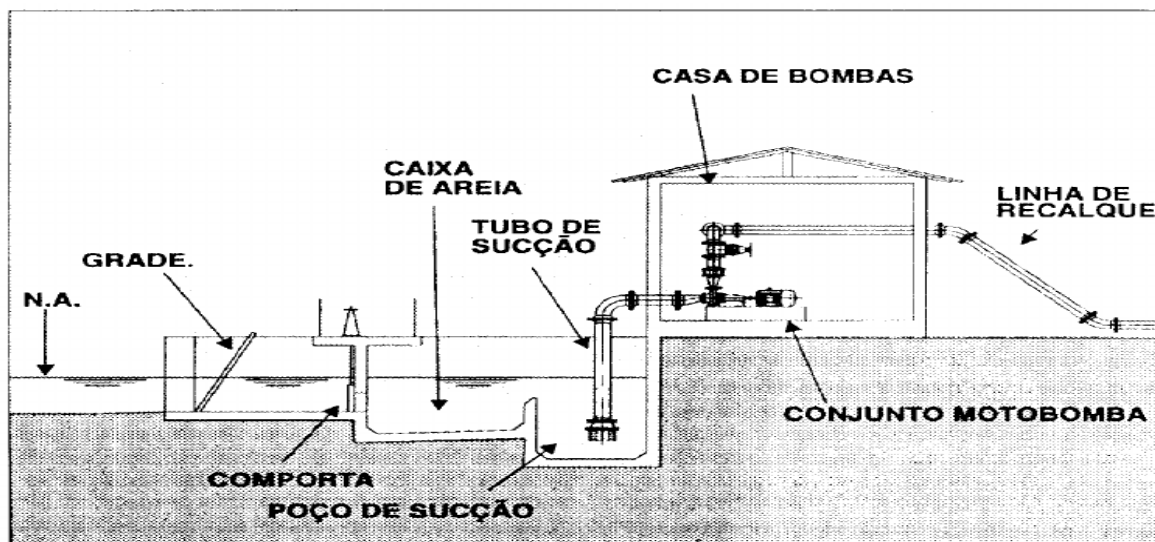


Figura 6: Elementos de uma estação elevatória de água (Fonte: Google Imagens).

### 2.4.1. Bomba

Bombas são dispositivos que cedem parte da energia de uma fonte motora a um fluido, a fim de transportá-lo de um ponto a outro e esta energia pode ser fornecida através do aumento de pressão. As fontes podem ser eixos, hastes ou até outros fluidos. Abaixo mostra-se tipos de bombas, as principais funções e características delas.

#### Bombas dinâmicas

Bombas dinâmicas são aquelas que a movimentação do fluido é dada por forças desenvolvidas em sua própria massa. Existem quatro tipos: regenerativas, fluxo axial, fluxo misto e centrífugas, onde a última é a mais utilizada. Seu princípio se dá pelo aumento de energia cinética do fluido no propulsor, que posteriormente é convertida, em sua maior parte, em energia de pressão. Segue abaixo a apresentação de cada uma e o quadro comparativo.

Tabela 1: Características das bombas dinâmicas (fonte: Silva)

| Bombas Dinâmicas |                            |                                                                     |
|------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Tipo             | Características            | Aplicação                                                           |
| Fluxo misto      | Pressão e vazão moderados  | Abastecimento de reservatórios, circuito de água gelada e irrigação |
| Fluxo axial      | Alta vazão e baixa pressão | Irrigação                                                           |
| Regenerativa     | Alta vazão e baixa pressão | Água limpa, sem sólidos, abastecimento de pequenos reservatórios    |

|             |                       |                                                                                       |
|-------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Centrifugas | Pressão e vazão altas | Indústrias, sistemas de refrigeração de grande porte, navios e grandes reservatórios. |
|-------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|

## Bombas volumétricas

Bombas volumétricas, ou de deslocamento positivo, são aquelas na qual a energia transferida ao fluido já se encontra sob forma de pressão e é dada directamente pela movimentação de um componente mecânico da bomba, que obriga o líquido a exercer o mesmo movimento ao qual ele está animado. Existem dois tipos principais: rotativas e alternativas. Segue abaixo a representação de cada uma e o quadro comparativo:

Tabela 2: Características das bombas volumétricas (fonte: Silva)

| Bombas Volumétricas |                           |                                                                                                                                          |
|---------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo                | Características           | Aplicações                                                                                                                               |
| Rotativa            | Alta pressão, baixa vazão | Apresentam uma grande gama de utilização além do bombeamento convencional, como comandos e lubrificação.                                 |
| Alternativa         | Alta pressão, baixa vazão | Apresentam uma grande gama de utilização além do bombeamento convencional, como prensas, alimentação de caldeiras e controle de pressão. |

## Comparação das bombas dinâmicas das volumétricas

Fisicamente a principal diferença entre as bombas dinâmicas e as volumétricas se dá devido ao tipo de energia transmitida ao fluido, na primeira trata-se da cinética que posteriormente é convertida em energia de pressão, já na segunda a energia fornecida já está sob a forma de pressão. Além disto, existem outras diferenças como:

- As bombas volumétricas podem partir com a presença de ar, nas dinâmicas a partida só pode ocorrer com a mesma preenchida pelo fluido a ser bombeado.
- As bombas dinâmicas possuem maiores vazões, menores pressões e maior confiabilidade comparadas às bombas volumétricas.

Vale salientar uma característica das bombas rotativas e dinâmicas em relação às bombas alternativas, as primeiras possuem bombeamento com vazão constante, já a segunda apresenta variações na vazão de bombeamento.

### 2.4.2. Válvula Solenoide

Válvulas solenoides são usadas quando se deseja controlar o fluxo de fluidos, isto porque elas bloqueiam ou permitem a passagem dos mesmos. Esta é a funcionalidade desejada nesse projecto e a válvula a usar no sistema está mostrada na figura 7.

#### Especificações da válvula solenoide 2w250-25

As principais especificações são: [Catalogo]

- ❖ Modelo: 2w250- 25
- ❖ Meio de funcionamento: Ar, de água, combustível, gás
- ❖ Padrão de movimento: de accionamento directo
- ❖ Tipo: Normalmente fechado
- ❖ Abertura de taxa de fluxo (mm): 25
- ❖ Junta da tubulação de diâmetro: 1"
- ❖ Pressão de trabalho: ar, água, aceite: 0~0.8mpa
- ❖ Pressão máxima: 1.0 mpa
- ❖ Temperatura de Trabalho: - 5~80 centígrado
- ❖ Faixa de tensão: 10%
- ❖ Tensão: Vac 220 (24vdc/12vdc)



Figura 7: Válvula solenoide a usar caso não se queira a bomba de combustível (Fonte: Ford 2015).

### 2.4.3. Relé

Os relés são dispositivos eletromecânicos capazes de controlar circuitos de grandes correntes a partir de pequenas correntes ou tensões. A figura abaixo mostra uma imagem real deste dispositivo. O seu funcionamento está associado a circulação ou não da corrente pela bobina. Em circulação, esta cria um campo magnético que atrai o contacto fechando circuito ou abrindo o circuito, e ao cessar o campo magnético o contacto volta a sua posição original.

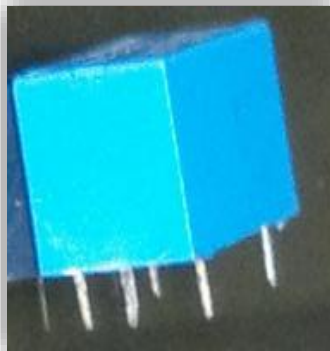


Figura 8: Relé a ser usado no projecto. (Fonte: Google Imagens)

#### 2.4.4. Sensor de fluxo

Sensores de fluxo ou fluxostatos, são dispositivos capazes de mensurar o fluxo de líquidos, ar ou gases dentro de tubulações. Estes componentes variam por tamanho, modelo, método de aferição, dentre outras características.



Figura 9: YF-S403 (Fonte: Google Imagens)

Constituído por uma estrutura de plástico, um rotor formado por pás com um ímã acoplado e um sensor de efeito Hall conectado paralelamente, o YF-S403 é um dispositivo capaz de mensurar o fluxo de fluido que passa por ele. A medida que as hélices vão girando com a entrada do fluxo, seja água ou ar, por exemplo, o sensor vai detectando a quantidade de

giros, através do ímã existente nas pás. Os pulsos computados são enviados para o microcontrolador e é feito o cálculo da quantidade de fluido que passa pelo sensor em cada giro do rotor.

Desenvolvido para actuar com microcontroladores, o modelo YF-S403 possui tensão de funcionamento de 5 a 24VDC, vazão de água de 1 a 60 L/min, temperatura de operação menor ou igual a 80 °C, pressão de água menor ou igual a 1.75MPa, diâmetro de 26mm (3/4") de entrada e saída (YF-S403. . . , ).

De acordo com o fabricante, a vazão do YF-S403 é dada pela relação da quantidade de pulsos enviada pelo sensor dividida pela constante 4,5. Esta expressão foi obtida através de calibração e fornecida na base de dados do componente, com margem de erro de 3% (Ford 2015).

## **CAPÍTULO 3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO**

### **3.1 Localização Geográfica**

O bairro de Ndlavela situa-se na periferia norte do município da Matola, província de Maputo, Sul de Moçambique. Coordenadas aproximadas: 25°50'S, 32°35'E. Estende-se por terrenos predominantemente planos, com pequenas elevações naturais, e encontra-se a cerca de 10 km do centro da Matola e a 15 km de Maputo cidade. O acesso faz-se por vias de terra batida e estradas secundárias, parte das quais sujeitas a alagamentos durante a estação chuvosa (INE, 2017).

### **3.2 Caracterização Sócio-económica**

A população residente em Ndlavela concretamente no Q.20 é estimada em cerca de 8 000 habitantes,. Predominam famílias de baixos e médios rendimentos, cujos rendimentos mensais variam entre 5 000 Mts e 20 000 Mts, provenientes de actividades informais (comércio de bens alimentares, transporte em chapa, construção civil) e agricultura de subsistência (hortas familiares) (INE, 2017; Lopes, 2019).

Educação e Saúde: Apenas duas escolas primárias e um centro de saúde rudimentar cobrem toda a área, resultando em sobrecarga e qualidade variável de serviços.

Infra-estruturas Básicas: Rede eléctrica irregular, saneamento deficiente (latrinas a céu aberto) e vias interiores sem pavimentação, comprometendo o escoamento de água pluvial e aumentando riscos sanitários.

### **3.3 Infra-estrutura de Abastecimento de Água**

O sistema actual combina captações de furos comunitários e um reservatório centralizado de 500 m<sup>3</sup>, gerido por um operador privado local sob concessão municipal. A partir deste reservatório, a água é bombeada por gravidade através de tubagens de PVC de diâmetros variáveis (Ø 50 mm a Ø 150 mm).

- Captação: Três furos perfurados, com profundidades entre 30 m e 45 m, fornecem água subterrânea de qualidade variável, sem tratamento complementar.
- Reservação: Um único reservatório elevado (torre) e dois tanques de piso, ambos sem sensores de nível.

- **Distribuição:** Rede com mais de 10 km de extensão, 60% datada dos anos 1990, caracterizada por juntas defectadas e posicionamento ineficiente de válvulas de seccionamento.
- **Operação:** Leituras de consumo realizadas manualmente quinzenalmente; corte de abastecimento em caso de inadimplência, sem aviso prévio nem sistema de alerta à comunidade (MOPHRH, 2020).

### **3.4 Problemas Identificados**

1. **Baixa pressão e intermitência:** Casas em cotas mais altas e nas extremidades sofrem cortes até 48 h consecutivas, obrigando ao uso de baldes e fontes não potáveis.
2. **Perdas físicas elevadas:** Estimadas em 35–40% do volume captado, devido a tubagens envelhecidas e juntas mal seladas (Silva, 2021).
3. **Perdas comerciais:** Aproximadamente 20% da água fornecida não é faturada, em consequência de ligações clandestinas e leitura manual pouco fiável (Oliveira, 2020).
4. **Falta de monitorização:** Ausência de sensores de pressão, caudal ou nível, o que impede a deteção precoce de anomalias.
5. **Governança deficiente:** Falta de quadro regulamentar interno, comunicação limitada entre operador e comunidade, e inexistência de procedimentos de manutenção preventiva.

### **3.5 Justificativa da Intervenção em Ndlavela**

A precariedade do abastecimento em Ndlavela traduz-se num risco contínuo à saúde pública, reforçando a exposição a doenças transmitidas por água contaminada (diarreias, cólera) e impondo custos sociais elevados (tempo despendido na captação alternativa) (World Bank, 2021).

A implantação de um sistema inteligente de captação e distribuição permitirá:

- Monitorização em tempo real, viabilizando a deteção imediata de fugas e variações de pressão;
- Leitura remota de consumo, assegurando faturação justa e redução de perdas comerciais;
- Gestão proativa, com alertas automatizados e manutenção preditiva, prolongando a vida útil das infraestruturas;

- Engajamento comunitário, através de dashboards de transparência e programas de sensibilização sobre uso racional da água.

Esta intervenção não só melhorará as condições locais em Ndlavela, mas servirá de modelo para outras zonas periurbanas moçambicanas que enfrentam desafios semelhantes, contribuindo para o alcance do ODS 6 e para a formulação de políticas de saneamento mais eficazes.

### **3.6 Infra-estrutura de Distribuição**

- Reservatórios e Bombeamento:
  - Um reservatório elevado de 10 m<sup>3</sup>, instalado em 2010, sem sensores de nível ou válvulas de segurança automatizadas.
  - Dois tanques de piso de 10 m<sup>3</sup> cada, localizados em áreas centrais do bairro, sem sistemas de cloração automática.
- Rede de Tubulações:
  - Comprimento total aproximado de 12 km, composto por tubos de PVC (Ø 75 mm a Ø 150 mm), 65 % instalados antes de 2000.
  - Estado geral: fissuras nas juntas, corrosão localizada em troços enterrados em solo ácido, perda de camada protetora interna.
- Elementos Complementares:
  - 10 válvulas de seccionamento manuais, sem etiquetas ou mapas de localização;
  - 15 pontos de hidrantes comunitários, muitos deles fora de funcionamento;
  - Leituras de consumo efetuadas manualmente, quinzenalmente, por estafetas locais, com atraso médio de 7 dias.

### **3.7. Desempenho Operacional Actual**

- Pressão no Sistema: Medições de campo registaram variações entre 5 mCA (metros de coluna de água) em horas de pico e 40 mCA em períodos de menor consumo, resultando em zonas de baixa pressão em cotas superiores a 45 m.



- Intermitência: Ciclos de fornecimento de água acontecem em média 3 vezes por semana, com duração de 4–6 horas, obrigando famílias a armazenar água em recipientes domésticos.
- Índice de Perdas (NRW – Non-Revenue Water): Estimado em 55 %, repartido em 35 % de perdas físicas (fugas, roturas) e 20 % de perdas comerciais (fraudes, leituras incorretas).

### **3.8. Necessidade e Oportunidade de Intervenção**

O diagnóstico revela que Ndlavela não cumpre os padrões nacionais de serviço (OMS, 2017) nem os indicadores do ODS 6, posicionando-se como área crítica para investimento e inovação. A adopção de um sistema inteligente integrará:

1. Sensores de pressão e caudal em pontos estratégicos, para detetar imediata-mento variações anómalas.
2. Contadores elcétricos inteligentes com leitura remota, eliminando fraudes e atrasos.
3. Plataforma SCADA/IoT acessível a técnicos e comunidade, fornecendo dashboards em tempo real e alertas proativos.
4. Planos de manutenção preditiva, baseados em análise de dados históricos, reduzindo falhas imprevistas.
5. Acções de capacitação e sensibilização, fortalecendo a governação local e o sentido de propriedade do sistema.

Esta intervenção não apenas mitiga os problemas actuais, mas cria um modelo replicável de gestão hídrica inteligente em periferias urbanas de Moçambique, alinhado com as metas de universalização do acesso e de uso eficiente dos recursos.

## **CAPÍTULO. 4 METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA**

### **4.1. Métodos e técnicas**

Este trabalho insere-se num delineamento de pesquisa de natureza aplicada, com enfoque predominantemente misto (quantitativo e qualitativo). Visa desenvolver, implementar e avaliar um modelo técnico-operacional para um sistema inteligente de captação e distribuição de água em Ndlavela, testando hipóteses específicas relativas à redução de perdas e à fiabilidade do serviço.

No desenvolvimento do processo de pesquisa, a técnica utilizada foi a de estudo de caso, que de acordo com Gil (1999), expõem como objectivo a análise profunda e exaustiva de uma, ou poucas questões, visando permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, combinado com pesquisa documental e entrevistas semi-estruturadas. Os instrumentos de colecta de dados serão questionários aplicados aos residentes, entrevistas com os gestores da Águas Dice Inducuzana e análise de documentos técnicos da empresa. As técnicas de análise de dados serão a análise qualitativa e quantitativa, permitirá a compreensão abrangente dos desafios e possíveis soluções. E a metodologia terá as seguintes etapas:

1. Diagnóstico do sistema actual: levantamento de dados sobre a capacidade actual de armazenamento e distribuição.
2. Modelagem hidráulica: uso de software de modelagem para simular diferentes ocorrências de aumento de capacidade e eficiência de distribuição.
3. Propostas de melhoria: desenvolvimento de planos de ampliação de reservatórios, instalação de novas bombas e redes de distribuição.
4. Análise de custo-benefício: avaliação económica das propostas de melhoria para garantir viabilidade financeira.
5. Implementação piloto: teste inicial das melhorias propostas em uma área específica do bairro antes da expansão para toda a região.

Validando o dimensionamento da tubulação, buscou-se um resumo teórico com qualidade e de referências comprovadas em livros, artigos, apostilas e sites especializados da internet.

## **4.2 Abordagem Quantitativa**

### **4.2.1 População e Amostra**

- População-alvo: 8000 habitantes distribuídos em 3 000 habitações em agregados familiares de Ndlavela e os principais pontos de medição e controlo do sistema (furos, reservatórios, bombas, nós de distribuição).
- Amostra de famílias: Seleção probabilística estratificada por sector (norte, centro e sul), com 120 agregados — margem de erro de  $\pm 5\%$ , nível de confiança de 95%.
- Amostra de pontos de rede: Inventariação de 50 pontos críticos (válvulas, junções, troços antigos) para instalação de sensores de pressão e caudal.

### **4.2.2 Instrumentos de Recolha de Dados**

- Leitura de Sensores:
- Pressão (transdutores piezoeléctricos, faixa 0–100 mCA, resolução 0,1 mCA).
- Caudal (medidores ultrassónicos clamp-on, intervalo 0,1–10 L/s).
- Nível de reservatório (sensores de ultrassons, faixa 0–10 m).
- Inquérito Estruturado: Questionário aplicado por entrevistadores treinados, recolhendo dados sobre frequência de abastecimento, volumes estimados de consumo doméstico diário, percepção da qualidade e registo de interrupções.
- Leituras de Consumo: Registo centralizado dos contadores inteligentes, permitindo extração de séries temporais de consumo a cada 15 minutos.

### **4.2.3 Procedimentos de Campo**

1. Mapeamento GPS de toda a rede existente e localização dos agregados familiares seleccionados.
2. Instalação provisória de sensores em bocais de acesso, com alimentação por painel solar e enlace GSM para transmissão de dados.
3. Teste e calibração dos sensores segundo normas ISO 4064 e OIML R49.

### **4.2.4 Tratamento e Análise Estatística**

- Análise Descritiva: Médias, medianas, quartis e desvios-padrão dos indicadores hidráulicos (pressão, caudal, consumo).
- Teste de Hipóteses:
- Comparação de níveis de perda antes e após acção dos sensores (teste t

pareado,  $\alpha = 0,05$ ).

- Correlações entre variações de pressão e número de interrupções registadas (coeficiente de Pearson).

### **4.3 Abordagem Qualitativa**

#### **4.3.1 Entrevistas Semi-estruturadas**

- Participantes: 10 informantes-chave: dois técnicos do operador local, três membros da Comissão Comunitária de Água, dois líderes de bairro, três representantes da Administração Municipal.
- Guia de Entrevista:
  - Perspectivas sobre falhas recorrentes e causas percebidas.
  - Avaliação dos procedimentos de manutenção e comunicação com os utentes.
  - Expectativas face à introdução de tecnologia inteligente.

#### **4.3.2 Grupos Focais**

- Constituição: Três grupos (10 participantes cada): um com moradores séniores (> 60 anos), outro com jovens adultos (18–35 anos) e um terceiro com mulheres líderes comunitárias.
- Objectivo: Explorar barreiras culturais e sociais à adoção de novas tecnologias e aferir níveis de literacia hídrica.

#### **4.3.3 Análise de Conteúdo**

- Transcrição integral das entrevistas e grupos focais.
- Categorização temática (vantagens, receios, sugestões) via codificação aberta, axial e seletiva (Bardin, 2011).
- Confrontação dos resultados qualitativos com os dados quantitativos, para validação cruzada (triangulação).

### **4.4 Desenvolvimento do Sistema Proposto**

#### **4.4.1 Arquitetura Técnica**

1. Camada de Sensores: pressões, caudais e níveis, interligados via LoRaWAN para maior alcance e baixo consumo.
2. Gateways de Comunicação: postos nos reservatórios e no “head-end” da rede,

fazendo ponte entre LoRaWAN e rede GSM/3G.

3. Plataforma SCADA/IoT: software em nuvem, dashboard web e app móvel para visualização e controlo (alertas de falhas, relatórios de consumo, histórico de eventos).

4. Serviços de Back-end: base de dados time-series (InfluxDB ou similar), motor de regras e módulo de relatórios.

#### **4.4.2 Dimensionamento dos Componentes**

- Sensores de Pressão: colocação a cada 500 m em zonas de maior fragilidade hidráulica;
- Sensores de Caudal: nos troços principais de abastecimento e saída de reservatório;
- Gateways: cobertura mínima de 2 km de raio, alimentados por painéis solares de 30 W;
- Contadores Inteligentes: um por agregada selecionado, com bateria autónoma de 5 anos.

#### **4.4.3 Prototipagem e Testes Piloto**

- Implementação piloto num sector representativo (10% da rede e 15 agregados), durante 3 meses.
- Monitorização concomitante de indicadores antes e depois de ativar o sistema.
- Ajustes técnicos (relocalização de sensores, parametrização de alertas) conforme resultados preliminares.

#### **4.5. Limitações do Estudo**

- Possível resistência inicial à adoção de tecnologia por falta de literacia digital.
- Dependência de cobertura GSM/3G para transmissão de dados em tempo real.
- Orçamentos e prazos condicionados à disponibilidade de financiamento e logística local.

## 4.6. Metodologia para o dimensionamento do sistema

### 4.6.1 Cálculo de vazão

Para o cálculo de vazão (consumo de água por dia) foi usada a formula (1) conjugada com a tabela (1), que indica o coeficiente usada para consumo de água por dia, e varia de acordo com o número de população a ser abastecida.

$$Q = K_1 \times K_2 \times \frac{P \times q}{86400} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (1)$$

Tabela 3: Tabela de consumo per capita (fonte: Tsutiya)

| População _nº de habitantes | Per capita - L.hab <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> |
|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| Até 6.000                   | De 100 a 150                                      |
| De 6.000 até 30.000         | De 150 a 200                                      |
| De 30.000 até 100.000       | De 200 a 250                                      |
| Acima de 100.000            | De 250 a 300                                      |

Observação: para a população flutuante, adoptar o consumo de 100 L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>

Onde: Q é a vazão média anual, em L.s<sup>-1</sup>;

P é a população da área abastecida; e

q é o consumo médio diário per capita, em [L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.]

k<sub>1</sub> é o coeficiente do dia de maior consumo (de 1.2 á 2)

k<sub>2</sub> é o coeficiente da hora de maior consumo (de 1.5 á 3 )

Substituindo na fórmula, teremos:

Pode-se também calcular a vazão diária directamente tendo em consideração o coeficiente do dia de maior consumo e o coeficiente da hora de maior consumo.

$$Q = K_2 \times P \times q \quad \text{[m}^3\text{/s]} \quad (2)$$

### 4.6.2 Cálculo do diâmetro económico

Para o cálculo de diâmetro de sucção da bomba, pode-se recorrer a seguinte fórmula:

$$d_{econ.} = K\sqrt{Q} \quad \text{[m]} \quad (3)$$

Onde: Q = vazão média anual, em m<sup>3</sup>

K = Coeficiente que varia com o investimento (valor comum = 1)

Depois de achar o resultado, de acordo com a tabela, escolhe-se um diâmetro normalizado de  $d_s$  diâmetro para sucção e  $d_r$  diâmetro para o recalque.

Tabela 4: Diâmetros normalizados (fonte: Douglas)

*Inside diameter d and wall thickness s in mm and weight of typical commercial steel pipes and their water content in kg/m to ENV 10 220 (formerly DIN ISO 4200). D = outside diameter, s = wall thickness*

| DN  | D     | All dimensions in mm |       |             |       | Seamless pipe weight in kg/m |       | Welded pipe weight in kg/m |       |
|-----|-------|----------------------|-------|-------------|-------|------------------------------|-------|----------------------------|-------|
|     |       | Seamless s *         | d     | Welded s ** | d     | Pipe                         | Water | Pipe                       | Water |
| 15  | 21.3  | 2.0                  | 17.3  | 1.8         | 17.7  | 0.952                        | 0.235 | 0.866                      | 0.246 |
| 20  | 26.9  | 2.0                  | 22.9  | 1.8         | 23.3  | 1.23                         | 0.412 | 1.11                       | 0.426 |
| 25  | 33.7  | 2.3                  | 29.1  | 2.0         | 29.7  | 1.78                         | 0.665 | 1.56                       | 0.692 |
| 32  | 42.4  | 2.6                  | 37.2  | 2.3         | 37.8  | 2.55                         | 1.09  | 2.27                       | 1.12  |
| 40  | 48.3  | 2.6                  | 43.1  | 2.3         | 43.7  | 2.93                         | 1.46  | 2.61                       | 1.50  |
| 50  | 60.3  | 2.9                  | 54.5  | 2.3         | 55.7  | 4.11                         | 2.33  | 3.29                       | 2.44  |
| 65  | 76.1  | 2.9                  | 70.3  | 2.6         | 70.9  | 4.71                         | 3.88  | 5.24                       | 3.95  |
| 80  | 88.9  | 3.2                  | 82.5  | 2.9         | 83.1  | 6.76                         | 5.34  | 6.15                       | 5.42  |
| 100 | 114.3 | 3.6                  | 107.1 | 3.2         | 107.9 | 9.83                         | 9.00  | 8.77                       | 9.14  |
| 125 | 139.7 | 4.0                  | 131.7 | 3.6         | 132.5 | 13.4                         | 13.6  | 12.1                       | 13.8  |
| 150 | 168.3 | 4.5                  | 159.3 | 4.0         | 160.3 | 18.2                         | 19.9  | 16.2                       | 20.2  |
| 200 | 219.1 | 6.3                  | 206.5 | 4.5         | 210.1 | 33.1                         | 33.5  | 23.8                       | 34.7  |
| 250 | 273.0 | 6.3                  | 260.4 | 5.0         | 263.0 | 41.4                         | 53.2  | 33.0                       | 54.3  |
| 300 | 323.9 | 7.1                  | 309.7 | 5.6         | 312.7 | 55.5                         | 75.3  | 44.0                       | 76.8  |
| 350 | 355.6 | 8.0                  | 339.6 | 5.6         | 344.4 | 68.6                         | 90.5  | 48.3                       | 93.1  |
| 400 | 406.4 | 8.8                  | 388.8 | 6.3         | 393.8 | 86.3                         | 118.7 | 62.2                       | 121.7 |
| 500 | 508.0 | 11.0                 | 486.0 | 6.3         | 495.4 | 135                          | 185.4 | 77.9                       | 192.7 |
| 600 | 610.0 | 12.5                 | 585.0 | 6.3         | 597.4 | 184                          | 268.6 | 93.8                       | 280.2 |

\* above nominal diameter DN 32 identical to DIN 2448

\*\* above nominal diameter DN 25 identical to DIN 2458

#### 4.6.3 Cálculo de perdas do sistema

Na parte de sucção, apenas existe uma válvula de pé com crivo, então pode-se calcular a velocidade na conduta de sucção recorrendo à fórmula:

$$U_s = \frac{4Q}{\pi d_s^2} \quad [\text{m/s}] \quad (4)$$

$$\xi_{valv.} = 2.5 \quad ; \quad \Sigma \xi = \xi_{valv.} + 4 \times \xi_{90} \quad (5)$$

$$\Delta h_{loc} = \Sigma \xi \frac{U_s^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (6)$$

$\Delta h_{loc}$  – Perdas secundárias (m)

$\xi$  - Coeficiente de perdas secundárias

$U_s$  – Velocidade na conduta de sucção (m/s)

## Número de Reynolds

$$Re = \frac{U_s d_s}{\nu} \quad (7)$$

Logo a viscosidade dinâmica é dado pela relação:

$$\nu = \frac{U_s d_s}{Re} \quad (7)$$

Depois encontrar o coeficiente de fricção de acordo com ábaco de Moody,  $\frac{\varepsilon}{d_s}$

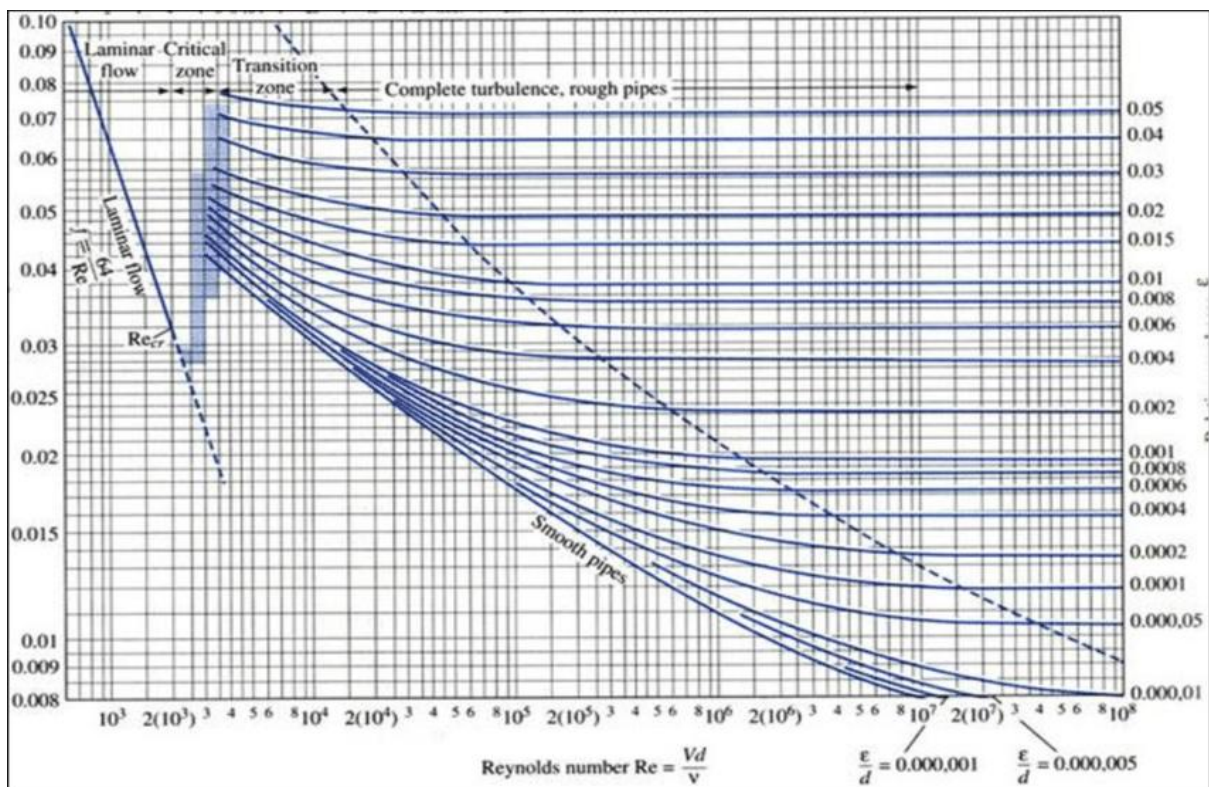


Figura 10: Ábaco de Moody (Fonte: Googleforms )

## Perdas na sucção devido ao atrito

Para a parte de sucção, as perdas por atrito é igual a zero devido o comprimento reduzido do tubo na secção de sucção. E também quando a velocidade é baixa, tubos de grande diâmetro, distâncias curtas e fluxo laminar.

## Cálculo de perdas no recalque

Na parte de sucção, geralmente existe apenas uma válvula de retenção e quatro curvas de 90 graus e terá os valores tabelados:

$$\xi_{90} = 0,4 \text{ , } \xi_{Valv.} = 2.5$$



$$\Sigma\xi = \xi_{valv.} + 4 \times \xi_{90} \quad (8)$$

Pode-se calcular a velocidade na conduta de recalque recorrendo à seguinte fórmula:

$$U_r = \frac{4Q}{\pi d r^2} \quad [\text{m/s}] \quad (9)$$

Substituindo na fórmula tem-se:

$$\Delta h_{rec} = \Sigma\xi \frac{U_s^2}{2g} \quad (10)$$

### Número de Reynolds

$$R_e = \frac{U_r d_r}{\nu} \quad (11)$$

Once  $\mu$  – viscosidade dinâmica (N.s/m<sup>2</sup>)

$\nu$  - viscosidade cinemática (m/s)

$v_r$  – velocidade de recalque

$\mu/\rho=0$

Encontrar o coeficiente de fricção de acordo com ábaco de Moody ,  $\frac{\varepsilon}{d_s}$ ,  $f(\text{Re}; \frac{\varepsilon}{d_i})$

### Perdas na sucção devido ao atrito

$$\Delta h_{fric} = f \frac{L_r U_r^2}{D_r 2g} \quad [\text{m}] \quad (12)$$

Onde:

$f$  – coeficiente de fricção da tubulação

$L_r$  – comprimento do tubo na conduta de recalque (m)

$D_r$  - diâmetro de sucção transversal de conduta de recalque (m)

### Cálculo da perda total

$$\Delta h = \Delta h_{suc} + \Delta h_{rec} \quad (13)$$

sempre deve-se considerar acima de 20% margem de segurança de perda total

### Cálculo de altura manométrica

$$H_m = H_0 + \Delta h \quad [\text{m}] \quad (14)$$

Onde:

$H_0$  – altura geométrica

$\Delta h$  - perdas totais

### 4.6.4 Cálculo da potência de accionamento

Para o cálculo da potência da bomba, pode-se recorrer à seguinte fórmula

$$N_{accionamento} = \gamma Q H \quad (15)$$

## CAPÍTULO 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 Apresentação e análise dos resultados

Para suprir a crise de abastecimento de água no bairro de Ndlavela de maneira eficaz, foi primeiro fundamentar as soluções em princípios científicos de engenharia hídrica, gestão de recursos e sustentabilidade. Abaixo, apresenta-se uma análise detalhada com argumentos científicos para justificar a escolha da solução mais adequada.

#### 5.1.1. Problemas identificados e análise técnica

**Capacidade inadequada do sistema de abastecimento:** o sistema actual foi projectado para atender abaixo de 7000 consumidores, mas hoje 8000. De acordo com os princípios de hidráulica e engenharia de abastecimento de água, sistemas que excedem 80% de sua capacidade de projecto começam a apresentar perda significativa de eficiência, aumentando o risco de falhas e desabastecimento e ocorre devido ao aumento da pressão na rede, desgaste acelerado dos componentes, e sobrecarga nas bombas de distribuição.

Assunção prática de classes

Tipo 01: 1 divisão / moradias pequenas (famílias reduzidas)

Tipo 02: 2 divisões (famílias médias)

Tipo 03:  $\geq 3$  divisões (famílias maiores)(Distribuição assente em observação empírica para áreas periurbanas).

Tabela 5. Dados de base: 3 000 habitações no Quarteirão 20 (fonte: inventário do estudo).

| Tipo    | Percentagem<br>(assumida) | Número de casas (3<br>000 total) | Justificação                                           |
|---------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Tipo 01 | 40%                       | 1 200                            | Habitações mais simples e núcleos jovens/monoparentais |
| Tipo 02 | 33.3%                     | 1 000                            | Famílias nucleares típicas                             |
| Tipo 03 | 26.7%                     | 800                              | Agregados familiares maiores                           |

**Crescimento populacional:** o crescimento populacional impacta directamente a procura de água. A equação de continuidade, fundamental na engenharia de recursos hídricos, mostra que o aumento da procura requer uma reavaliação da capacidade de transporte dos sistemas. Sem calibrar o sistema, a pressão reduzida resulta em desabastecimento nas extremidades da rede de distribuição, causando ineficiência no fornecimento.

**Sistema de distribuição obsoleto:** o sistema de distribuição por gravidade tem limitações na manutenção de pressão adequada ao longo de grandes áreas geográficas e variações topográficas. Segundo a Lei de Darcy-Weisbach, as perdas de carga ( $h_f$ ) ao longo das tubulações são directamente proporcionais ao comprimento e inversamente proporcionais ao diâmetro da tubulação. Portanto, um sistema projectado inicialmente para uma menor procura e com um diâmetro de tubulação subdimensionado não conseguirá atender ao aumento populacional sem intervenções, a imagem abaixo mostra o sistema existente.



Figura 11: Sistema de distribuição obsoleto da água doce Iinducuzana

**Interrupções frequentes no fornecimento de água:** a intermitência no fornecimento de água é frequentemente resultado de um sistema sobrecarregado e de uma infra-estrutura inadequada. A análise de confiabilidade do sistema hidráulico, utilizando modelos de Monte Carlo ou outros métodos probabilísticos, sugere que sistemas que operam perto da sua capacidade máxima têm maior probabilidade de falhas, o que é agravado durante os picos da procura, como no verão.

#### 5.1.2. Propostas de resolução com argumentos científicos

##### **Abertura de um novo furo (poço) para o fornecimento de água e instalação de um novo**

**Justificativa técnica:** esta solução propõe a exploração de novas fontes de água subterrânea. No entanto, segundo a Hidrogeologia, a perfuração de novos poços pode impactar os aquíferos locais, resultando na diminuição dos níveis de água subterrânea e potencialmente causando intrusão salina ou a seca de fontes adjacentes. Além disto, o custo energético para bombeamento e manutenção de um novo poço é significativamente maior. Modelos

hidrológicos mostram que, em áreas densamente povoadas, novos poços podem ser rapidamente esgotados ou contaminados.

**Desvantagens científicas:** a perfuração de novos poços pode não ser sustentável a longo prazo e apresenta riscos de contaminação de aquíferos. Estudos indicam que a utilização de água subterrânea deve ser cuidadosamente planejada e monitorada para evitar impactos negativos no ecossistema local.

### **Recalculação e melhoria do sistema existente**

**Justificativa técnica:** esta solução envolve uma abordagem integrada de engenharia de abastecimento de água, utilizando técnicas como modelagem de rede hidráulica e otimização de sistemas de bombeamento. A recalibração do sistema incluiria:

- Redimensionamento de bombas e tubulações: com base na Equação de Bernoulli e na Lei de Darcy-Weisbach, o aumento do diâmetro das tubulações reduziria significativamente as perdas de carga, melhorando a eficiência do transporte de água.
- Instalação de bombas com maior eficiência energética: bombas de maior potência e eficiência aumentariam a pressão e a vazão, garantindo que todas as áreas sejam abastecidas de forma eficiente e bombas submersas modernas são otimizadas para consumo de energia, têm um impacto significativo na redução de custos operacionais.
- Aumento de reservatórios: teoria de sistemas de armazenamento de água recomenda um aumento proporcional à procura máxima esperada pra melhorar a resiliência do sistema e garante o fornecimento durante os períodos de alta procura.

### **Vantagens Científicas:**

- Sustentabilidade: a melhoria da infra-estrutura existente é sustentável e alinhada com as práticas recomendadas de Gestão Integrada e Recursos Hídricos (GIRH), promovendo o uso eficiente dos recursos.
- Eficiência energética e hidráulica: o redimensionamento das tubulações e a instalação de novas bombas submersas maximizam a eficiência do sistema, reduzindo as perdas de carga e o consumo de energia.

#### **5.1.3. Melhor solução para o bairro de Ndlavela**

Considerando a análise técnica e científica, a opção de recalcular e melhorar o sistema existente é a mais viável para o bairro de Ndlavela. Esta escolha é fundamentada nos seguintes pontos: eficiência hidráulica e energética o que melhora o sistema através da otimização de bombas e

tubulações e garante uma distribuição mais equitativa de água, sustentabilidade a longo prazo que permite que se adapte ao crescimento populacional sem esgotar recursos adicionais, alinhando-se com as práticas de gestão sustentável dos recursos hídricos e a redução de custos e impactos ambientais associados à perfuração de novos poços e construção de infra-estrutura. Portanto, a proposta de recalcular e otimizar o sistema actual é suportada por argumentos científicos sólidos, tornando-se a solução mais eficaz e sustentável para o problema de abastecimento de água no bairro de Ndlavela .

## 5.2. Dimensionamento do sistema

### 5.2.1 Cálculo de vazão

Com o crescimento populacional e relacionado com a maior densidade que se regista no bairro espera-se que em 10 anos tenha aproximadamente 1000 clientes (consumidores), então estima-se que por família tenha entre 6 a 9 membros e assim sendo pode-se assumir uma população de 8000 pessoas.

Pela Tabela 3, o valor de  $q$  é usou-se  $q = 180 \frac{L}{hab\ d}$  visto que o número de habitantes é aproximadamente de 8000 habitantes e não ultrapassará os 30.000 habitantes:

$$Q = 1.5 \times 1.6 \times \frac{8000 \times 180}{86400} \quad (1)$$

$$Q = 40\ l/s$$

Que convertido para litros por dia, tem-se:

$$Q = \frac{40l}{s} \times \frac{86400s}{d} = 3.456.000\ l/d$$

Segundo os cálculos, será necessário mais de 3.456.000 litros por dia (2400 l/min)..

E para os cálculos será usado o volume em  $m^3$ , então:

$$Q = 40 \frac{l}{s} \times \frac{1m^3}{1000l} = 0,04\ m^3$$

### 5.2.2 Cálculo do diâmetro económico

Para o cálculo de diâmetro de sucção da bomba recorreu-se a fórmula (3) e usando o volume em  $m^3$ :

$$d_{econ} = 1 \times \sqrt{0,04} = 200\ mm \quad (3)$$

De acordo com a tabela (4), escolheu-se um diâmetro normalizado de  $d_s = 250\ mm$  para sucção e  $d_r = 200\ mm$  para o recalque

### 5.2.3 Cálculo de perdas do sistema

Como foi dito, na parte de sucção existe apenas uma válvula de pé com crivo, pode-se calcular a velocidade na conduta de sucção recorrendo às fórmulas (4-7):

$$U_s = \frac{4 \times 40}{\pi \times 0,25^2} \quad (4)$$

$$U_s = 0,82 \text{ m/s}$$

$$\xi_{valv.} = 2.5 \quad (5)$$

$$\Delta h_{loc} = \Sigma \xi \frac{U_s^2}{2g} \quad (6)$$

$$\Delta h_{loc} = 0,16 \text{ m}$$

**Número de Reynolds** (formula 7)

$$R_e = \frac{U_s d_s}{\nu} \quad (7)$$

$$R_e = 2,05 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d_s} = \frac{0.0036}{250} = 1,0 \times 10^{-5} \quad (8)$$

O coeficiente de fricção de acordo com ábaco de Moody é igual á 0.025

#### **Perdas na sucção devido ao atrito**

Para a parte de sucção, as perdas por atrito é igual a zero devido o comprimento reduzido do tubo na secção de sucção.

Curva de 90 e perdas por curvas: nas estimativas hidráulicas, as curvas de 90° devem ser contabilizadas como perdas secundárias com coeficientes K (ex.: K ≈ 0.2–0.3 para joelhos flangeados; K≈1.5 para roscados). Para referencia: tabela de coeficientes de perdas.

#### **Cálculo de perdas no recalque**

Na parte de sucção existe uma válvula de retenção e quatro curvas de 90 graus

$$\xi_{90} = 0,4, \xi_{valv.} = 2.5$$

Podemos calcular a velocidade na conduta de recalque recorrendo à seguinte fórmula (8):

$$U_r = \frac{4Q}{\pi d r^2} \quad (8)$$

Substituindo na fórmula teremos:

$$U_r = 1,27 \text{ m/s}$$

$$\Sigma \xi = 2.50 + 4 \times 0.4 = 4.1 \quad (9)$$

$$\Delta h_{rec} = \Sigma \xi \frac{U_r^2}{2g}$$

$$\Delta h_{rec} = 1,32 \text{ m}$$

### Número de Reynolds

$$R_e = \frac{U_r d_r}{\nu} \quad (10)$$

$$R_e = 2,54 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d_r} = \frac{0,0036}{200} = 1,8 \times 10^{-5} \quad (11)$$

O coeficiente de fricção de acordo com ábaco de Moody é igual à 0.0149

### Perdas na sucção devido ao atrito

$$\Delta h_{fric} = f \frac{L_r U_r^2}{D_r 2g} \quad (12)$$

$$\Delta h_{fric} = 0.0149 \times \frac{70 \times 1,27^2}{0.200 \times 2 \times 9.81} = 0,627 \text{ m}$$

### Cálculo da perda total

$$\Delta h = \Delta h_{suc} + \Delta h_{rec} \quad (13)$$

$$\Delta h = 0,95 \text{ m}$$

Considerando 20% margem de segurança, teremos:

$$\Delta h = 0,95 \times 1,2 = 1,14 \text{ m} \quad (13)$$

Cálculo de altura manométrica

$$H_m = H_0 + \Delta h \quad (14)$$

$$H_m = 10 + 1.14 = 11.14 \text{ m (pressão média)}$$

### 5.2.4 Cálculo da potência de accionamento

Para o cálculo da potência da bomba, recorrer à fórmula (15)

$$N_{accionamento} = \gamma Q H$$
$$N_{accionamento} = 9.81 \times 10^3 \times 0.04 \times 11.14 = 4,37 \text{ kW} \quad (15)$$

$$N_{accionamento} = 1,2 \times 4,37 = 5,25 \text{ HP}$$

Pelo anexo 1, escolhe-se a bomba  $N_{accionamento} = 25 \text{ HP}$

### 5.2.5 Escolha da bomba do sistema

De acordo com a potência calculada, vazão da bomba e altura manométrica, escolheu-se uma bomba submersa SÉRIE 8SP1800-03 com uma potência de 25 HP, caudal de 2400 l/min e altura manométrica de 10 metros.

Tabela 6: Escolha da bomba do sistema

| 8SP180 = SP110 |    |          |      | CAUDAL                    |      |      |     |     |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|----|----------|------|---------------------------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
|                |    |          |      | m³/s                      | 0    | 15   | 30  | 45  | 60   | 75   | 90   | 105  | 120  | 135  | 150  |
|                |    |          |      | litros/min                | 0    | 250  | 500 | 750 | 1000 | 1250 | 1500 | 1750 | 2000 | 2250 | 2500 |
| MODELO         | DN | POTENCIA |      | ALTURA DE CARGA EN METROS |      |      |     |     |      |      |      |      |      |      |      |
| Ø"             | KW | Hp       |      |                           |      |      |     |     |      |      |      |      |      |      |      |
| 8SP180-01      | 5  | 75       | 10   | 22                        | 21,9 | 21,8 | 21  | 19  | 17   | 15   | 13   | 10   | 7    | 3    |      |
| 8SP180-02      | 5  | 13       | 17,5 | 44                        | 43   | 42   | 38  | 36  | 32   | 29   | 25   | 20   | 16   | 9    |      |
| 8SP180-03      | 5  | 18,5     | 25   | 66                        | 65   | 64   | 63  | 58  | 54   | 47   | 40   | 32   | 23   | 10   |      |
| 8SP180-04      | 5  | 22       | 30   | 88                        | 87   | 86   | 80  | 73  | 66   | 57   | 48   | 38   | 27   | 13   |      |
| 8SP180-05      | 5  | 30       | 40   | 110                       | 106  | 102  | 95  | 87  | 77   | 67   | 55   | 43   | 31   | 16   |      |
| 8SP180-06      | 5  | 37       | 50   | 132                       | 131  | 125  | 116 | 104 | 92   | 77   | 63   | 49   | 34   | 20   |      |
| 8SP180-07      | 5  | 45       | 60   | 154                       | 150  | 144  | 134 | 120 | 106  | 91   | 75   | 57   | 40   | 23   |      |
| 8SP180-08      | 5  | 55       | 75   | 176                       | 171  | 163  | 151 | 136 | 119  | 103  | 84   | 64   | 45   | 26   |      |
| 8SP180-09      | 5  | 55       | 75   | 198                       | 195  | 185  | 171 | 154 | 135  | 115  | 94   | 74   | 50   | 29   |      |
| 8SP180-10      | 5  | 63       | 85   | 220                       | 219  | 209  | 193 | 174 | 151  | 127  | 104  | 78   | 55   | 32   |      |

Critérios técnicos para escolha de material:

- Durabilidade e resistência química (HDPE/PVC muito usados em redes de água potável).
- Custo inicial vs ciclo de vida (PE/HDPE tem boa longevidade e baixa manutenção).

Velocidade económica: recomendação prática para redes de distribuição potável: 0.6–2.0 m/s (intervalo que evita deposição e desgaste excessivo). As equações usadas no dimensionamento: Darcy–Weisbach (geral) e Hazen–Williams (empírico para água). (Referências técnicas: EngineeringToolbox, Hazen–Williams papers e AWWA).

Cavitação: risco associado a pontos de sucção (bomba). Controlo via NPSH ( $NPSH_a > NPSH_r$ ). Medidas: reduzir altura de sucção, aumentar diâmetro de sucção, garantir priming adequado, incluir folga de NPSH  $\geq 0.5$ –1.0 m dependendo do fabricante.



### **5.3. Discussão dos Resultados**

Analisando os valores das potências obtida através de cálculos com os valores das potências das bombas do sistema actual e existente é notável que as potências das bombas submersas do sistema de abastecimento são menores em relação às potências calculadas. Sendo assim, para se aumentar a capacidade do sistema de abastecimento de água, foram escolhidas as bombas submersas com uma potência superior à potência de accionamento calculado. O novo sistema de abastecimento, contará com aumento de mais 6 tanques de reservatório com uma capacidade de 6.000 litros para cada, aumentando assim uma capacidade de armazenamento de 40.000 litros.

Visto que a vazão diária é de 3.456.000 litros para atender a esta procura, as bombas deveram funcionar 16,8 horas por dia.

#### **5.3.1. Dimensionamento dos componentes do projecto**

O dimensionamento dos componentes foi realizado com base nos cálculos apresentados no capítulo 5.2 e o cálculo da vazão foi baseado em uma população de 8.000 pessoas, com uma vazão estimada de 3.456.000 litros por dia e o diâmetro económico para a tubulação foi estabelecido em 250 mm para sucção e 200 mm para recalque e estes cálculos garantem que o sistema possa lidar com o aumento populacional esperado nos próximos 10 anos.

O projecto (com detalhes em anexos) envolve a modernização do sistema existente de captação e distribuição de água em Ndavela e será instalado no quarteirão 20 e inclui:

- Captação: utilização de poços para aumentar a captação de água subterrânea.
- Distribuição: redimensionamento de tubulações e instalação de novas bombas para aumentar a eficiência.
- Reservatórios: expansão da capacidade de armazenamento para garantir o fornecimento de água durante picos de demanda (maior procura).

Para garantir o funcionamento contínuo, será implementado um plano de operação que envolve:

- Manutenção preventiva das bombas e reservatórios, com inspecções trimestrais para verificar vazamentos e o estado das tubulações.
- Substituição periódica de componentes críticos como válvulas e filtros para minimizar o tempo de inactividade.

Os principais componentes necessários são abaixo alistados:

Tabela 7. Lista de componentes necessários ao projecto (fonte: Silva)

| Componentes                                  | Quantidade | Referência        |
|----------------------------------------------|------------|-------------------|
| Bomba submersa 25 HP (SERIE 8SP1800-03)      | 2          | SERIE 8SP1800-03  |
| Tubo PVC Ø250 mm                             | 500 metros | Tubo PVC          |
| Válvula de retenção Modelo A5                | 6          | Válvula modelo A5 |
| Reservatório 40 000 L (fibra/PE)             | 8          | Modelo W-100      |
| Medidor de pressão (transdutor) 0-10 bar     | 4          | PM-20             |
| Peças e acessórios (curvas, uniões, filtros) | lote       |                   |
| Painel eléctrico + VFDs                      | lote       |                   |

### Medidas de pressão e instrumentação

Locais recomendados para transdutores de pressão: saída do reservatório, jusante da bomba, nó de cota alta, extremidade da rede (4 sensores).

Faixa recomendada: 0–10 bar (0–100 mCa) com resolução 0,1 mCa; sinal 4–20 mA ou 0–10 V para integração SCADA/PLC.

Amostragem: leitura 5–15 min; alarmes para quedas abruptas (>30% em 15 min) ou pressões negativas locais.

### Dados utilizados:

Vazão diária adotada: 3 456 000 L/dia = 3 456 m<sup>3</sup>/dia = Q = 0.04 m<sup>3</sup>/s.

Diâmetro considerado no exemplo: D = 0.20 m (200 mm).

Comprimento do troço considerado: L = 500 m.

Rugosidade absoluta para PVC/PE (assumida):  $\varepsilon \approx 0.0015$  mm ( $1.5 \times 10^{-6}$  m).

Número de curvas 90°: 4 (cada uma com K  $\approx 0.3$  assumido para montagem flangeada/regular).

Cálculo (resumo):

1) Área  $A = \pi D^2/4 = 0.031416$  m<sup>2</sup>

2) Velocidade  $V = Q/A = 1.27$  m/s

3) Número de Reynolds  $Re \approx 2.55 \times 10^5$  (turbulento)

4) Fator de atrito (Swamee–Jain)  $f \approx 0.0149$

5) Perdas por atrito (Darcy):  $h_f = f (L/D) V^2/(2g) \approx 3.08$  m (sobre 500 m)

6) Perdas secundárias (4 curvas):  $h_m = \Sigma K V^2/(2g) \approx 0.10 \text{ m}$

7) Perda total no troço  $\approx 3.18 \text{ m}$  ( $\approx 0.312 \text{ bar}$ ) — conclusão: perdas razoáveis para o troço.

Todos os valores monetários são estimativas indicativas e deverão ser confirmadas com cotações locais e fornecedores.

### 5.3.2. Relação custo-benefício e estudo de viabilidade económica

O estudo de viabilidade económica foi realizado para um período de 10 anos, considerando o crescimento populacional e o aumento da demanda por água. A modernização do sistema proposto reduzirá os custos operacionais em 20% devido à maior eficiência das novas bombas e à redução de perdas de água.

A bomba submersa escolhida, **SERIE 8SP1800-03**, oferece um desempenho superior, com maior eficiência energética e menor manutenção em comparação às bombas anteriores. Ela foi projectada para funcionar em condições extremas, garantindo um fornecimento contínuo mesmo em períodos de alta procura.

O custo total do projecto é estimado em **3.500.000 MZN**, incluindo os seguintes itens:

Tabela 8: Preço dos componentes do mecanismo (Fonte: Alibaba)

| COMPONENTES                     | Preço unitário (MT)        | Quantidades | Preço (MT)       |
|---------------------------------|----------------------------|-------------|------------------|
| Motobomba de 25 HP              | 153 000                    | 2           | 306.000          |
| Tubo de Ø250 mm – 500 metros    | 12 540                     | 1           | 12.540           |
| Válvulas de gaveta              | 560                        | 2           | 1.120            |
| Válvulas de retenção            | 500                        | 2           | 1.000            |
| Curvas de 90°                   | 600                        | 2           | 1200             |
| Tanque de 6000 litros           | 61 150                     | 8           | 489.200          |
| Medidores de pressão            | 1 400                      | 4           | 5 600            |
| <b>Custo de componentes</b>     | <b>PREÇO SUBTOTAL (1)</b>  |             | <b>2.000.000</b> |
| Instalação e mão-de-obra:       |                            |             | 800.000          |
| Manutenção preventiva (10 anos) |                            |             | 500.000          |
| Custos imprevistos              |                            |             | 200.000          |
|                                 | <b>PREÇO SUBTOTAL (2)</b>  |             | <b>1.500.000</b> |
|                                 | <b>PREÇO TOTAL (1)+(2)</b> |             | <b>3.500.000</b> |

Considerando uma taxa média mensal de 300 meticais para cada cliente e num universo de 650 clientes, em 18 meses é que haverá o retorno do valor investido no melhoramento do sistema de abastecimento de água. E de lembrar que o projecto é viável a partir do mês que a receita é superior ao investimento, ou seja o mês seguinte depois que a receita é igual ao investimento.

Podemos resolver o problema recorrendo à seguinte fórmula:

$$\text{Lucro} = \text{Receita} - \text{Investimento} \quad (16)$$

$$\text{Receita} = \text{Taxa Mensal} \times \text{Numero Cliente} \times \text{Meses}$$

$$\text{Lucro} = \text{Taxa Mensal} \times \text{Numero Cliente} \times \text{Meses} - \text{Investimento} \quad (17)$$

$$\text{Lucro} = 300 \times 650 \times 18 - 3.500.000$$

$$\text{Lucro} = 10.000,00 \text{ meticals}$$

Ou

$$\text{Lucro} = \text{Taxa Mensal} \times \text{Numero Cliente} \times \text{Meses} - \text{Investimento}$$

$$\text{Investimento} = \text{Taxa Mensal} \times \text{Numero Cliente} \times \text{Meses} \quad (18)$$

$$\text{Meses} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Taxa Mensal} \times \text{Numero Cliente}} = \frac{3.500.000}{300 \times 650}$$

$$\text{Meses} = 17,95$$

Logo é viável a partir do 18º mês.

Para uma estimativa de 10 anos:

Projecto actual (sem se considerar o investimento feito anteriormente, pois está em funcionamento)

$$\text{Lucro} = \text{Receita} = \text{Taxa Mensal} \times \text{Numero Cliente} \times \text{Meses}$$

$$\text{Receita} = 300 \times 300 \times 120 = 10.800.000,00 \text{ Mt}$$

O projecto actual terá uma receita de 10.800.000,00 Mt em dez anos.

Projecto a implementar

$$\text{Lucro} = \text{Receita} - \text{Investimento}$$

$$\text{Lucro} = 300 \times 650 \times 120 - 3.500.000 = 19.900.000,00 \text{ Mt}$$

O projecto a implementar terá uma receita de 19.900.000,00 Mt em dez anos, uma diferença significativa de 8.100.000,00 Mt e com um acréscimo de numero de clientes.

A análise dos resultados indica que a modernização do sistema de abastecimento de água de Ndlavela trará benefícios significativos em termos de eficiência operacional e sustentabilidade. Comparando o sistema actual ao proposto, observou-se que as novas bombas submersas oferecem um rendimento superior, reduzindo o consumo energético em cerca de 20% e garantindo uma operação mais contínua e confiável. Além disto, os novos reservatórios

aumentam a capacidade de armazenamento, assegurando a disponibilidade de água mesmo durante os períodos de alta procura.

Do ponto de vista económico, o estudo de viabilidade revelou que o novo sistema de abastecimento é mais vantajoso, com retorno do investimento estimado para o 18º mês de operação. Em termos de receita, o sistema modernizado deverá gerar cerca de 19.900.000 MZN em 10 anos, comparado aos 10.800.000 MZN gerados pelo sistema actual, uma diferença de 8.100.000 MZN. Este incremento reflecte o aumento no número de clientes atendidos, bem como a eficiência na operação do sistema.

Do ponto de vista social, a melhoria no fornecimento de água deverá resultar em um impacto positivo na saúde pública, reduzindo a incidência de doenças relacionadas ao consumo de água contaminada e melhorando a qualidade de vida dos moradores.

Ambientalmente, a proposta se alinha à gestão sustentável dos recursos hídricos, minimizando o impacto sobre os aquíferos e promovendo o uso racional da água (Smiley, 2020).

#### **5.4. Propostas (medidas operacionais, técnicas e sociais)**

##### **5.4.1 Medidas operacionais e de manutenção (curto e médio prazo):**

- Inspeções domiciliárias periódicas (campanhas porta-a-porta): identificação de ligações clandestinas, verificação de contadores e reservatórios domésticos. Frequência proposta: inicialmente trimestral durante 1 ano, depois semestral.
- Inventário e etiquetagem de válvulas e hidrantes: mapa GIS com coordenadas, responsável e frequência de verificação.
- Programa de detecção activa de fugas: 'walk-the-network' com equipe treinada + patrulhas motorizadas para troços principais.

**5.4.2 Sensoriamento e telemetria:** instalação de sensores de pressão (4 pontos críticos), medidores de caudal em 3 pontos estratégicos e sensores de nível nos reservatórios. Transmissão GSM/4G e painel de controlo com alarmes de pressão e caudal.

**5.4.3 Medidas técnicas na rede:** reforço de troços principais, substituição de 500 m de tubulação por DN 250 (sucção) e redimensionamento do recalque para DN 200; instalação de válvulas de seccionamento e de retenção conforme lista do projecto.

**5.4.4 Medidas sociais e institucionais:** programas de sensibilização sobre uso racional, contrato de manutenção com operador local, tarifação socialmente justa e programa de regularização de ligações.

## **CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E RECOMENDACÕES**

### **6.1. Conclusão**

O projecto de Melhoramento do Sistema de Captação e Distribuição de Água no Bairro de mostrou-se primário para resolver os problemas de abastecimento enfrentados pela crescente população da região e, através de análises técnicas detalhadas e cálculos de dimensionamento, foi possível identificar soluções viáveis e sustentáveis para garantir o fornecimento contínuo de água. E foram analisados os objectivos específicos ao longo do trabalho e que ditaram:

Avaliação da capacidade actual do sistema de abastecimento de água de Águas Doce Inducuzana em Ndlavela Q. 20, este objectivo foi cumprido através de uma análise detalhada da capacidade de vazão e armazenamento do sistema actual e constatou-se que o sistema está operando acima de sua capacidade projectada, o que justifica a necessidade de melhorias.

E o dimensionamento do sistema de captação e distribuição de água com uma solução tecnológica baseada em sensores de pressão e caudal inteligentes, e plataforma de telemetria foi realizado com sucesso, utilizando cálculos de vazão, diâmetro económico e selecção de bombas adequadas e o sistema foi otimizado para atender ao aumento populacional previsto nos próximos 10 anos, garantindo a sustentabilidade e eficiência do fornecimento.

Propostas medidas para mitigar as principais fontes de perdas e ligações clandestinas e implementação de estratégias de gestão sustentável de recursos hídricos foram propostas soluções que cumpriram este objectivo, como o redimensionamento das tubulações e bombas, o aumento da capacidade dos reservatórios e a introdução de tecnologias modernas de bombeamento e estas estratégias alinham-se com as melhores práticas de gestão sustentável de recursos hídricos.

Sendo que das preposições dadas:

A preposição: "A infra-estrutura actual de abastecimento de água de Águas Doce Inducuzana não é suficiente para atender à demanda dos residentes do bairro de Ndlavela , necessitando de melhorias significativas." Esta preposição foi confirmada, uma vez que o estudo demonstrou que o sistema actual está operando acima de sua capacidade, resultando em frequentes interrupções e ineficiência na distribuição de água.

A preposição: "A ampliação e modernização do sistema de abastecimento de água melhorarão significativamente a disponibilidade de água no bairro de Ndlavela ." Esta preposição também foi confirmada, pois as propostas de ampliação do sistema, como o aumento da capacidade de

armazenamento e a substituição das bombas, melhorarão a eficiência e a sustentabilidade do abastecimento de água na região.

Com base nos dados do estudo (população estimada: 8 000 habitantes; amostra doméstica e inventário da rede), o sistema actual revela-se insuficiente para atender a procura, apresentando perdas de carga e comerciais elevadas, ausência de monitorização automática e intermitência frequente. As soluções propostas nesta secção respondem aos objectivos específicos: avaliação do sistema, dimensionamento técnico, medidas para redução de perdas, e avaliação do impacto técnico-financeiro.

Dados dimensionados obteve-se uma população alvo de 8 000 habitantes, inventário da rede em aproximadamente em 12 km; habitações estimadas em 3 000 agregados familiares; vazão diária adoptada no projecto de 3 456 000 L/dia; diâmetros económicos propostos no projecto: sucção 250 mm e recalque 200 mm; bombas: 2 (duas) submersas 25 HP; custo total estimado no documento: 3 500 000 MZN.

## 6.2. Recomendações para trabalhos futuros

Recomendações:

- Expansão do sistema de armazenamento: recomenda-se aumentar a capacidade dos reservatórios para lidar com períodos de alta demanda e garantir o abastecimento contínuo, especialmente durante os meses de verão, quando o consumo de água é maior.
- Monitoramento regular do sistema: é fundamental implementar um programa de manutenção preventiva para garantir o funcionamento eficiente das bombas e tubulações, minimizando o risco de falhas e reduzindo custos com reparos emergenciais.
- Investimento em energias renováveis: considerar o uso de sistemas de bombeamento alimentados por energia solar, especialmente em áreas como Ndlavela , onde o acesso à electricidade pode ser limitado. Isto não só reduzirá os custos operacionais, mas também contribuirá para a sustentabilidade ambiental.
- Educação comunitária: iniciar campanhas de conscientização sobre o uso eficiente da água e a importância da preservação dos recursos hídricos, incentivando os residentes a evitarem o desperdício.
- Revisão periódica do sistema: dada a expectativa de crescimento populacional, é recomendável revisar o sistema de abastecimento de água a cada 5 anos, para garantir que ele continue atendendo às necessidades da população de maneira eficaz.

Com a implementação destas recomendações, o sistema de captação e distribuição de água de Ndlavela poderá se tornar mais resiliente e eficiente, promovendo uma melhoria significativa na qualidade de vida dos residentes.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

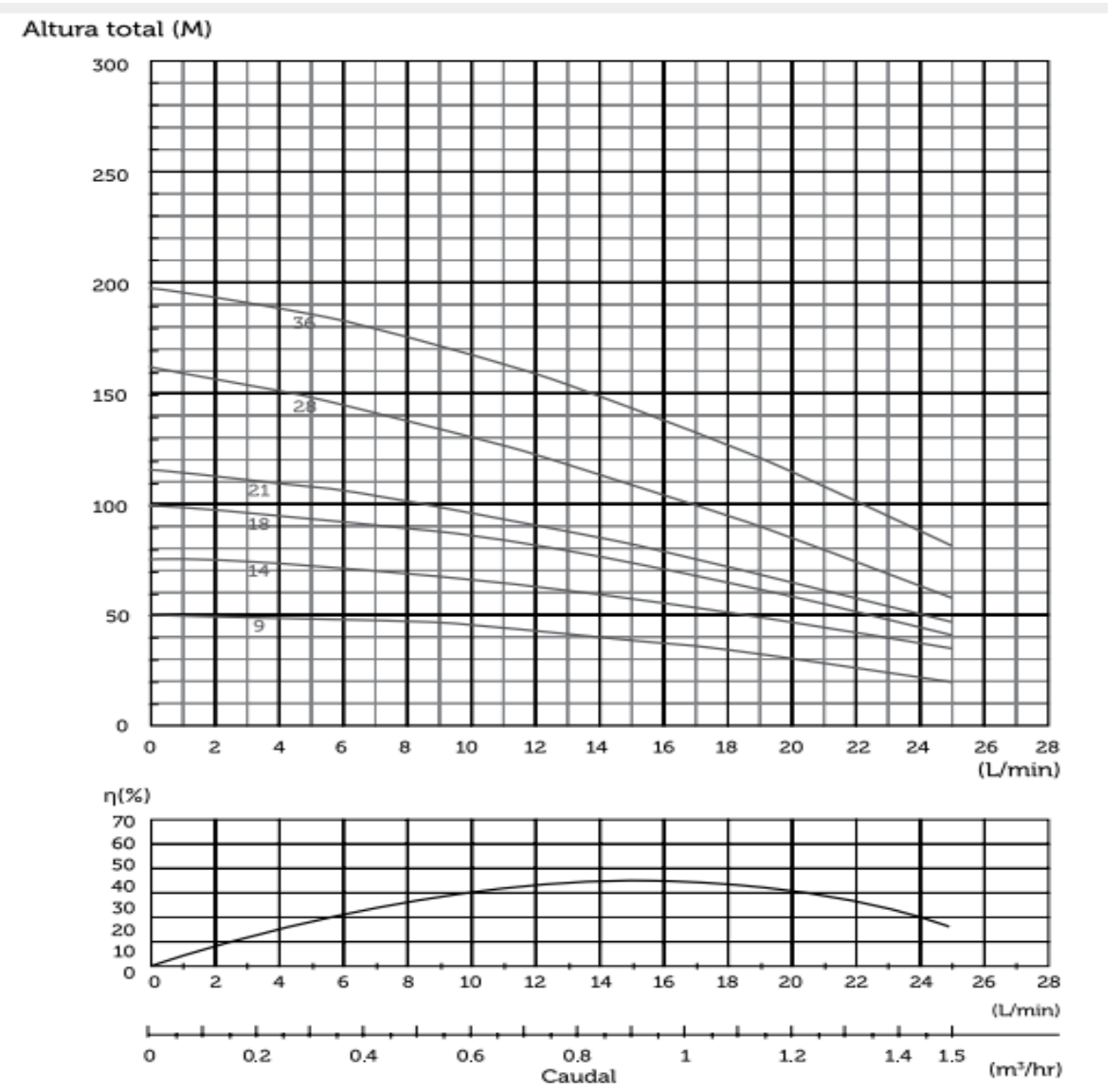
- African Development Bank. (2020). Water Supply and Sanitation in Africa: Prospects and Challenges.
- Asano, T. (2007). Water Reuse: Issues, Technologies and Applications. McGraw-Hill.
- Autoridade de Água de Matola. (2023). Relatório Anual de Abastecimento de Água.
- Baptista, A. M. (2002). Water Supply and Sanitation in Mozambique: Assessment of Issues and Challenges. Universidade Eduardo Mondlane.
- Darby, S. (2010). “Smart Metering: What Potential for Householder Engagement?” *Building Research & Information*, 38(5), 442–457.
- Davidson, F., Mota, A., & Gonçalves, P. (2019). Urbanization and Water Infrastructure Development in Mozambique: The Case of Maputo Suburbs. *African Water Journal*, 11(2), 45-60.
- Dingman, S. L. (2015). *Physical Hydrology*. 3ª ed. Waveland Press.
- Farley, M., & Trow, S. (2003). *Losses in Water Distribution Networks*. IWA Publishing.
- García-Morales, O., et al. (2016). “SCADA Systems in Water Distribution Networks.” *Water Science and Technology*, 74(8), 1872–1880.
- GWP – Global Water Partnership. (2000). *Integrated Water Resources Management*. TEC Background Papers.
- GWP – Global Water Partnership. (2018). *Integrated Water Resources Management in Practice*. Earthscan.
- INE – Instituto Nacional de Estatística. (2017). *Estatísticas do Abastecimento de Água e Saneamento Básico em Moçambique*. Maputo.
- Instituto Nacional de Estatística (INE). (2017). *Estatísticas de Água e Saneamento*.
- Lambert, A., et al. (1999). “A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems.” *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 48(2), 67–77.
- Ministério das Obras Públicas e Habitação. (2006). *Plano de Acção para a Redução da Pobreza Absoluta (PARPA II)*. Maputo: Governo de Moçambique.
- Ministério das Obras Públicas e Habitação. (2007). *Plano Estratégico de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (PEDRH)*. Maputo: Governo de Moçambique.
- MOPHRH – Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos. (2020). *Plano Estratégico de Recursos Hídricos de Moçambique 2020–2030*. Maputo.
- Mounce, S. R., et al. (2014). “Pressure Management for Leakage Control.” *Urban Water Journal*, 11(8), 591–601.

- Oliveira, P. R. (2020). “Aplicações de sensores inteligentes no monitoramento de redes de distribuição de água.” *Engenharia & Sustentabilidade*, 8(1), 70–84.
- OMS & UNICEF. (2020). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2020. Genebra.
- OMS e UNICEF. (2020). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2020: Five years into the SDGs.
- Pereira, A. L. (2017). The Impact of Climate Change on Water Resources in Southern Africa: Mozambique’s Case. *Journal of Climate Change and Water Resources*, 23(4), 293-312.
- PUB Singapore. (2020). Singapore’s Water Story: A National Taps.
- Relatório Interno de Águas Dice Inducuzana. (2023).
- Rossman, L. A. (2000). EPANET 2 User’s Manual. U.S. Environmental Protection Agency.
- Silva, A. C. da. (2021). “Gestão de Recursos Hídricos e Tecnologias Inteligentes no Abastecimento Urbano de Água.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 26(3), 45–58.
- Smiley, S. L. (2020). Water Infrastructure and Insecurity: Rethinking Water Access in Urban Mozambique. *Water Alternatives*, 13(3), 564-586.
- Tvedt, T., & Oestigaard, T. (2014). A History of Water: Water and Urbanization. I.B. Tauris.
- UNESCO. (2015). IWRM Guidelines at River Basin Level.
- United Nations. (2021). The Sustainable Development Goals Report 2021.
- UN-Water. (2019). World Water Development Report 2019.
- WaterAid. (2015). Mozambique Country Programme Strategy 2016-2021. WaterAid Mozambique.
- WaterAid. (2022). Mozambique: Water and Sanitation. Disponível em:
- WHO/UNICEF. (2021). Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000-2020.
- World Bank. (2017). Implementation Completion and Results Report: Mozambique National Rural Water Supply and Sanitation Project. Washington, DC: World Bank.
- Zhang, Y., et al. (2019). “Machine Learning in Water Distribution Network Monitoring.” *Water Resources Research*, 55(12), 10125–10145.

# ANEXOS

SERIE 4SP1

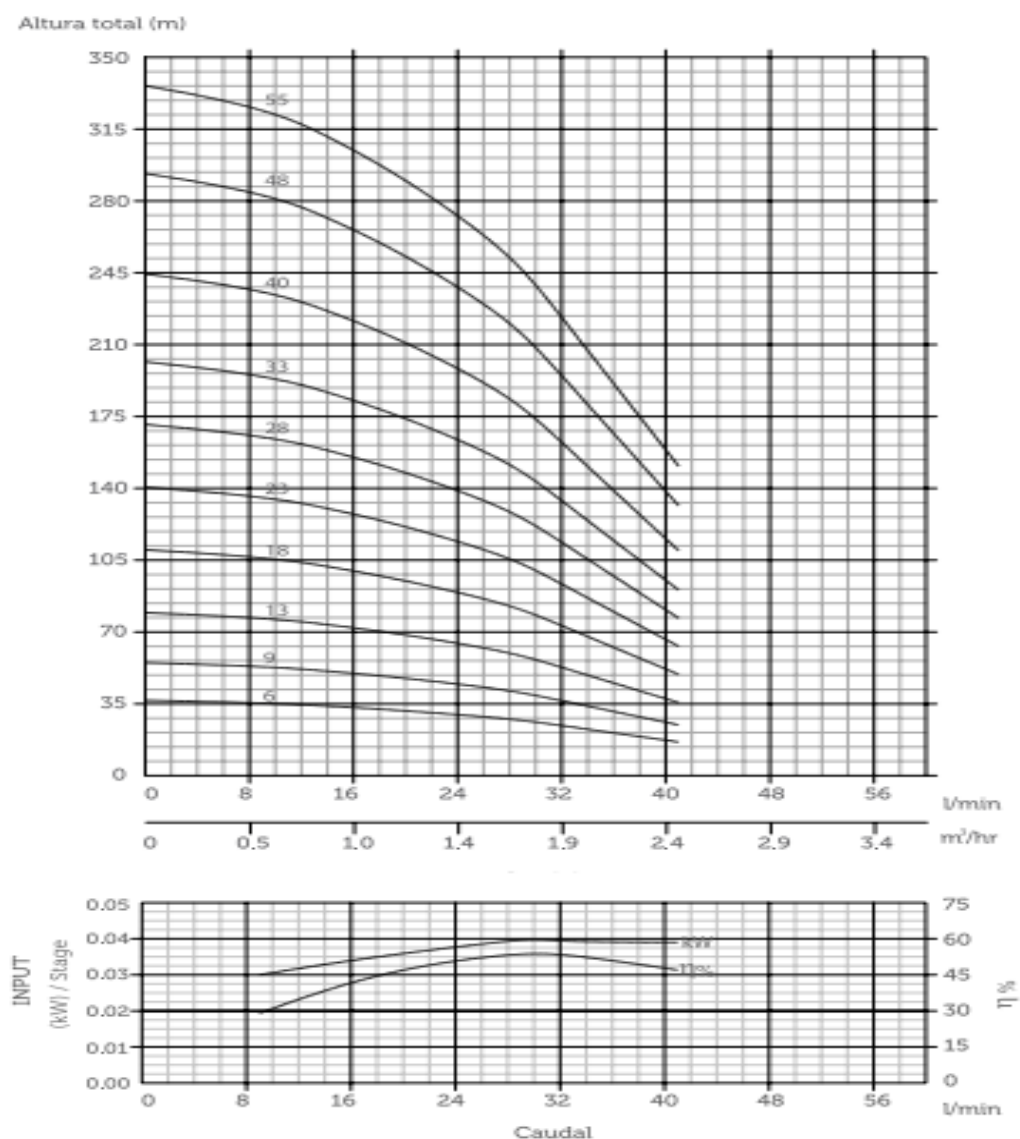
Curvas



|         |     |          |      | CAUDAL                    |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|---------|-----|----------|------|---------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
|         |     |          |      | m <sup>3</sup> /h         | 0   | 0,2 | 0,4 | 0,6  | 0,8  | 1,0  | 1,2  | 1,4  | 1,5  |
|         |     |          |      | l/min                     | 0   | 3,3 | 6,6 | 10,0 | 13,3 | 16,6 | 20,0 | 23,3 | 25,0 |
| 4SP1    |     |          |      |                           |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
| MODELO  | DN  | POTENCIA |      | ALTURA DE CARGA EN METROS |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|         | Ø"  | KW       | Hp   |                           |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
| 4SP1-09 | 1¼" | 0,37     | 0,5  | 52                        | 50  | 48  | 46  | 42   | 37   | 32   | 24   | 20   |      |
| 4SP1-14 | 1¼" | 0,37     | 0,5  | 77                        | 75  | 72  | 67  | 62   | 55   | 49   | 40   | 35   |      |
| 4SP1-18 | 1¼" | 0,55     | 0,75 | 100                       | 98  | 93  | 86  | 78   | 70   | 58   | 48   | 41   |      |
| 4SP1-21 | 1¼" | 0,55     | 0,75 | 116                       | 113 | 105 | 97  | 87   | 77   | 66   | 54   | 48   |      |
| 4SP1-28 | 1¼" | 0,75     | 1,0  | 160                       | 154 | 143 | 130 | 116  | 103  | 85   | 66   | 61   |      |
| 4SP1-36 | 1¼" | 1,10     | 1,50 | 197                       | 193 | 181 | 168 | 153  | 135  | 115  | 94   | 81   |      |

## SERIE 4SP2

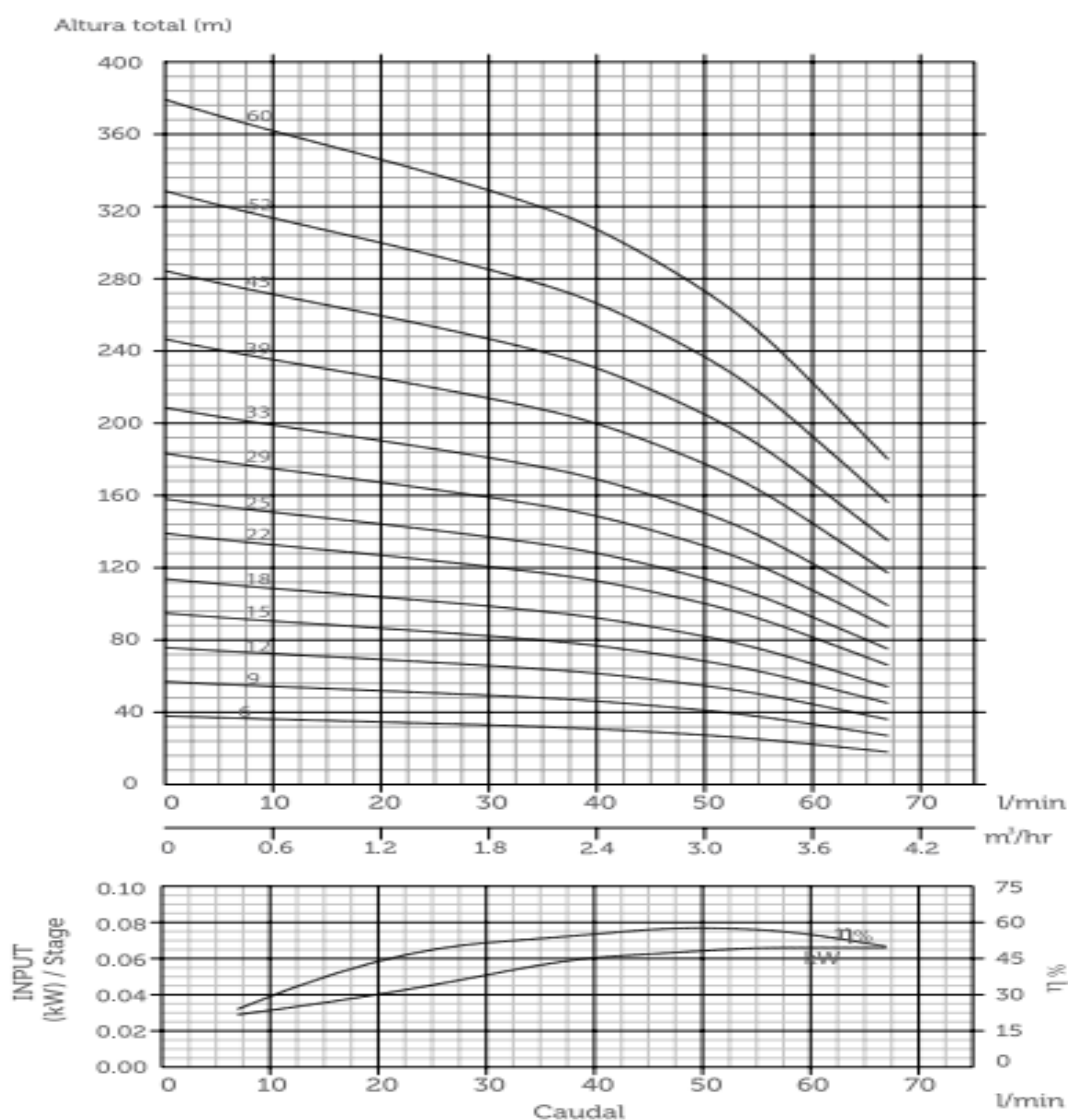
### Curvas



|         |     |          |      | m <sup>3</sup> /h | CAUDAL                    |     |     |     |     |     |     |
|---------|-----|----------|------|-------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|         |     |          |      |                   | 0                         | 1,0 | 1,4 | 1,8 | 2,0 | 2,4 | 2,8 |
| 4SP2    |     |          |      | l/min             | 0                         | 17  | 23  | 30  | 33  | 40  | 47  |
| MODELO  | DN  | POTENCIA |      |                   | ALTURA DE CARGA EN METROS |     |     |     |     |     |     |
|         | Ø"  | KW       | Hp   |                   |                           |     |     |     |     |     |     |
| 4SP2-06 | 1 ¼ | 0,37     | 0,5  |                   | 36                        | 33  | 30  | 26  | 24  | 17  | 13  |
| 4SP2-09 | 1 ¼ | 0,37     | 0,5  |                   | 53                        | 48  | 44  | 38  | 34  | 24  | 17  |
| 4SP2-13 | 1 ¼ | 0,55     | 0,75 |                   | 77                        | 70  | 64  | 55  | 50  | 35  | 26  |
| 4SP2-18 | 1 ¼ | 0,75     | 1,0  |                   | 107                       | 97  | 89  | 77  | 69  | 49  | 36  |
| 4SP2-23 | 1 ¼ | 1,1      | 1,5  |                   | 137                       | 124 | 114 | 99  | 90  | 64  | 47  |
| 4SP2-28 | 1 ¼ | 1,5      | 2,0  |                   | 167                       | 152 | 140 | 122 | 110 | 79  | 59  |
| 4SP2-33 | 1 ¼ | 1,5      | 2,0  |                   | 196                       | 178 | 163 | 142 | 128 | 90  | 66  |
| 4SP2-40 | 1 ¼ | 2,2      | 3,0  |                   | 245                       | 221 | 203 | 176 | 158 | 111 | 81  |
| 4SP2-48 | 1 ¼ | 2,2      | 3,0  |                   | 292                       | 262 | 240 | 207 | 186 | 129 | 93  |
| 4SP2-55 | 1 ¼ | 3,0      | 4,0  |                   | 336                       | 302 | 277 | 240 | 215 | 150 | 109 |

## SERIE 4SP5

### Curvas



| 4SP5 = QF5 = SP3          |     |          |      | m <sup>3</sup> /h<br>Vmin | CAUDAL |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|-----|----------|------|---------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| MODELO                    | DN  | POTENCIA |      |                           | 0      | 1,0 | 1,4 | 1,8 | 2,0 | 2,4 | 2,8 | 3,4 | 4,0 | 4,4 |
|                           | Ø"  | KW       | Hp   |                           | 0      | 17  | 23  | 30  | 33  | 40  | 47  | 57  | 67  | 73  |
| ALTURA DE CARGA EN METROS |     |          |      |                           |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 4SP5-06                   | 1 ¼ | 0,37     | 0,5  |                           | 38     | 35  | 34  | 32  | 31  | 30  | 27  | 22  | 15  | 12  |
| 4SP5-09                   | 1 ¼ | 0,55     | 0,75 |                           | 57     | 54  | 51  | 49  | 47  | 45  | 41  | 33  | 23  | 19  |
| 4SP5-12                   | 1 ¼ | 0,75     | 1,0  |                           | 76     | 70  | 68  | 65  | 64  | 60  | 55  | 45  | 31  | 26  |
| 4SP5-15                   | 1 ¼ | 1,1      | 1,5  |                           | 95     | 87  | 85  | 82  | 80  | 76  | 70  | 57  | 40  | 33  |
| 4SP5-18                   | 1 ¼ | 1,1      | 1,5  |                           | 113    | 105 | 101 | 97  | 95  | 89  | 82  | 67  | 46  | 38  |
| 4SP5-22                   | 1 ¼ | 1,5      | 2,0  |                           | 139    | 129 | 125 | 120 | 117 | 110 | 101 | 83  | 57  | 47  |
| 4SP5-25                   | 1 ¼ | 1,5      | 2,0  | 157                       | 145    | 140 | 135 | 131 | 124 | 113 | 92  | 63  | 52  |     |
| 4SP5-29                   | 1 ¼ | 2,2      | 3,0  | 184                       | 171    | 166 | 159 | 156 | 147 | 136 | 111 | 78  | 65  |     |
| 4SP5-33                   | 1 ¼ | 2,2      | 3,0  | 209                       | 194    | 187 | 180 | 176 | 166 | 152 | 125 | 87  | 72  |     |
| 4SP5-39                   | 1 ¼ | 3,0      | 4,0  | 246                       | 230    | 223 | 216 | 212 | 201 | 188 | 160 | 120 | 105 |     |
| 4SP5-45                   | 1 ¼ | 3,0      | 4,0  | 283                       | 264    | 255 | 247 | 242 | 229 | 214 | 181 | 135 | 118 |     |
| 4SP5-52                   | 1 ¼ | 4,0      | 5,5  | 328                       | 308    | 298 | 289 | 283 | 269 | 251 | 214 | 161 | 141 |     |
| 4SP5-60                   | 1 ¼ | 4,0      | 5,5  | 377                       | 350    | 341 | 330 | 323 | 307 | 286 | 242 | 182 | 158 |     |

