



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Divisão da Agricultura

Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural

Monografia Científica

**CONTROLO DE PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA
CIDADE DE CHIBUTO**

Monografia Científica apresentada e defendida como requisito para obtenção do grau de
Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Autor: Romão Júlio Isaías Cuna

Tutor: Eng^o. Fernando Brazão Tembe (MSc);

Co-tutor: Eng^a. PhillipaNomaguguNcube

Lionde, Maio de 202



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Projecto de licenciatura de monografia científica sobre controle de perdas em sistemas de abastecimento de água na Cidade de Chibuto, distrito de Chibuto, apresentado ao curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Faculdade de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Monografia defendida e aprovada no dia 24 de Abril de 2024

Supervisor

Fernando Brazão Tembe

(Eng.º Fernando Tembe MEngSc)

Avaliador 1

Algardás Couve Mabunda

(Eng.º Algardás Mabunda)

Avaliador 2

Orlando Albertino Couve

(dr. Orlando Couve MSc)

Lionde, Maio de 2024



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DIVISÃO DA AGRICULTURA

ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

Monografia de investigação científica sobre “ Controlo de perdas no sistema de abastecimento de água na Cidade de Chibuto” apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Agua Rural na Faculdade de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito de culminação de curso em forma de monografia em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Tutor: Eng^o. Fernando Brazão Tembe (MSc);

Co-tutor: Eng^a. Phillipa Nomagugu Ncube

ÍNDICE:

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE EQUAÇÕES	ii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	ii
DECLARAÇÃO.....	iv
DEDICATÓRIA.....	v
AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objectivos	2
1.1.1 Geral	2
1.1.2 Específicos.....	2
1.2 Problema e Justificativa	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Sistemas de abastecimento de água	5
2.2 Perdas de água	5
2.2.1 Perdas aparentes	6
2.2.2 Perdas reais	7
2.3 Balanço hídrico do sistema de abastecimento de água	7
2.3.1 Indicadores de perda.....	9
2.4 Controlo de perdas de água.....	10
2.4.1 Zonas de Medição e Controlo (ZMC)	11
2.4.2 Gestão de pressão	12
2.4.3 Relação pressão e vazamentos.....	12
2.5 Modelação hidráulica do sistema de distribuição de água.....	13
2.6 Calibração do Modelo.....	14
2.7 EPANET	16
2.7.1 Capacidade de Modelação Hidráulica	17
3 METODOLOGIA	20
3.1 Descrição da área de estudo.....	20
3.2 Caracterização do Sistema de Abastecimento	20
3.2.1 Rede de Distribuição	23

3.2.2	Tipologia da rede	23
3.3	Indicadores de perda	24
3.4	Balço Hídrico	25
3.5	Procedimentos Metodológicos.....	26
3.5.1	Colecta de dados na entidade gestora.....	26
3.5.2	Colecta de dados no campo	27
3.5.3	Medição de pressão e vazão	27
3.5.4	Modelagem e simulação hidráulica	29
3.5.5	Calibração.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Modelagem hidráulica do sistema	33
4.1.1	Simulação estática	33
4.1.2	Simulação dinâmica.....	34
4.2	Calibração hidráulica do modelo	36
4.3	Análise de perdas e irregularidades	39
4.4	Análise ao modelo calibrado.....	42
5	CONCLUSÃO	49
6	RECOMENDAÇÕES	51
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas de um sistema de abastecimento	5
Figura 2-Configuração do ambiente de trabalho do Epanet 2.....	17
Figura 3- Mapa de localização da área de estudo, rede de distribuição de água, Chibuto	20
Figura 4- a) Laboratório de análise e qualidade de água; b) Estação de tratamento e reservação do sistema de distribuição de água de Chibuto.	21
Figura 5- Imagens demonstrativas dos cenários de roturas comuns na rede de distribuição de Chibuto, b) e c) – rotura nas condutas de água; a) – danos ambientais causados, pela demora na reparação das fugas.....	22
Figura 6- Configuração do mapa da rede de distribuição do sistema de abastecimento de água..	24
Figura 7- Colecta de dados de vazão na rede.	28
Figura 8- Colecta de dados de pressão na rede.....	29
Figura 9- Padrão de consumo.	30
Figura 10-Configuração da modelagem hidráulica e gráfico de isolinhas das cotas topográficas, Vermelho 0-25 m, Amarelo 25-50 m, Verde 50-75 m, Azul claro 75-100 m e Azul-escuro acima de 100 m.	31
Figura 11- Comportamento base da pressão na rede de distribuição de água, Chibuto.....	33
Figura 12-Distribuição espacial da pressão a) hora maior e b) menor consumo.....	34
Figura 13- Distribuição espacial da velocidade às 06 horas.....	35
Figura 14- a) Dados estáticos; b) Gráfico de correlação entre os valores médios de pressão medidos em campo e calculados.	37
Figura 15- a) Dados estatísticos; b) Gráfico de correlação entre os valores médios de caudal medidos em campo e calculados.	38
Figura 16- Pontos com elevados índices de pressão na rede, após a calibração.	41
Figura 17- Diagrama comparativo de pressão, na rede de abastecimento de água, às 06:00 e 21:00 depois de realizadas as intervenções.	42
Figura 18- Mapa de localização dos pontos onde inseriu se as VRP's e CV.....	43
Figura 19- Mapa de elevação.....	44
Figura 20-Distribuição espacial das velocidades às 06 horas.....	45
Figura 21- Simulação do modelo depois das alterações.....	46
Figura 22- Distribuição espacial das pressões a) às 05 horas e b) às 21 horas (já trabalhado com VRP e settings já definidos).	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Quadro do balanço Hídrico – IWA, adaptado por Freitas (2018).....	8
Tabela 2- Indicadores de desempenho de perdas de água, definidos pela IWA Water Task Force (Chaveiro, 2018).....	10
Tabela 2- Indicador de perdas para o ano de 2022, Janeiro a Dezembro.....	25
Tabela 3- Balanço hídrico do ano de 2022, da área em estudo.....	26

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- Cálculo de índice de perdas.....	6
Equação 2- Cálculo de volume perdido total.....	9
Equação 3- Cálculo de Vazão.....	12
Equação 4- Cálculo da vazão média.....	15
Equação 5- Cálculo de vazão de contribuição.....	15
Equação 6- Cálculo da perda de carga Hazen-Williams.....	18
Equação 7- Cálculo da perda de carga Darcy-Weisbach.....	19
Equação 8- Cálculo da perda de carga Chezy-Manning.....	19

LISTA DE ABREVIATURAS

A - Área do orifício

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AOCH – Área Operacional de Chibuto

AWWA - American Water Works Association

CD - Centro Distribuidor

Cd - Coeficiente de descarga

EG - Entidade Gestora

FIPAG - Fundo de Investimento e Patrimônio do Abastecimento de Água

h – Pressão

Hab. - Habitante

IP - Índice de perdas

m.c.a. – Metros cúbicos de água

PVC – Policloreto de Vinilo

Q – Vazão

QGS - Quantum geographic information system

SAA – Sistema de abastecimento de água

Sabesp - Saneamento básico do estado de São Paulo

V – Velocidade média

VC - Válvula de comando

VRP- Válvula Redutora de Pressão

ZMC - Zona de Medição e Controle



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DECLARAÇÃO

Eu, Romão Júlio Isaías Cuna, Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações dos meus tutores, e todo o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, _____ de _____ de 2024

(Romão Júlio Isaías Cuna)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, cuja graça e orientação me sustentaram ao longo desta jornada acadêmica. Aos meus pais, que sempre foram meu apoio incondicional e fonte de inspiração, dedico com amor e gratidão. Aos meus irmãos, pela paciência e compreensão nos momentos em que estive ocupado com os estudos.

Aos docentes que me guiaram e compartilharam seu conhecimento, minha admiração e respeito. Aos colegas de caminhada, que enfrentaram desafios semelhantes e compartilharam risos e lágrimas, esta dedicação é também para vocês.

Ao AdRs, que me concedeu a oportunidade de realizar o trabalho de campo e aplicar os conhecimentos adquiridos durante minha formação acadêmica. Agradeço à equipe técnica e gestão, por sua colaboração, apoio e orientação ao longo do processo. Espero que este trabalho possa contribuir de alguma forma para o sucesso contínuo da empresa.

Cada um de vocês desempenhou um papel importante na minha jornada e sou profundamente grato por isso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a mim mesmo por todo o esforço, dedicação e perseverança que investi neste trabalho. Ao longo dessa jornada acadêmica, aprendi a importância da autodisciplina e da determinação. Este trabalho é o resultado do meu comprometimento com a minha educação e do meu desejo constante de superar desafios. Agradeço a mim mesmo por nunca desistir e por me manter focado em meus objetivos.

Agradeço sinceramente ao meu orientador Eng. Fernando Brazão Tembe e à minha coorientadora Eng^a. Phillipa Nomagugu Ncube por sua orientação valiosa, apoio incansável e conhecimentos compartilhados ao longo deste processo. Suas orientações, críticas e feedback construtivo foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de estender meus sinceros agradecimentos ao Chefe Eldino, aos Técnicos Calton, Vitor e o Decesar do FIPAG, ao colega de turma Valter Vidgal Cavele pelo suporte e colaboração valiosa, dedicação, expertise e profissionalismo demonstrados, foram fundamentais para o sucesso desta pesquisa. Muito obrigado por tornarem essa experiência enriquecedora e produtiva.

***“Success is the sum of small
effortsrepeated day in and
day out.” Robert Collier***

RESUMO

A problemática das perdas de água representa um desafio significativo para a gestão hídrica sustentável, afetando a disponibilidade de um recurso precioso e impactando negativamente os sistemas de abastecimento. A compreensão e ações direcionadas para a redução das perdas de água são fundamentais para garantir a disponibilidade contínua desse recurso vital, promovendo tanto a eficiência econômica quanto a conservação ambiental. O objetivo desta pesquisa é o controle de perdas de água no sistema de abastecimento, no distrito de Chibuto, desenvolvendo uma abordagem específica para a realidade deste sistema de distribuição, por forma a reduzir o desperdício de água no sistema, com recurso ao software EPANET. A pesquisa reconhece a importância do simulador na modelagem hidráulica de redes de distribuição de água e na identificação de áreas problemáticas na rede. Este estudo envolve a modelagem, calibração e análise das perdas de água na distribuição. A modelagem cuidadosa permite uma compreensão abrangente da dinâmica do sistema, identificando áreas de potencial perda. A calibração refinada dos modelos garante uma representação precisa da realidade, facilitando a detecção de desvios e vazamentos, isso proporcionará aos gestores do sistema uma visão mais clara das áreas problemáticas. Os resultados após a aplicação da rede ao simulador EPANET demonstram pressões elevadas em alguns pontos da rede que variavam de (10 a 70) m.c.a.. Após a calibração e otimização da rede, observou-se uma melhoria significativa na capacidade de mitigação das perdas. A eficácia da estratégia de controle aplicada (gestão de pressão) é avaliada por meio dos resultados do simulador após a otimização. A redução das pressões elevadas com a aplicação de VRP's (Válvulas Redutoras de Pressão) nos pontos críticos da rede foi crucial para a otimização da rede. Conclui-se que a abordagem proposta contribui para uma gestão sustentável dos recursos hídricos e melhoria da operação das redes de abastecimento. Isso resulta em benefícios econômicos e ambientais. A pesquisa oferece uma solução para o desafio persistente das perdas de água nos sistemas de abastecimento e destaca o papel do simulador EPANET e das ferramentas de análise avançada na busca por uma abordagem mais precisa e estratégica para o controle das perdas hídricas, promovendo a eficiência e sustentabilidade dos sistemas de abastecimento de água.

Palavras-chaves: Perdas de água; Modelagem hidráulica; Gestão de Pressão; Sistema de distribuição de água.

ABSTRACT

The issue of water losses represents a significant challenge for sustainable water management, affecting the availability of this precious resource and negatively impacting water supply systems. Understanding and taking targeted actions to reduce water losses are crucial to ensure the continuous availability of this vital resource while promoting both economic efficiency and environmental conservation. The objective of this research is to control water losses in the water supply system of the Chibuto district by developing a specific approach tailored to the reality of this distribution system. Our research recognizes the importance of the EPANET software in hydraulic modeling of water distribution networks and in identifying problematic areas within the network. This study involves the creation of detailed models, meticulous calibration, and analysis of water losses in the distribution network. Careful modeling allows us to gain a comprehensive understanding of the system's dynamics and identify areas where water losses occur. The refined calibration of the models ensures their accurate representation of reality, making it easier to detect deviations and leaks. The results after applying the network to the EPANET simulator indicate high pressures at certain points in the network, ranging from (10 to 70) meters of water column. After the calibration and optimization of the network, a significant improvement in the ability to reduce losses was observed. The applied control strategy, which included pressure management through the installation of Pressure Reducing Valves (PRV) at critical points in the network, was crucial for optimizing the system. In summary, our approach contributes to the sustainable management of water resources and the improvement of water supply system operations. This results in economic and environmental benefits. Our research offers a solution to the persistent challenge of water losses in water supply systems and underscores the importance of the EPANET software and advanced analysis tools in seeking a more accurate and strategic approach to water loss control, promoting the efficiency and sustainability of water supply systems.

Keywords: Water losses; Hydraulic modeling; Pressure; Pressure Management; Water distribution system

I. INTRODUÇÃO

O desperdício de água em sistemas de abastecimento é um problema global que exige soluções eficazes, e perdas de água decorrentes de vazamentos, medições imprecisas e outros fatores representam um desafio significativo para as entidades gestoras destes Sistemas de Abastecimento de Água. Um dos principais desafios a aplicação constante de novas tecnologias e práticas que garantam uma maior racionalização dos recursos e forneçam subsídios para o controle de perdas (Queiroz, 2016).

Após realizar-se uma análise sobre a situação das perdas em sistemas de abastecimento foi levado em consideração o índice de perdas, e à medida que estes níveis de perdas aumentam, surge a necessidade e empenho de esforços, que atuam na redução de possíveis ineficiências entre as fases de manutenção, planeamento, rota de investimentos e ocupações ligadas à operação e comércio (Trata Brasil, 2019).

Os índices de perdas em Moçambique variam bastante entre as gestoras de sistemas de abastecimento, e apontam para a necessidade de redução dos mesmos, alguns muito altos. O controlo das perdas é o principal desafio da Área Operacional de Chibuto-AdRs (Águas da Região Sul), uma vez que este sistema de abastecimento não opera com um bom nível de desempenho, isto implica, no aumento do volume hídrico da água captada acima do previsto no projeto, o consequente aumento no consumo de energia elétrica pelos elementos de bombeamento e ainda custos adicionais em insumos para o tratamento de água e mão-de-obra para operação do sistema (PAIRP, 2019).

Para compreender a dimensão do problema das perdas de água, deve-se ter a visão das principais fases de um sistema de abastecimento de água, onde podem ocorrer as perdas, mas é considerado na distribuição o lugar onde ocorrem mais perdas e estas devem ser reduzidas aos níveis considerados baixos para que estas entidades gestoras operem de forma mais sustentável, isto é, evitando os danos financeiros e ambientais, pois estas perdas geram sérios problemas para a operação de um sistema de abastecimento (Alegre *et al*, 2005).

O crescimento demográfico das povoações, as mudanças climáticas, escassez da água traz a necessidade de melhorias e ampliações nos sistemas pelas entidades gestoras, sendo necessário buscar meios de controlo e gestão das perdas, por isso, em Moçambique, verifica-se uma grande

preocupação da companhia de distribuição de água e dos investigadores na busca de soluções para implementação de processos operacionais que minimizem as perdas de água (Khanlawia *et al.*, 2022).

A presente pesquisa foi centrado na avaliação das perdas de recurso hídrico na rede de distribuição de água no centro da Cidade de Chibuto, com mais ênfase para os bairros Nhocane e Missavene, que foram considerados mais críticos. Os seus efeitos abrangem todo o sistema de abastecimento de água da Cidade de Chibuto, para o alcance deste objetivo realizou-se campanhas para medição da pressão na rede, a correta caracterização da evolução da pressão na rede, localização dos pontos de medição, a topografia do terreno, a tipologia da rede e a idade das condutas, a criação e simulação hidráulica da rede de distribuição de água, deste modo proporcionado uma sequência para um melhor planeamento para o controlo das perdas de água na rede de distribuição.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

- Controlo de perdas de água na rede de distribuição do sistema de abastecimento de água da cidade de Chibuto.

1.1.2 Específicos

- Adequar a rede de distribuição existente ao ambiente virtual;
- Identificar as perdas de água na rede de distribuição;
- Modelar e simular a rede de distribuição no EPANET.

1.2 Problema e Justificativa

A questão das altas perdas de água nos sistemas de abastecimento representa um desafio complexo. Isso se deve principalmente à presença de infraestruturas antigas e deterioradas, que frequentemente apresentam vazamentos. Além disso, a falta de manutenção preventiva e a demora na realização de reparos aumentam ainda mais essas perdas. Vários pesquisadores estão focados em resolver esse problema, com diferentes abordagens, mas com o mesmo objetivo: minimizar as perdas de água.

As perdas físicas nos sistemas de abastecimento de água são um desafio crucial enfrentado por esta EG. Essas perdas não só representam uma falta de eficiência operacional, mas também têm um impacto financeiro significativo, já que a água perdida é tratada e distribuída, mas não gera receita. Além disso, em áreas onde a água é escassa, essas perdas agravam ainda mais a situação, afetando a disponibilidade para os consumidores.

A importância de abordar essa questão é clara. A água é um recurso essencial e finito, e as perdas significativas tendem a agravar a escassez hídricas em muitas regiões, afetando o abastecimento para uso doméstico, industrial e agrícola. Isso pode levar a restrições no acesso à água e até mesmo a crises hídricas. Além disso, as perdas de água representam um desperdício significativo de investimentos públicos em infraestrutura e tratamento de água.

A eficiência de um sistema de abastecimento de água é medida pela relação entre as perdas reais e o volume de água na entrada do sistema. É crucial para as entidades gestoras distribuir o máximo de água com o mínimo de perdas para melhorar a qualidade dos serviços prestados.

A escolha deste SAA do distrito de Chibuto para realização deste estudo resulta do estágio curricular realizado nesta entidade gestora, e fundamentalmente pelos elevados valores de pressão interna, registados na rede e a discrepância constatada entre o volume de água introduzida no sistema e o volume de água que é efetivamente faturada pela entidade gestora (mais de 50% da água que sai do reservatório de distribuição não é faturada) de acordo com os dados fornecidos pelo E.G.Associado ainda ao facto de a entidade gestora não ter realizado um controlo de pressão nesta rede de distribuição. Ressaltando o facto de que no presente distrito verifica-se uma grande variação topográfica, com uma diferença de cota na ordem dos 75 metros entre o seu ponto mais alto e o ponto mais baixo do seu SAA.

Neste contexto, este trabalho pretende reduzir as perdas de água neste sistema de abastecimento, buscando atender com mais eficiência e aumentar a oferta de água, o que conseqüentemente irá reduzir o custo com a energia elétrica para esta empresa de saneamento, este estudo está mais ligado às perdas físicas, uma vez que as perdas aparentes estão ligadas a área comercial, e com o apoio da Ferramenta EPANET, que forneceu uma visão sistêmica do abastecimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas de abastecimento de água

Um sistema de abastecimento de água (SAA) é a infraestrutura encarregada de retirar água do meio ambiente natural, garantir a sua qualidade adequada e transportá-la até as áreas urbanas ou aglomerados populacionais, e toda a rede de abastecimento de água, deve ser composta por elementos hidráulicos que podem ser definidos como elementos passivos e ativos, e são compostos por bombas e válvulas, elementos ativos que podem ser operados para controlar a pressão na rede (Lousada *et al*, 2019).

Segundo Freitas (2018), define os sistemas de abastecimento de água são formados, em geral, pela captação, tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios, rede de distribuição e ligações prediais (Figura 1).

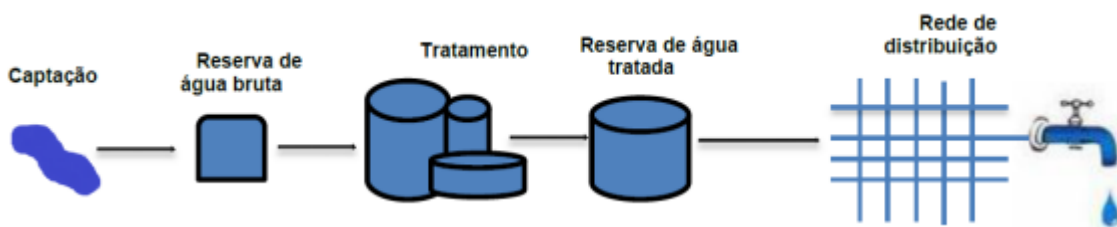


Figura 1- Etapas de um sistema de abastecimento.

Fonte: Serqueira (2020)

Os sistemas são caracterizados por serem infraestruturas com um extenso desenvolvimento linear. Sua configuração é influenciada pela topografia da região em que estão localizados, pela localização das fontes de água, pela distribuição espacial das demandas ao longo do tempo. São complexos de construir e geralmente requerem um tempo considerável para serem concluídos. Além disso, não são facilmente expansíveis e envolvem investimentos substanciais de capital e recursos (Santana, 2022).

2.2 Perdas de água

De acordo com Santana (2022), não se pode abordar sobre as perdas de água, sem ser precedida da definição clara do balanço hídrico, pois este serve de apoio a definição de perdas de água, que a define como, toda perda real ou aparente ou o consumo de água não autorizado que determina

aumento do custo de funcionamento deste sistema e que impeça a realização plena da receita operacional.

Perdas de água caracterizam-se pelo volume de água correspondente à diferença entre o volume entrado ou produzido no sistema e o consumo autorizado, aqueles que são medidos nos pontos consumidos. Podem ser calculadas para o sistema como um todo, ou para seus subsistemas, como sejam a rede de água não tratada, pois estas perdas podem ocorrer em qualquer etapa, por vazamentos, problemas de gestão, fraudes ou erros de medição (Kusterkoet *al*, 2018).

Para Freitas (2018), Perdas de água é todo o volume de água não facturado por perdas (reais ou aparentes) que podem ser causados por vazamentos nas condutas, reservatórios, redes de distribuição, fraudes, ligações clandestinas ou erros de medição.

No presente estudo foi utilizado o índice percentual de perdas na distribuição, pois este indicador é o mais utilizado tradicionalmente, e este índice (IP) é definido pela seguinte Equação:

$$IP = \left(\frac{(VP + VTI - VS) - VC}{(VP + VTI - VS)} \right) \cdot 100 \% \quad (\text{Eq1})$$

Onde:

IP - Índice de perdas na distribuição (%);

VP - Volume de água produzido (m³);

VTI - Volume de água tratado importado (m³);

VS - Volume de água de serviço (m³);

VC - Volume de água consumido (m³).

2.2.1 Perdas aparentes

Consideram-se perdas aparentes, todas aquelas que surgem a partir de erros nas operações dos trabalhos de entidade gestora, devido a vários fatores como o mau estado ou imprecisão dos contadores, erros de facturação e pelo consumo ilícito, devido às irregularidades como ligações clandestinas e fraudes. Esta parcela de perdas aparentes representa perda de facturamento da entidade gestora, pois estas correspondem ao volume de água que é consumido e não contabilizado (Moura, 2017).

As perdas aparentes de água referem-se à perda de receita. Essa porcentagem de perda leva em consideração todas as imprecisões relacionadas às medições da água produzida e consumida, bem como o uso não autorizado (como roubo ou uso ilegal). As perdas físicas que ocorrem após o medidor do cliente podem contribuir significativamente para o aumento das perdas aparentes. Reduzir as perdas aparentes permite aumentar a receita, o que melhora o desempenho financeiro da organização responsável e a qualidade dos serviços prestados (Simões, 2019).

2.2.2 Perdas reais

Considerado de perda real, todo o volume de água que não é consumido, mas é perdido durante o seu transporte, desde a sua captação, tratamento até aos consumidores finais, e estas perdas podem ocorrer de variadas formas como desgaste da tubagem, elevadas pressões, vazamentos nas conexões. E estes vazamentos podem ser visíveis (os que alcançam a superfície da terra, sendo fácil de localizar), e não visíveis (não alcançam a superfície da terra, são localizados durante a realização de trabalhos na rede e ramais), segundo (Moura,2017).

As perdas reais se referem ao volume de água que corresponde às perdas físicas ocorridas até o medidor do cliente quando o sistema de água está sob pressão. O volume anual de perdas devido a vazamentos, rupturas e extravasamentos de todos os tipos depende da frequência, da quantidade de água vazada e da duração média de cada vazamento. Ao reduzir as perdas reais, os custos de produção (energia e produtos químicos), transporte (energia) e aquisição (compra de água) são reduzidos. Sistemas mais eficientes também resultam em tarifas menos onerosas para os clientes (Simões, 2019).

Existem dois tipos de vazamentos: os vazamentos visíveis, que são aqueles que podem ser vistos na superfície de ruas e calçadas e são relatados pela população, sendo prontamente reparados. Por outro lado, existem os vazamentos não visíveis, que não são aparentes na superfície e requerem a realização de ações de inspeção nas redes e ramais de abastecimento, utilizando equipamentos e métodos baseados em detecção acústica para localizá-los (Sabesp, 2023).

2.3 Balanço hídrico do sistema de abastecimento de água

No ano 2000 foi publicada a primeira abordagem padrão para os cálculos das perdas de água e indicadores de desempenho, com as respectivas definições de todos os termos patentes, dando um passo à frente para a melhor gestão, agora é usado e recomendado com algumas adições, cada vez em muitos países (Freitas, 2018).

Ao lidar com o problema de perda é preciso avaliar o desempenho do Sistema de Distribuição de Água, aplicando as metodologias conhecidas e utilizadas em todo o mundo, as associações, como a IWA e *AmericanWater Works Association* (AWWA) sugeriram matrizes metodológicas para avaliar o nível de desempenho de um sistema que incluem bancos de dados de indicadores e o Balanço Hídrico (Guimarães, 2019).

A IWA (*InternationalWaterAssociation*) propõe uma abordagem integrada na utilização dos indicadores de desempenho, caracterizando as perdas no sector de abastecimento de água para fins de obtenção de parâmetros, definindo as perdas no sentido físico e económico, apresentados no quadro do Balanço Hídrico de Água.

Tabela 1- Quadro do balanço Hídrico – IWA, adaptado por Freitas (2018).

Volume de Entrada no Sistema	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Facturado	Consumo Medido Facturado (incluindo água importada)	Água Facturada
			Consumo Estimado Facturado	
		Consumo Autorizado não facturado	Consumo Medido Não Facturado	Água Não Facturada (ANF)
			Consumo Estimado Não Facturado	
	Perdas de água	Perdas aparentes (Não Físicas)	Consumo Não Autorizado	
			Erro de Medição	
		Perdas Reais (Físicas)	Vazamentos e Extravasamentos em Reservatórios	
			Vazamentos em Adutoras e Redes	
			Vazamentos em Ramais até o ponto de medição do cliente	

Fonte: Freitas (2018)

Segundo Guimarães (2019), as variáveis do balanço hídrico são:

Volume de Entrada no Sistema (m³/mês) - é o volume de água que entra no sistema;

Consumo Autorizado Facturado (m³/mês) – corresponde ao volume de água registado nos hidrômetros dos consumidores, em outros casos onde não existe higrómetro ou há falhas no seu funcionamento, o volume mínimo de facturado.

Consumo Autorizado não Facturado (m³/mês) – corresponde ao volume de água utilizado pela empresa para actividades operacionais especiais ou os destinando a usos de carácter social, sem incluir as perdas geradas em áreas irregulares.

Volume de Perdas (m³/ano) - é obtido com o apoio da seguinte equação:

$$Volume\ perdido\ total\ anual = (1,8xLm + 0,8xNL)x \frac{P}{1000} (m^3/ano) \quad (Eq2)$$

Onde:

Lm – comprimento da rede (Km)

NL - n° de ligações.

P–pressão media (m.c.a.)

2.3.1 Indicadores de perda

De acordo com Saintiet *al.* (2018), os indicadores de desempenho foram criados para quantificar e uniformizar as perdas, deste modo possibilitando a comparação destes volumes em diferentes sistemas. Estes indicadores representam a eficiência e eficácia no que diz respeito à prestação de serviços pela EG do sistema. É um instrumento bastante utilizado no controle e para tomada de decisões na rede, possui como objetivo principal referenciar uma gestão do sistema tendo em conta o desempenho e as metas a alcançar.

Os indicadores estão diretamente ligados ao balanço hídrico, formando um conjunto de indicadores para as diferentes componentes, que fazem parte do balanço hídrico, nomeadamente: i) água não faturada (ANF); ii) perdas de água; iii) perdas reais e iv) perdas aparentes.

Nesta abordagem, já trabalhada pelo IWA *WaterTask Force*, este conjunto subdivide-se em tipologias diferentes, que são apresentados na Figura abaixo.

Tabela 2- Indicadores de desempenho de perdas de água, definidos pela IWA Water Task Force (Chaveiro, 2018)

Componente	Tipo	Indicadores de performance base	Indicadores de performance detalhado
Água não faturada	Financeira	Volume de ANF como % do volume de água no sistema	Valor de ANF como % de custo do sistema
Perdas de água	Operacional	m ³ /ramal/ano	-
Perdas aparentes	Operacional	-	m ³ /ramal/ano
Perdas reais	Recurso	Volume de perdas reais como % do volume de água no sistema	-
	Hídrico		
Perdas reais (em cada caso, o indicador é calculado por dia, quando o sistema pressurizado, para permitir o efeito de abastecimento intermitente)	Sistema operacional	Litros/ramal/dia para sistemas com 20 ou mais ramais/km conduta	Índice de fugas na infraestrutura será definido como o rácio entre perdas reais anuais e perdas reais anuais inevitáveis
		Uso de m ³ /km/dia para sistemas com menos de 20 ramais por km	

Fonte: Chaveiro (2018)

2.4 Controlo de perdas de água

No curto prazo, a gestão das perdas reais deve se concentrar em reduzir a duração das perdas, o que envolve uma intervenção rápida assim que os vazamentos são detectados, e aprimorar a qualidade dos reparos realizados. Para alcançar resultados a médio e longo prazo, é necessário promover ações relacionadas à gestão da pressão nas redes de distribuição, à eficiente administração dos ativos da empresa e à implementação de um controle ativo de vazamentos. Essas medidas contribuirão de forma eficaz para a redução das perdas na rede de abastecimento de água (Ferreira, 2022).

Segundo Chaveiro (2018), existem abordagens diferentes, sobre a metodologia ligada ao controlo de perdas de água, sendo sempre a principal dimensão económica deste problema, sendo todas as outras componentes consideradas como complementares. A EG depois de escolhido o modelo de abordagem, deve ter o seu ponto de partida para a sua implementação da estratégia, a modularização do SAA, a sectorização da rede, através de ZMC, para que se proceda à identificação e resolução dos problemas.

Para Chaveiro (2018), os princípios básicos para o desenvolvimento de uma estratégia, deve se sempre ter em conta a realidade de cada EG, no controlo de perdas reais de água:

- Definição de objectivos estratégicos;

- Identificação e caracterização preliminar do SAA e da área em que se insere;
- Determinação do custo da água;
- Determinação do nível atual de perdas;
- Determinação dos métodos de controlo ativo de perdas e dos seus custos e alternativas;
- Cálculo do nível económico de perdas;
- Análise de proceder a campanhas de redução de pressões como primeiro passo;
- Análise de alternativas possíveis e identificação das opções (em relação ao controlo ativo de perdas);
- Implementação dos métodos escolhidos;e
- Avaliação do desempenho para a nova situação.

A redução de perdas relaciona-se diretamente com o tempo médio de localização das fugas e a rápida extinção, mostrará níveis de eficiência para cada entidade gestora.

Verificando-se que em Chibuto tem já denominado a sua área de interesse, e um elevado índice de perdas. O que torna necessário o planeamento rápido e eficaz para o controlo das perdas de água e melhoramento da eficiência deste SAA.

2.4.1 Zonas de Medição e Controlo (ZMC)

A medição setorizada é uma técnica utilizada para o controlo de caudais e conseqüente apoio no controlo das perdas, consiste na sectorização da rede em zonas ou pontos de medição e controle, com limites definidos e bem identificados, onde as entradas e saídas de água são controladas facilitando a obtenção de informação detalhada acerca do balanço de caudais e o comportamento dos consumos. Estas subdivisões denominam-se zonas de medição e controlo, ou abreviadamente ZMC (Chaveiro, 2018).

Guimarães (2019) descreve como a técnica ou requisito básico para o melhor controlo operacional dos SAA, isto é, combater o vazamento, redução de pressão, monitorização de qualidade da água, rapidez nas actividades de reparação e a definição de horários de fornecimento de água. A ideia central é estabelecer áreas parcialmente isoladas do restante da rede, e a sectorização se traduz em benefícios económicos devido a uma redução de vazamentos não

visíveis, vazamentos visíveis, vazamentos não detetáveis ou inerentes, número (frequência) dos vazamentos e o Volume distribuído.

A ABNT (2017), recomenda os seguintes critérios melhor controle e eficiência são:

Máximo de 5.000 ligações;

Extensão máxima de 25 km de rede do ZMC.

2.4.2 Gestão de pressão

A gestão de pressão é muito fundamental na estratégia de redução do volume de perdas, e sempre que o balanço hídrico apontar a existência de perdas reais ou dificuldades de abastecimento na rede está deve ser reavaliada.

A pressão aplicada por gravidade ou pelas bombas num sistema de distribuição é proporcional ao volume de água perdida, deste modo, quanto maior for a pressão, maior é o volume de água que se perde na rede (Moura, 2017).

2.4.3 Relação pressão e vazamentos

Em redes de distribuição, a pressão tem sido um dos fatores principais para o aumento do índice de perdas reais, isto é, quando elevados os níveis de pressão, conseqüentemente gera-se o aumento do volume de perdas em vazamentos na rede, visíveis e não visíveis, elevando o volume de água perdido na rede.

É necessário controlar os níveis e condições operacionais dos reservatórios, variações do consumo, e o funcionamento dos equipamentos e acessórios (Moura, 2017).

Os vazamentos na rede têm um comportamento idêntico ao dos orifícios da tubulação, e a hidráulica define a vazão a partir da seguinte equação:

$$Q = V \cdot A = C_d \cdot (2bh)^{0.5} \cdot A \quad (\text{Eq3})$$

Onde:

Q - Vazão (m³/s);

Cd - Coeficiente de descarga;

A - Área do orifício;

V – Velocidade média da água;

g - 9,81 m/s² (aceleração da gravidade);

h– Pressão.

2.5 Modelação hidráulica do sistema de distribuição de água

A modelagem hidráulica de redes de distribuição de água descreve a como sendo uma parte muito importante do fornecimento de água confiável e acessíveis as grandes populações (Freitas, 2018).

Para satisfazer a necessidade de água no abastecimento da população, é importante reduzir o índice de perdas e efetuar uma boa gestão dos sistemas de abastecimento de água, e a modelagem das redes de distribuição de água é visto como um dos instrumentos fundamentais, pois proporcionam melhor eficiência, seja na fase de projeto ou de controlo operacional. (Araújo *et.al*, 2019).

A modelação matemática de sistemas de abastecimento de água fornece um dos principais caminhos, para replicar, da forma mais correta possível, o comportamento real do sistema físico que representa, por não ser prático e nem viável simular situações diferentes num sistema existente e em funcionamento, também é usado para sistemas que ainda não foi construído e deseja-se avaliar o seu comportamento. Poderá também ser importante para otimizar alguns aspetos da exploração do sistema, permitindo com isso o aumento das próprias receitas geradas (Serqueira, 2020).

Os dados que melhor caracterizam um modelo de simulação hidráulica de um sistema de abastecimento de água incluem (Santana, 2022):

Todas as características físicas do sistema, incluindo redes de tubulações, reservatórios, estações de bombeamento, válvulas, etc.;

As equações matemáticas que são utilizadas para reproduzir o comportamento do sistema e de seus componentes, levando em consideração os princípios da hidráulica e da hidrodinâmica.

Atualmente existem diferenciados *softwares* computacionais que auxiliam na obtenção de um nível nos resultados satisfatório, tendo em conta sempre o pretendido, tais como o WATERCAD, o WATNET ou o EPANET. Na escolha do modelo a se empregar devem-se ter sempre em conta vários aspetos tais como:

- O custo;
- A facilidade de utilização;
- A operacionalidade e flexibilidade do programa;
- A robustez do modelo;

- A velocidade de processamento;
- As componentes representadas;
- As características do modelo de qualidade;
- A integração com bases de dados de CAD, SIG e SCADA;
- O apoio técnico e a documentação.

2.6 Calibração do Modelo

Sempre que o modelo é aplicado a um sistema já existente, é essencial realizar uma validação dos resultados obtidos para aproximá-los o máximo possível da realidade. A modelagem adequada envolve encontrar um equilíbrio entre a representação precisa da realidade, a simulação dessa realidade e o esforço necessário para fazer com que os resultados do modelo correspondam de forma satisfatória à realidade. Isso é fundamental para atender aos objetivos de estudo estabelecidos (Simões, 2019).

A calibração de um modelo de qualquer sistema físico envolve o processo de ajustar e validar o modelo em várias condições de operação cuidadosamente escolhidas, de modo a permitir que sua utilização seja confiável para a análise desejada. Um modelo calibrado deve ser capaz de fornecer informações sobre variáveis do comportamento do sistema que não são diretamente medidas, tanto em situações de funcionamento semelhantes às usadas na calibração quanto em cenários operacionais diferentes. Em resumo, a calibração visa garantir que o modelo seja uma representação precisa e confiável do sistema real (Santana, 2022).

A recolha dos dados de caudal e pressão no processo de modelação têm relevância e são motivados pela estimativa das solicitações e das condições do sistema e pelos dados que caracterizam o comportamento real deste sistema. É difícil obter a estimativa correta do consumo de água e o padrão de consumo nos nós, sendo informações essenciais para a calibração e para o uso no modelo. Segundo o mesmo autor, um modelo calibrado deve obedecer um grau de exatidão, e na fase de calibração permite (Chaveiro, 2018):

- Cumprir com o grau desejado de fiabilidade do modelo;
- Adquirir conhecimentos e aprofundar acerca do funcionamento deste sistema;
- Verificar e sanar todos os erros nos dados ou falhas localizados no sistema.

Nos modelos e simulação existem dois tipos de intervenção:

- Submissão a testes específicos e localizados em subconjuntos da rede, para verificação das perdas de carga localizadas e os coeficientes de perda de carga das condutas;

- A realização de comparações estruturadas e sistematizadas entre medições em cenários habituais de operação, hora de ponta e de vazio, e os valores correspondentes obtidos através do modelo.

A medição de pressões fornece dados importantes para a calibração de modelos de redes, pelo seu ganho de sensibilidade do sistema e resolução de variados problemas operacionais, estas medições podem ser feitas em qualquer ponto de acesso na rede de distribuição ou com capacidade de registo através de micromedidores. A medição de caudal no sistema de abastecimento é feita através de medidores em pontos-chave da rede que podem ser nas entradas e saídas de reservatórios, estações elevatórias, entradas e saídas de sistemas, incluindo zonas de medição e controlo de perdas (Chaveiro, 2018).

A calibração de um modelo não pode se estender por cenários alargados, deve se definir os cenários específicos, como nos modelos estáticos, evitando a introdução de um maior número de graus de liberdade pela utilização da variável tempo, contudo, se não tiver boas estimativas de parâmetros, o modelo de simulação testado não poderá estar a representar a realidade, portanto, todas as decisões tomadas com base nesta análise vão produzir erros gravíssimos na operação das mesmas, tornando-se impossível calibrar a rugosidade troço a troço pelos erros, e a perda de carga depende da rugosidade da conduta, do diâmetro e do caudal, segundo Chaveiro (2018).

i. Vazão média do consumo diário:

$$Q = \frac{P \cdot q}{86400} \quad (\text{Eq4})$$

Onde:

P - População atendida (nº habitantes);

q - Consumo médio per capita (l/hab.dia);

1/86400 - Fator de conversão de dia para segundos;

Q - Vazão média consumida de água (l/s)

ii. Vazão de contribuição para cada nó:

$$Q_i = q_L \cdot L_{fic_i} \quad (\text{Eq5})$$

Onde:

Q_i - Vazão no nó i (Base Demand);

q_L - Vazão característica linear (l/s.m);

L_{fic_i} - Comprimento fictício de contribuição para o nó i .

iii. Padrão de consumo de água.

A NBR12.218:2017 (ABNT, 2017) estabelece que, em caso de inexistência de informações a respeito do padrão do consumo, sejam adotados os valores já estabelecidos por estes:

$$K1 = 1,2;$$

$$K2 = 1,5;$$

$$K3 = 0,5$$

2.7 EPANET

De acordo com Chaveiro (2018), o EPANET 2.0 é um software que possui um pacote de recursos hidráulicos de modelação de redes de distribuição de água, desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA). Este software realiza simulações com variações temporais do comportamento hidráulico da rede e da qualidade da água em condutas sob pressão. É uma ferramenta útil de investigação que permite conhecer a evolução da qualidade da água ao longo do tempo e do espaço, dentro de um sistema de distribuição.

O EPANET 2.0 foi concebido de modo a servir de ferramenta de apoio à análise do SAA, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino da água para consumo humano. O estabelecimento de cenários de projeto, a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento de cloro residual e a avaliação dos consumos são alguns dos potenciais que as suas simulações permitem. O simulador criado pela USEPA está capacitado para realizar dois tipos de modelação:

Hidráulica e Qualidade da Água.

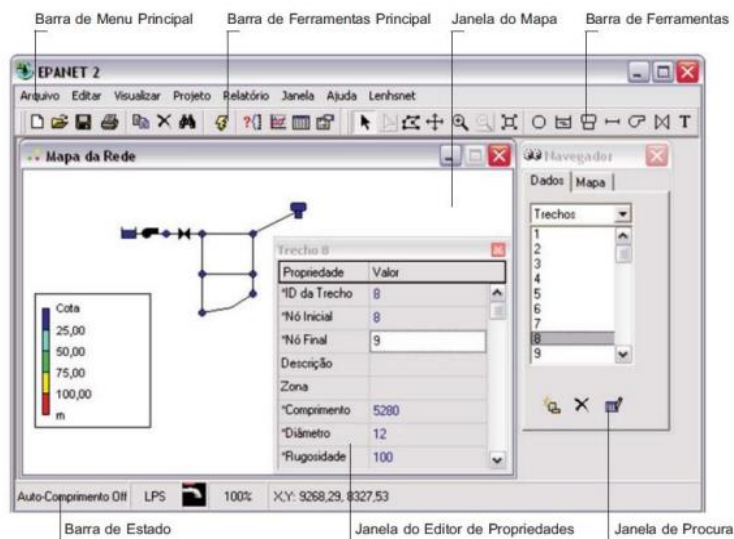


Figura 2-Configuração do ambiente de trabalho do Epanet.

Fonte: Rosseman (2009)

Conforme descrito por Queiroz (2016), o Epanet é um software automatizado que permite a simulação do comportamento hidráulico e da qualidade da água em sistemas de distribuição, abrangendo diversas condições operacionais ao longo de um determinado período de funcionamento.

Durante uma simulação hidráulica, o Epanet utiliza informações detalhadas sobre os componentes da rede e os consumos nos nós para calcular as vazões em cada trecho, as pressões em cada nó, as alturas da água em reservatórios de nível variável e a concentração de substâncias químicas em toda a rede durante o período simulado. Destacam-se entre as principais características das ferramentas de cálculo disponíveis no Epanet 2 a capacidade de analisar redes de dimensões ilimitadas, calcular a perda de carga utilizando fórmulas bem estabelecidas na literatura (como Hazem-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning) e modelar uma variedade de equipamentos, incluindo bombas, válvulas redutoras de pressão e reservatórios (Queiroz, 2016).

2.7.1 Capacidade de Modelação Hidráulica

O modelo de simulação EPANET calcula a carga hidráulica nos nós e o caudal ao longo dos troços, para um conjunto fixo de níveis nos reservatórios de nível fixo, e alturas nos reservatórios

de níveis variáveis e seus consumos para uma sucessão de pontos, ao longo do tempo. Em cada passo de cálculo, os níveis de água nos RNF e os consumos nos nós são atualizados, de acordo com o padrão temporal que lhes está associado, enquanto a altura de água no RNV é atualizada em função do caudal de saída. Uma rede completamente caracterizada (ou seja, incluindo todas as tubagens, sem simplificações) e uma modelação fiável constituem pré-requisitos essenciais para a correta modelação de qualidade de água, (Serqueira, 2020).

O modelo de simulação EPANET possui ferramentas de cálculo que se destacam pelas suas principais características:

- Dimensão da rede a analisar sem limites;
- Cálculo da perda de carga com base nas fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Considera as perdas de carga singulares nas curvas, alargamentos, estreitamento, etc.;
- Modelação de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo de energia e do respectivo custo de bombeamento;
- Modelação dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, retenção, reguladoras de pressão e de caudal;
- Modelação de reservatórios de água e de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- Modela a relação entre a pressão e o caudal efluente de dispositivos emissores (ex.: aspersores de rega, ou consumos dependentes da pressão);
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controlos simples, dependentes de uma só condição (ex.: altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controlos com condições múltiplas (Santana, 2022).

Fórmula para o cálculo da perda de carga:

i. Fórmula de Hazen-Williams

$$h_f = \frac{10.67 L}{C_{HW}^{1.852} \cdot D^{4.87}} Q^{1.852} \quad (\text{Eq6})$$

Onde:

h_f – Perda de carga (m)

L – Comprimento do tubo (m)

D – Diâmetro interno do tubo (m)

Q – Vazão (m/s)

C_{HW} – Coeficiente de rugosidade

ii. Fórmula de Darcy-Weisbach

$$h = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (\text{Eq7})$$

Onde:

h – Perda de carga (m)

L – Comprimento do tubo (m)

D – Diâmetro interno do tubo (m)

g – 9,81 m/s² (aceleração de gravidade)

V^2 – Velocidade.

iii. Fórmula de Chezy-Manning

$$h_f = \frac{10.3 L (nQ)^2}{D^{5.33}} \quad (\text{Eq8})$$

Onde:

h_f – Perda de carga (m)

L – Comprimento do tubo (m)

D – Diâmetro interno do tubo (m)

Q – Vazão

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição da área de estudo

Chibuto tem uma superfície de 5 878 km², situa - se a Sudeste da Província de Gaza, fazendo limites a Este, com os distritos de Manjacaze e Panda (província de Inhambane); Norte com o Distrito de Chigubo; a Ocidente com o distrito de Guijá e a Sul com os Distritos de Xai - Xai e Chókwè. O Distrito possui seis (6) Postos Administrativos, nomeadamente Malehice, Godide, Alto-Changane, Changanine, Tchaimite e Chibuto-Sede. Neste último, situa-se o Município de Chibuto, conforme observado no mapa (figura 3).

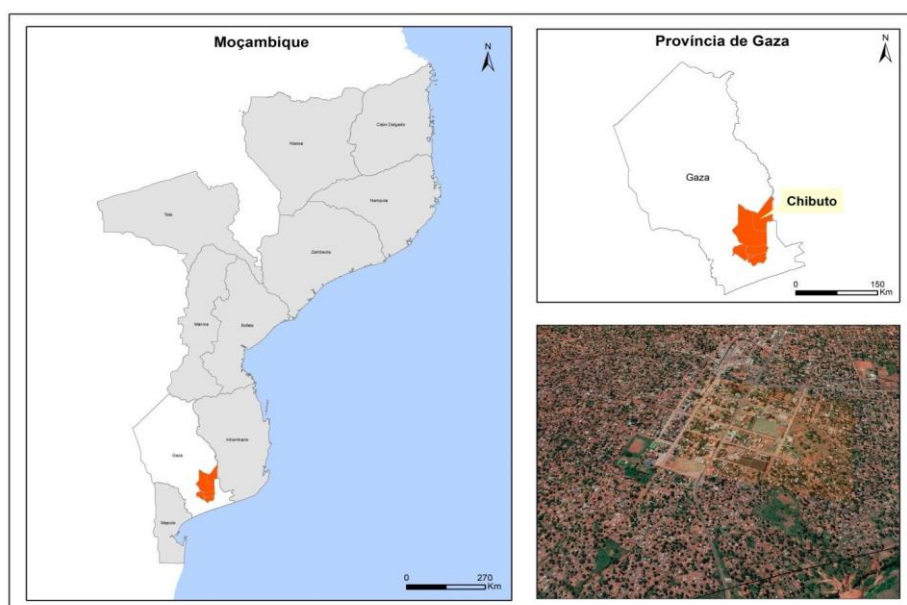


Figura 3- Mapa de localização da área de estudo, rede de distribuição de água, Chibuto

Fonte: Autor (2023)

A cidade é um município com governo local eleito e tem uma população de 222.774 habitantes, de acordo com o censo de 2017. A característica da topografia do distrito de Chibuto é variada, com alturas que variam entre 4 a 161 metros, acima do nível do mar, o centro da cidade está localizado numa região de alta declividade (INAGE, 2017).

3.2 Caracterização do Sistema de Abastecimento

A AOCH localiza-se no Município de Chibuto e íntegra uma captação, uma linha adutora, estação de tratamento de água e três centros distribuidores, tem como sua fonte única de captação

superficial um braço do Rio Chongoene localizada na aldeia de Jantinguè com capacidade instalada de 280m³/h, explorando 230m³/h, captando em média cerca de 3500m³/dia, atualmente esta entidade gestora do sistema de abastecimento de Água na cidade de Chibuto distribuindo de água potável para os bairros cidade/Zona Cimento, 25 de Junho, Canhanda, Chimundo, Cochumbane, Mudada, Mussavene, Nhocane e SamoraMachel.

Esta Área Operacional possui as principais Infraestruturas:

- Edifício Central onde decorrem todos os processos administrativos e comerciais, e torre de distribuição de água;
- Estação de Tratamento de Água, armazenamento, laboratório e escritórios para os colaboradores;
- Estação de Captação localizada no Rio Chongoene;
- Rede de distribuição com aproximadamente 83 Km.



Figura 4- a) Laboratório de análise e qualidade de água; b) Estação de tratamento e reservação do sistema de distribuição de água de Chibuto.

Fonte: Autor (2023)

O sistema de abastecimento de água apresenta diversos problemas na sua rede de distribuição, tais como ma qualidade das condutas, ocasionando maior número de roturas em condutas de PVC, e maior partes destas ocorrem nos ramais que transportam água até os consumidores finais,

como é o caso do bairro Missavene, uma zona considerada em expansão, pela rede ser nova, com uma rede com menos de 5 anos em funcionamento (dentro do período de vida útil do material).

Em alguns pontos da rede, são registados um elevado índice de roturas e perdas físicas, para além de problemas tem se notado o uso ilícito de água, avaria de contadores, degradação rápida da rede, e algumas válvulas na rede não se encontram 100% operacionais, mais que já vem sendo realizados alguns trabalhos de melhoramento, como a substituição das mesmas válvulas.



Figura 5- Imagens demonstrativas dos cenários de roturas comuns na rede de distribuição de Chibuto, a) – danos ambientais causados, pela demora na reparação das fugas; b) e c) – rotura nas condutas de água.

Fonte: Autor (2023)

3.2.1 Rede de Distribuição

A rede de distribuição existente tem uma extensão total de cerca de 87 km, dos quais 13 km de fibrocimento (AC), 442 m de galvanizado, 616 m de polietileno alta densidade (HDPE) e restante em policloreto de vinilo (PVC), mas a nossa área de estudo possui uma extensão de rede de cerca de 14 km.

A maior parte desta extensão de rede, abastece um outro sector que está isolado, que são os bairros que estão na zona alta, e uma parte da zona da cidade, que não será abordado neste estudo. A rede existente tem cerca de 5537 ligações, e não atende a 100% todas estas populações, pois algumas destas encontram-se inactivas por diversas razões, e nem todas estão hidrometradas. Esta rede possui diâmetros, que geralmente variam de 50 mm a 250 mm, e diâmetros inferiores a 50 mm para as ligações domiciliare. Uma parte da rede possui condutas com mais de 10 a 15 anos, que encontra-se em estado obsoleto, e a rede possui válvulas de comando.

3.2.2 Tipologia da rede

A presente rede possui uma rede de distribuição com a configuração mista, malhada com ramificações, dessa maneira, é possível proceder o escoamento unidirecional e bidirecional simultaneamente.



Figura 6- Configuração do mapa da rede de distribuição do sistema de abastecimento de água

Fonte: Autor (2023)

3.3 Indicadores de perda

Observou-se com base no histórico dos dados do sistema de abastecimento, relativamente ao ano de 2022 (apresentados na tabela 2), que o índice de macromedição está em 89%, permitindo que estes dados sejam consideravelmente confiáveis. O indicador de perdas aponta para um gerenciamento ruim pela entidade gestora do sistema (IP superior a 40%), de acordo com Queiroz (2016).

Tabela 3- Indicador de perdas para o ano de 2022, Janeiro a Dezembro.

	Vol.Captado	Vol.Produzido	Vol.Facturado	Perdas Volume Mensal	Perda (UFW)
	Mensal	Mensal	Mensal		
Jan-22	89,333	87,759	32,479	55,280	63%
Feb-22	79,420	78,460	30,884	47,576	61%
Mar-22	118,173	116,473	28,627	87,846	75%
Apr-22	102,795	103,399	30,193	73,206	71%
May-22	107,034	104,896	35,539	69,357	66%
Jun-22	100,018	97,810	34,376	63,434	65%
Jul-22	106,645	104,506	37,262	67,244	64%
Aug-22	103,916	101,707	37,805	63,902	63%
Sep-22	103,713	101,636	40,087	61,549	61%
Oct-22	111,020	108,869	43,769	65,100	60%
Nov-22	109,931	107,689	45,705	61,984	58%
Dec-22	108,797	106,590	44,246	62,344	58%

Fonte: FIPAG

3.4 Balanço Hídrico

O balanço hídrico foi determinado para o ano de 2022, com base nos dados fornecidos pela entidade gestora do sistema de abastecimento. A realização deste seguiu o modelo proposto pela IWA e foi utilizado o programa *WB-EasyCalc* desenvolvido por Liemberger por intermédio do WorldBank - WB (2006).

Existem várias suspeitas sobre maiores perdas no sistema, como consumo ilegal, vazamentos nos ramais, cavaletes dos consumidores, nos anéis ao longo da rede de distribuição. A figura abaixo ilustra a matriz do balanço hídrico para o ano de 2022.

Tabela 4- Balanço hídrico do ano de 2022, da área em estudo.

Volume de Entrada no Sistema 1,219,794 (m ³)	Consumo Autorizado 440,972 (m ³) 36.2%	Consumo Autorizado Facturado 440,972 (m ³) 36.2%	Consumo Medido Facturado 394,229 (m ³) - 32.3%	Água Facturada 440,972 (m ³) 36.2%	
			Consumo Facturado não medido 46,743 (m ³) 3.8%		
	Perdas de água 778,822 (m ³) 63.8%	Consumo Autorizado não facturado 0 (m ³) 0.0%		Consumo Medido Não Facturado 0 (m ³) - 0.0%	Água Não Facturada (ANF) 778,822 (m ³) 63.8%
				Consumo Estimado Não Facturado 0 (m ³) - 0.0%	
		Perdas Reais (Físicas) 720,191 (m ³) 59.0%	Perdas aparentes (Não Físicas) 58,631 (m ³) 4.8%	Consumo Não Autorizado 14,533 (m ³) - 1.2%	
			Vazamentos e Extravasamentos em Reservatórios 108,029 (m ³) - 29.5%	Vazamentos em Adutoras e Redes 360,096 (m ³) - 29.5%	
			Vazamentos em ramais até o ponto de medição do cliente 252,067 (m ³) - 20.7%		

Fonte: FIPAG

De modo geral a presente matriz apresenta com coerência a realidade das perdas de água no sistema de abastecimento para o ano de 2022.

3.5 Procedimentos Metodológicos

3.5.1 Coleta de dados na entidade gestora

O levantamento dos dados ou informações para a concretização deste trabalho foi realizado junto da entidade gestora deste sistema, por meio de visitas e pesquisas de campo, consulta de projetos antigos do sistema, entrevista a funcionários e ex-funcionários que possuíam maior conhecimento e detalhes sobre a planta da rede de distribuição.

Foram coletadas informações como: população usuária da rede, bem como a demanda do abastecimento, a estruturação da rede de distribuição, diâmetro e comprimento da tubulação, capacidade e altura do reservatório. Por não existirem na sua base de dados comprimentos e cotas de cada nó, exatas da rede, recorreu-se ao Google Earth para obter dados mais próximos à realidade.

Em relação aos dados de demanda dos nós, não foi obter na base de dados da EG, por falta de conhecimento desta, então teve que se recorrer a pesquisas relacionadas a dimensionamento de sistemas de abastecimento de água, com base nos dados dos clientes que estão dentro do perímetro da área do estudo, os comprimentos dos trechos e o fator de contribuição de cada trecho, foi possível obter o valor da demanda base de cada nó, a tabela que consta dos anexos.

Depois de obtidas estes dados, foi o que possibilitou o traçado da rede no *softwareEPANET*, e foi discriminado os diferentes conjuntos de equipamentos, reservatórios e acessórios da rede de distribuição.

3.5.2 Coleta de dados no campo

Nesta fase realizou uma avaliação delicada entre os dados fornecidos pela entidade gestora e os encontrados no campo, constatou-se diversas inconsistências entre estes. Os pontos de interesse para efetuar-se as medições de pressão e vazão foram selecionados com base nos históricos de fugas na base de dados, reclamações dos consumidores sobre baixa pressão e pressões acima dos limites normais conforme o estabelecido pela NBR 12218/2017.

Durante a campanha de reconhecimento da rede buscou-se observar as razões de baixas pressões na rede, e constatou-se em algumas residências que os contadores encontravam-se entupidos, do material filtrante, e foi necessário fazer limpeza destes.

A recolha de dados no campo foi feita no período de uma semana e optou-se por selecionar 4 pontos distintos ao longo da rede de distribuição.

3.5.3 Medição de pressão e vazão

As medições de pressão e vazão foram feitas em horários e locais estratégicos, com o objetivo de facilitar o reconhecimento dos pontos com pressão mínima e máxima.

Os dados de vazão foram colhidos ao longo da tubulação em pontos estratégicos e considerados críticos, com base no histórico da EG. O equipamento para medição de vazão foi programado

para coletar dados em curtos períodos e como a rede possui diâmetros diferentes, era configurado constantemente.

Os dados registados pelo macro medidorultrassónico ocorreram na saída do reservatório que abastece o centro da cidade, assim como em locais considerados críticos como as saídas e entradas das zonas de medição e controle.

Estes dados ajudaram a fornecer os parâmetros para a modelagem hidráulica, melhorias em pontos e a calibração das simulações.

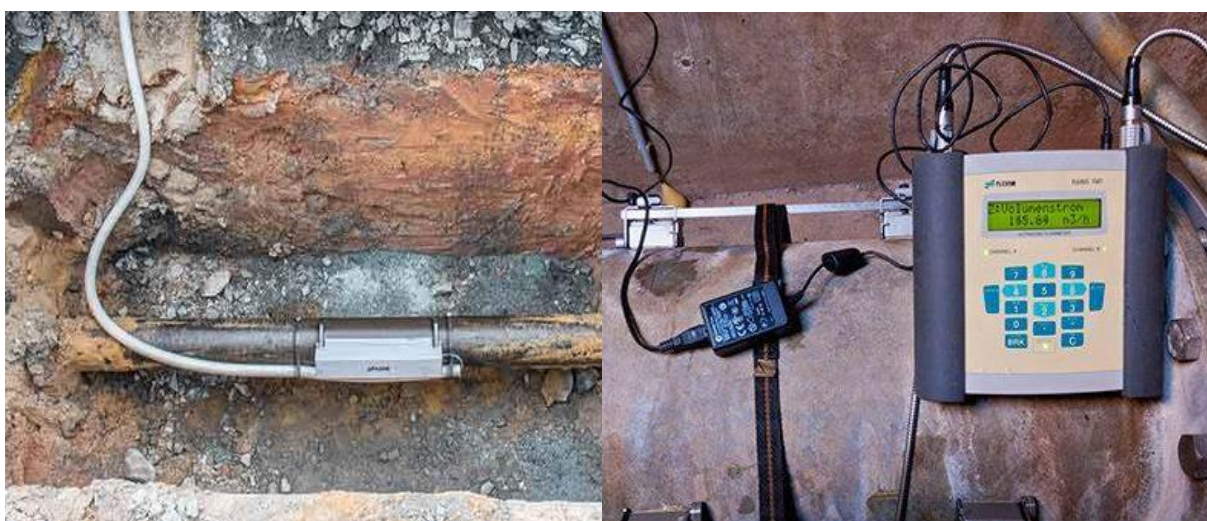


Figura 7- Coleta de dados de vazão na rede.

Fonte: Autor (2023)

Para a medição de pressão obedeceu o mesmo critério, porém estas foram realizadas nos cavaletes dos usuários residentes próximo aos locais de medição de vazão, com ajuda de um manómetro analógico, foram realizadas medições instantâneas em todos os pontos nos mesmos horários nestes sectores de distribuição.

Os dados coletados foram anotados num caderno técnico para permitir o reconhecimento dos pontos críticos (Pressão baixa e máxima), e ajudar a perceber qual é a razão das perdas visíveis.

Durante a realização dos trabalhos em campo e no simulador, observou-se todas as normas regulamentadas pela NBR 12218/2017 (projecto de rede de abastecimento de água para o abastecimento público), com base na realidade do local em estudo.



Figura 8 - Coleta de dados de pressão na rede.

Fonte: Autor (2023)

3.5.4 Modelagem e simulação hidráulica

Com recurso ao googleEarth pro, o arquivo contendo o traçado da rede de distribuição foi salvo na extensão. dxf é feita a captura de imagem da tela na resolução 4k, e convertida para a extensão. bmp, e inserido no EPANET para facilitar o traçado da rede.

Do EPANET, os dados da rede de distribuição foram inseridos manualmente, e o objetivo de se utilizar o Google Earth pro, foi facilitar a extração das cotas e a localização dos pontos ao longo da rede.

Realizou-se simulação estática e dinâmica da rede de distribuição, e foi necessário calcular a vazão média do consumo diário (equação, 4), onde adotou-se 5 habitantes por residência e um consumo de 80 L/hab. Dia.

Para o cálculo da vazão de cada nó (Q_i , Equação 5), foi necessário realizar um trabalho exaustivo, com base com conhecimento empírico da rede, o comprimento real de cada trecho, e fator de

contribuição de cada trecho ligado ao nó, foi possível obter a vazão para cada um dos 98 nós na rede.

Para a simulação dinâmica utilizou-se as informações usadas na simulação estática, porém houve uma alteração ao longo de seu consumo, e criou-se um padrão temporal, para representar esta variação, e fixou-se em 24 horas o período para simulação. Na construção do Padrão Temporal da simulação foram definidos os fatores multiplicativos levando em consideração o Manual do EPANET de Rossman, et al., (2009), distribuídos propositadamente a cada uma hora dentro do período de 24 horas, conforme ilustra a (figura 10).

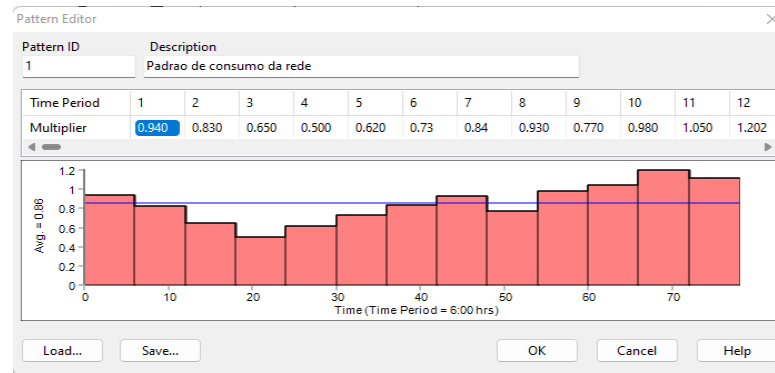


Figura 9 - Padrão de consumo.

Fonte: Rossman (2009)

O EPANET possui uma interface simples, que possibilita a realização da modelagem e simulação hidráulica de rede de distribuição. Conforme ilustrado na Figura 3, o programa permite inserir um traçado de rede, bem como os elementos constituintes do sistema (Trechos, Nós e Reservatório).

A partir do mapa da rede foi montando o layout da rede de distribuição (Figura 11), na ferramenta com o auxílio de uma imagem de fundo obtida do Google Earth, também foram configurados os dados de entrada para a realização das simulações: como comprimento de cada trecho de rede, diâmetros, as cotas de cada nó e nível de água do reservatório.

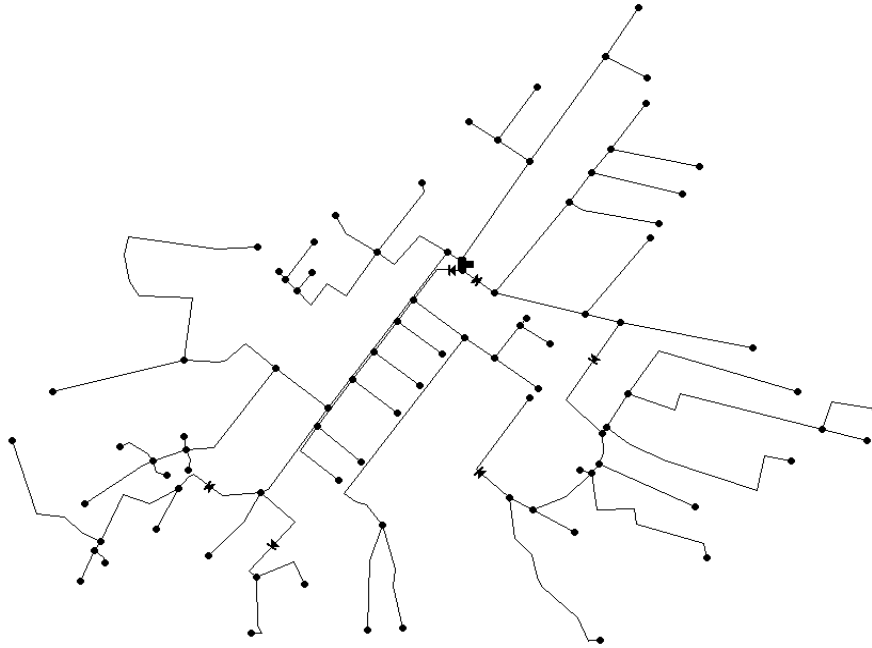


Figura 10 -Configuração da modelagem hidráulica.

Fonte: Autor (2023)

3.5.5 Calibração

No presente estudo foi utilizado o *EpanetCalibrator*, uma disponível no Epanet e gratuita, e foi utilizado apenas para as simulações propostas e validar o presente estudo, e não para julgar a melhor ferramenta de calibração disponível. Os dados colhidos em campo configuraram os dados de entrada (input) no calibrador, assim como os diâmetros, comprimentos dos trechos, demanda dos nós, rugosidade do material e a cota topográfica. O sistema foi calibrado tendo em consideração variáveis como rugosidade e coeficientes dos emissores, para melhor representar o efeito dos vazamentos na rede e ramais, por um período de 48 horas.

Conforme recomendado por (Queiroz, 2016), Após a calibração foi executada uma análise da rede, onde permitiu definir os melhores resultados entre os valores e a situação real em campo, e

cuidadosamente foram analisados os trechos e os nós que apresentaram valores inconsistentes, além dos pontos com pressões elevadas ao longo do período de simulação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados foram analisados cuidadosamente e foram discutidos conforme a sua execução. Inicialmente temos a simulação da rede no seu estado normal (simulação estática), em seguida a simulação dinâmica onde realizou -se a comparação dos dados de pressão e vazão observado e medido na rede, terceiro a calibração da rede, quarto análise de perdas e irregularidades que ocorrem na rede, e por último a análise do modelo já calibrado e depois das alterações a rede de distribuição.

4.1 Modelagem hidráulica do sistema

Os resultados estão apresentados em diagramas, que representam o funcionamento da rede nos dois diferentes cenários, hora de maior consumo (06h) e hora de menor consumo (21h).

4.1.1 Simulação estática

Nesta simulação estática permitiu observar o comportamento da rede base, e obter dados de variação em cada nó, em diferentes parâmetros, como a pressão e a velocidade, conforme ilustra a (Figura 11). Com base nos dados de consumos inseridos na rede, elevação do reservatório e as cotas do terreno.

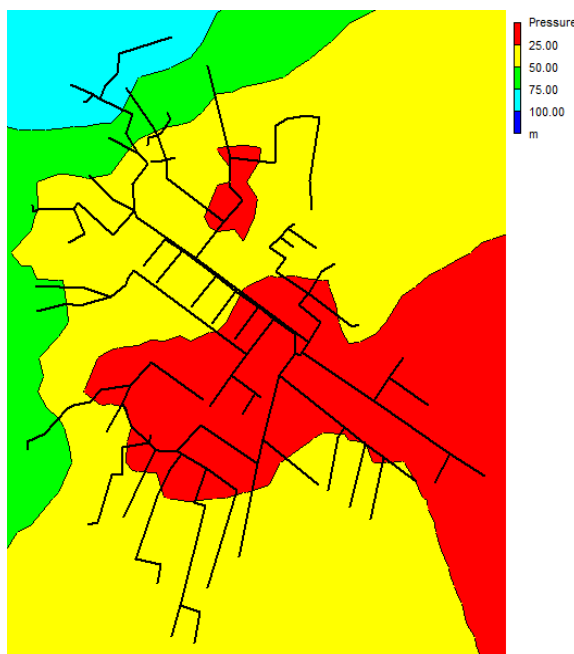


Figura 11 - Comportamento base da pressão na rede de distribuição de água, Chibuto.

Fonte: Autor (2023)

4.1.2 Simulação dinâmica

A simulação dinâmica foi bastante importante e necessária, pois permitiu visualizar o comportamento da rede ao longo do tempo (Figura 12). Os gráficos a seguir representam a variação da pressão e vazão, em cada nó e trechos da rede.

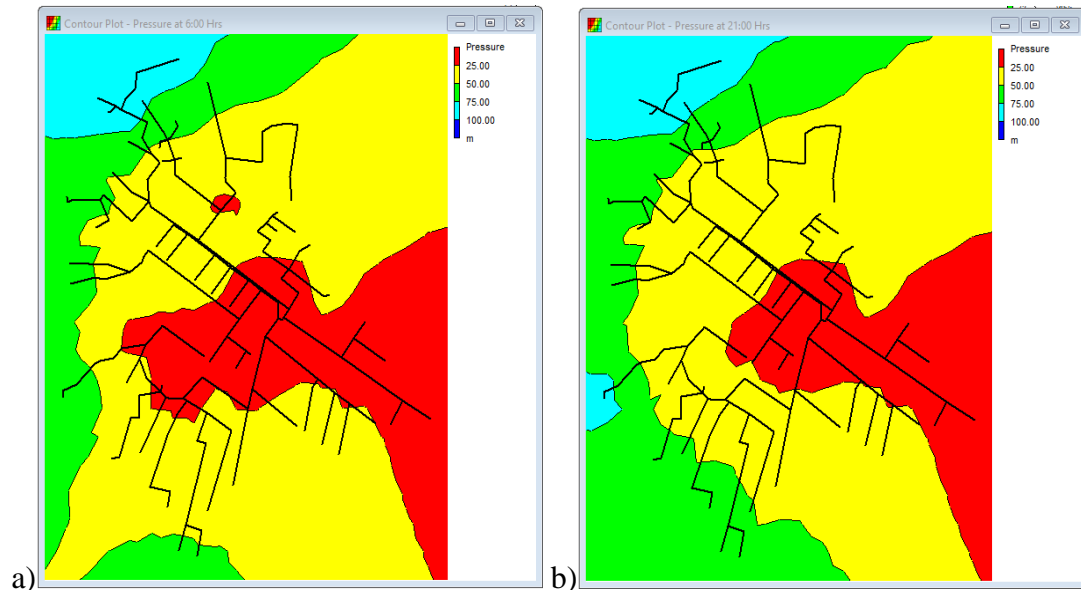


Figura 12 -Distribuição espacial da pressão a) hora maior e b) menor consumo.

Fonte: Autor (2023)

Com base na simulação, foi possível verificar que a maior parte das pressões encontra-se no intervalo de 10 a 60m.c.a. entrando em conformidade com a NBR 12218/1994. Porém, em alguns pontos as pressões encontram - se acima de 60m.c.a., fora dos limites estabelecidos.

São constatadas elevadas pressões na rede, e estas elevadas pressões na rede de distribuição podem causar danos e rompimentos nas condutas, e conseqüentemente elevando o volume de água que se perde na rede. É necessário se controlar o comportamento da pressão na rede, pois os elevados níveis de pressão na rede ocasionam maiores volumes de perdas em vazamento (Queiroz, 2016).

Em seguida, examinamos as velocidades nas tubulações. No entanto, é importante mencionar que, neste modelo, as limitações relacionadas ao consumo e sua variação horária não permitem a

simulação dos cenários de operação limite estabelecidos pelas regulamentações. Portanto, os valores de velocidade máxima e mínima indicados são apenas orientativos: a velocidade mínima é de 0,3 m/s e a velocidade máxima é calculada como $0,124 \times D^{0.4}$ (D: diâmetro interno da conduta expresso em mm).

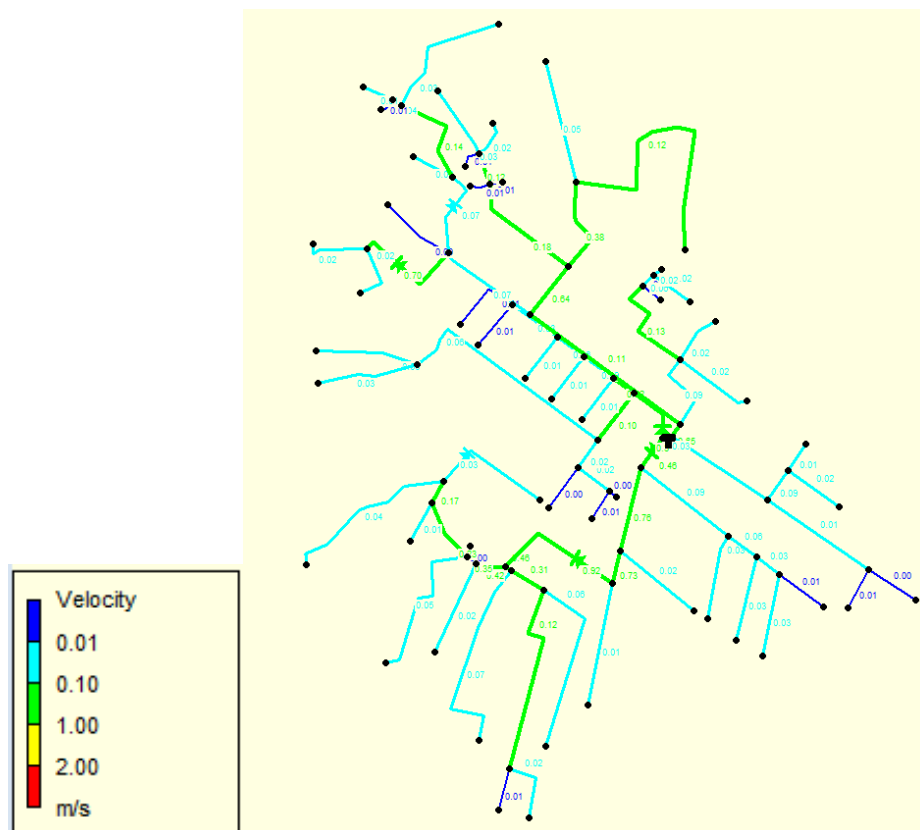


Figura 13 - Distribuição espacial da velocidade às 06 horas.

Fonte: Autor (2023)

.Foi criado um documento no Excel para verificar as velocidades nas tubulações, utilizando a fórmula previamente descrita, a fim de identificar aquelas que excedem os limites máximos estipulados. Neste contexto, a análise está focada no momento de maior consumo, que ocorre às 20 horas. Constatou-se a presença de velocidades que ultrapassam o limite máximo permitido. No entanto, uma avaliação detalhada das implicações dessas velocidades superiores ao limite e seu impacto no comportamento do sistema será realizada em uma fase subsequente do trabalho, uma vez que esta versão ainda está em desenvolvimento.

Quanto a este parâmetro, a análise concentra-se exclusivamente no período de maior consumo do sistema, uma vez que, durante o período de menor consumo, as necessidades de água são significativamente reduzidas, resultando em velocidades muito baixas que não possuem relevância para fins de análise (Pinto, 2010).

4.2 Calibração hidráulica do modelo

A calibração do modelo foi realizada para diversos parâmetros, como consumo, carga hidráulica, pressão, velocidade e qualidade de água. Para este estudo em particular, nos importa a pressão e vazão ao longo da rede, nos N50, N72, N91 e N96.

A calibração busca fazer um cruzamento entre os resultados obtidos na simulação e os dados provenientes das medições realizadas em campo (Figura 14).

i. Pressão

A medição das pressões fornece informações cruciais para a calibração do modelo, uma vez que a pressão é um indicador operacional fundamental em sistemas de distribuição de água e afeta diretamente a qualidade do serviço prestado. No entanto, neste estudo, devido à escassez de recursos materiais, pessoais e tempo disponível para coletar dados de pressão, a calibração da rede com base nesse parâmetro apresenta limitações.

Para melhorar essa calibração no futuro, basta seguir o mesmo processo realizado aqui, mas com acesso a uma quantidade maior de informações e dados de melhor qualidade. Isso permitirá uma calibração mais precisa e robusta do modelo hidráulico da rede de distribuição (ver figura 14).

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
P1-091	1	69.34	86.49	17.145	17.145
P2-096	1	22.66	43.90	21.244	21.244
P3-072	1	15.29	16.31	1.015	1.015
P4-050	1	28.55	25.10	3.449	3.449
Network	4	33.96	42.95	10.713	13.768

a) Correlation Between Means: 0.937

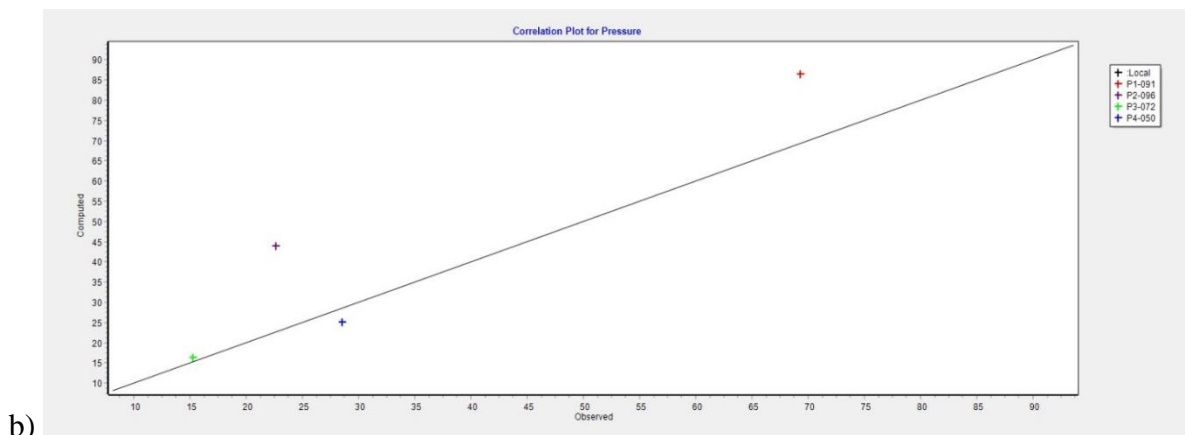


Figura 14- a) Dados estáticos; b) Gráfico de correlação entre os valores médios de pressão medidos em campo e calculados.

Fonte: Autor (2023)

No nó N50 e N72 não há diferença entre os valores observados no campo e computados, nos nós N96 e N91 apresentam pequena diferença entre os valores observados e computados, e considerou-se que estes estejam corretos, pois estes pontos encontram-se distantes do reservatório, e deste modo justifica o comportamento do sistema.

Após a calibração da pressão, foi possível gerar um relatório onde a correlação entre os valores médios de 0.942, e este valor está próximo de 1, deste modo justificando a confiabilidade destes resultados. Foi possível verificar que os dados computados não apresentam uma grande diferença dos observados em campo.

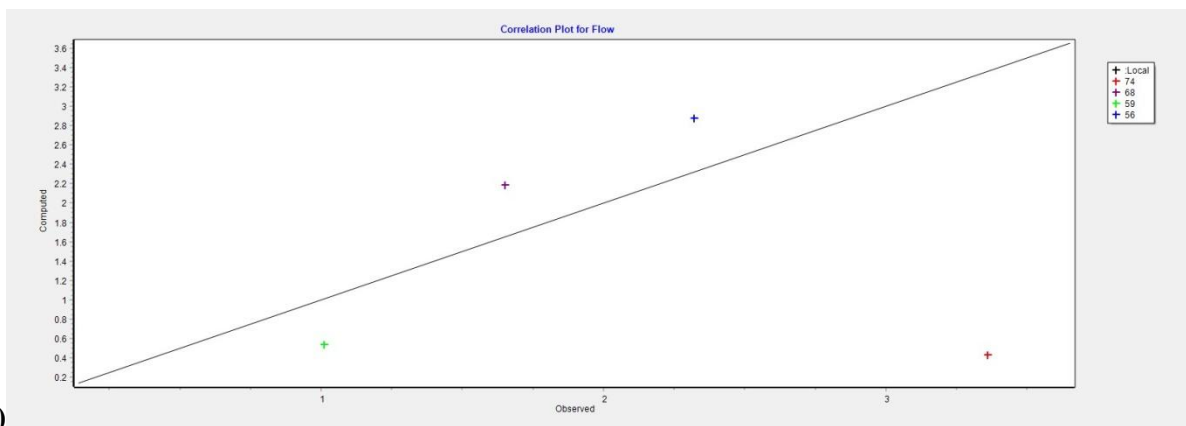
No que diz respeito ao nó 96 e 91, os resultados obtidos, embora não estejam em perfeito acordo com as observações reais, apresentam alguns aspectos positivos. Acredita-se que a raiz do problema neste nó seja principalmente uma questão de elevação. O comportamento dos valores observados no sistema físico e os valores calculados pelo EPANET são semelhantes, embora exista uma discrepância de alguns metros entre eles. Essa diferença pode ser atribuída à localização relativamente distante deste ponto em relação ao reservatório, o que faz com que as perdas de carga ao longo do trajeto da água sejam praticamente insignificantes. Portanto, as diferenças altimétricas são responsáveis pelos valores de pressão obtidos (Pinto, 2010).

ii. Caudal

Calibration Statistics for Flow

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
74	1	3.36	0.43	2.928	2.928
68	1	1.65	2.19	0.540	0.540
59	1	1.01	0.54	0.474	0.474
56	1	2.32	2.88	0.556	0.556
Network	4	2.08	1.51	1.125	1.533

a) Correlation Between Means: -0.082



b)

Figura 15 - a) Dados estatísticos; b) Gráfico de correlação entre os valores médios de caudal medidos em campo e calculados.

Fonte: Autor (2023)

Todos os trechos estão localizados em descidas, e estes trechos abastecem regiões distantes do reservatório. É possível observar uma variação, o que reflete o erro de medição ocorrido ao longo do período, em que o reservatório se encontrava vazio, o que permitiu a entrada de ar na tubulação, que acabou comprometendo os resultados da medição. O que tornou necessário ajustar os valores observados em campo pela imprecisão constatada.

O trecho T74 que se encontra mais distante do reservatório, e a vazão que vai abastecer aquele ponto é muito maior, e com menor número de consumidores, está mais sensível a variações de padrão, o que tornou difícil ajustar a vazão simulada. Embora as imprecisões deste sistema encontradas ao longo deste processo, podemos considerar que estes pontos estejam bem calibrados.

É importante notar que nossa abordagem poderia ser melhor se tivéssemos informações mais detalhadas sobre como o fluxo é distribuído. No entanto, como não temos uma Zona de Medição Contínua (ZMC), essa abordagem é a opção mais confiável do que usar critérios menos específicos para prever o comportamento do sistema, como mostram os resultados na Figura 7. Essa distribuição inicial capturou bem o que acontece no sistema real, com uma correlação próxima entre os dados observados e os inseridos no *EPANET*(Pinto, 2010).

4.3 Análise de perdas e irregularidades

Para melhor demonstrar as perdas na distribuição deste sistema de abastecimento de água de Chibuto durante o período de desenvolvimento deste trabalho, é importante ilustrar a evolução e o comportamento do índice de perdas, dos últimos 12 meses. Representado na tabela de indicadores de perdas (Tabela 4), a evolução do IP de Janeiro a Dezembro de 2022. Observa-se que em todos os meses ao longo do ano o IP atingiu os valores máximos, chegando a perder acima de 50% do volume distribuído, chegando a atingir o pico das perdas no mês de Março que foi até 75%.

De acordo com (Trata Brasil, 2019), organização não-governamental que se dedica a questões de saneamento básico, considera que um índice aceitável de perdas de água varia entre 20% e 25% do volume distribuído, em média, de toda a água tratada antes de chegar aos consumidores finais. Mas é importante observar que a realidade das diferentes regiões, considerando fatores como infraestrutura, investimentos em manutenção, eficiência operacional e até mesmo variações climáticas que podem influenciar a demanda e o consumo de água. Com base no nível as ser alcançado definem 15% (nível otimista), 25% (nível realista) e à partir de 35% em diante como (nível pessimista)

No cenário atual é produzido em média cerca de 101650.00 m³/mês, sendo necessário em média 36748.00 m³/mês para atender a demanda do consumo com pressões e velocidades adequadas, constata-se uma grande diferença entre os valores produzidos e necessário, tornando assim as perdas significantes chegando a atingir em média cerca de 64902.00 m³/mês, cerca de 30 l/s. As perdas na rede são consideradas aparentes e reais pois estas ocorrem em forma de vazamentos visíveis, ligações ilícitas, através de avarias de contadores em residência do consumidor final, e por falha nas leituras, que por conseguinte geram maiores custo no abastecimento gerando

desperdício de energia elétrica, reagentes químicos e recursos hídricos entrados com conformidade com Tsutiya, (2001).

É crucial que sejam desenvolvidas estratégias de manutenção preventiva, com o intuito de otimizar a eficiência da rede de abastecimento, e o uso de tecnologias inovadoras de gerenciamento de redes de distribuição.

A gestão das pressões em sistemas de abastecimento de água possui um notável potencial para a diminuição das perdas hídricas, englobando a redução de rupturas nas tubulações e possibilitando uma gestão mais eficaz do consumo. De fato, o gerenciamento das pressões é uma das principais estratégias recomendadas no âmbito do Programa Nacional para o Uso Sustentável da Água (Alegre *et al*, 2005), sendo considerada de alta prioridade em sua implementação.

Para melhorar a gestão de um sistema é necessário conhecer detalhadamente o seu funcionamento, e o seu consumo ao longo do tempo, bem como os fatores que influenciam negativamente ou positivamente.

Foi fundamental para a modelagem hidráulica e para o diagnóstico a fim de obter antes das informações referentes e pertinentes ao consumo de água, assim como todas as características físicas e componentes necessários para melhor caracterizar a rede. Com o apoio do *software* EPANET, realizou-se simulações com base no modelo matemático e calibrado, o que tornou possível obter os resultados.

Em algumas partes do sistema foram observadas pressões elevadas que chegam a atingir 97 m.c.a. como ilustra a (figura 16), na área de cor azul, e a área em estudo é bastante sinuosa. Não constatou-se regiões com pressões negativas, locais com baixas pressões ao longo do período de maior consumo, ou seja não há dificuldade no seu abastecimento.

Constatou-se que o maior vazamento de água tem ocorrido nos ramais dos consumidores finais, e que as roturas de tubagem na sua maior parte ocorrem no período noturno, como ilustram a (figura 16), onde a menor consumo na rede, o que indica maior quantidade de água disponível.

Ao longo da campanha de medição, constatou-se que existem ramal já em estado obsoleto, estes que frequentemente têm sido registrados fugas ao longo do tempo. E algumas destas condutas estão muito próximas à superfície, não respeitando aquela que é a profundidade estabelecida na NBR 12218/1994 (geralmente estão a uma profundidade de 0.6 a 1.2 metros), e em uma área

rural como esta em que as condições do solo não são muitas boas devido as erosões, acaba não oferecendo segurança, eficiência e durabilidade a infraestrutura de distribuição de água.

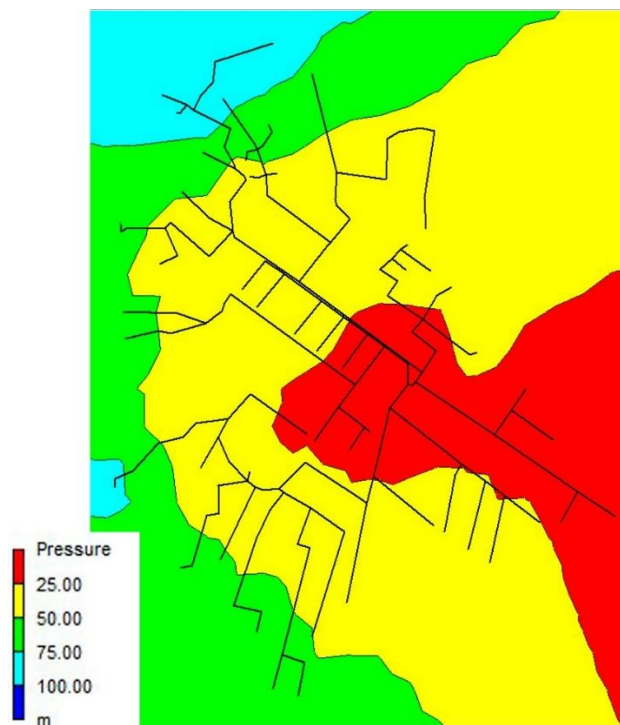


Figura 16 - Pontos com elevados índices de pressão na rede, após a calibração.

Fonte: Autor (2023)

Para a melhoria dos serviços prestados e melhor gestão deste sistema a entidade gestora deve garantir a melhor comunicação entre os seus departamentos Técnico e o de Zonas e fornecimento.

Para alcance do objetivo principal, o controle do índice de perdas de água neste sistema, será necessário estabilizar o abastecimento de água, garantindo a redução de pressão para as faixas normalizadas (10 a 50 m.c.a.), que de forma direta resultará na redução do volume de água perdido em fugas e vazamentos conforme Jacob (2006).

E a adequação de válvulas redutoras de pressão (VRP) e válvulas de comando (CV).

4.4. Análise ao modelo calibrado

Em relação ao modelo base, algumas modificações precisavam ser realizadas, levou-se em consideração a maior quantidade de água disponível e o crescimento populacional, visando que as intervenções realizadas não tragam problemas relacionados à dificuldade de abastecimento ao horizonte projeto.

Foram projetadas quatro (4) válvulas redutoras de pressão e uma (1) válvula de comando, todas estas intervenções foram feitas com base nos resultados do modelo base.

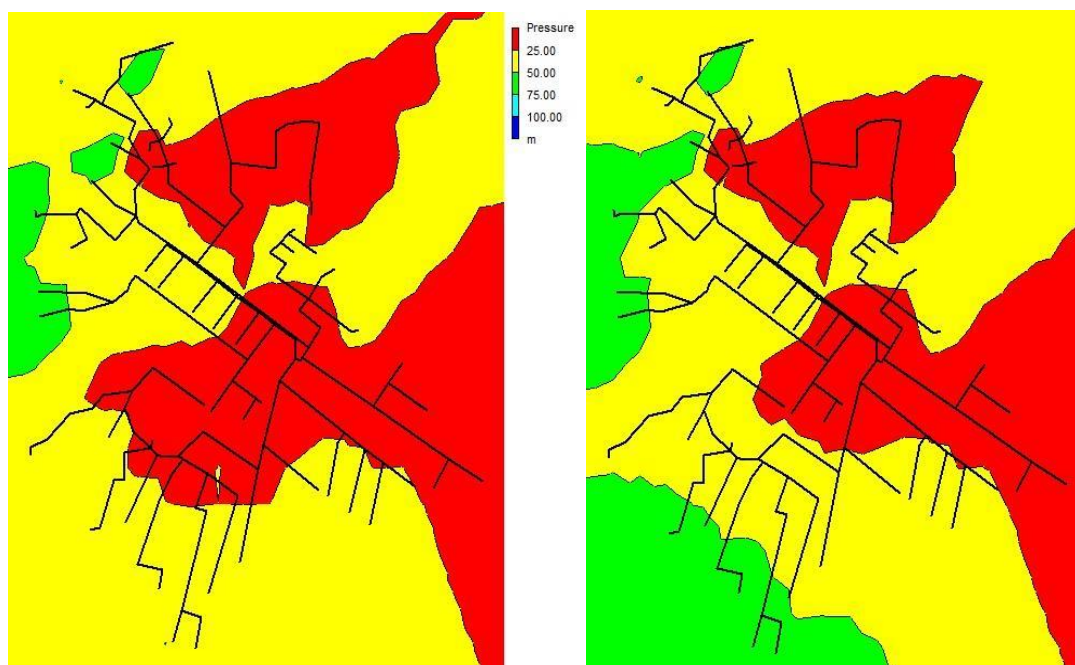


Figura 17- Diagrama comparativo de pressão, na rede de abastecimento de água, às 06:00 e 20:00 depois de realizadas as intervenções.

Fonte: Autor (2023)

A figura acima apresenta variação de pressões ao longo do período simulado de 48h, e como já era de esperar, constatou-se que as pressões aumentam nos horários de menor consumo e diminuem em horários de maior consumo, e pode-se notar que neste modelo as pressões mínimas e máximas de 10 e 60m.c.a., são atendidas integralmente satisfazendo o recomendado pela NBR 12218/1994, e isto deve-se às intervenções realizadas na rede.

Após a simulação do modelo calibrado, este apresentou resultados quase semelhantes aos valores medidos na rede, com pressões elevadas. O que tornou necessário tomar-se algumas medidas corretivas com a intenção de melhorar as elevadas pressões na rede.

Foram inseridos na rede (4) quatro Válvulas Redutoras de Pressão (V1, V2, V3 e V3, indicadas na figura 19) nos pontos considerados mais críticos na rede em relação às elevadas pressões na rede e (1) uma válvula de comando, num ponto não considerado muito crítico, mas que havia a necessidade da redução da pressão.

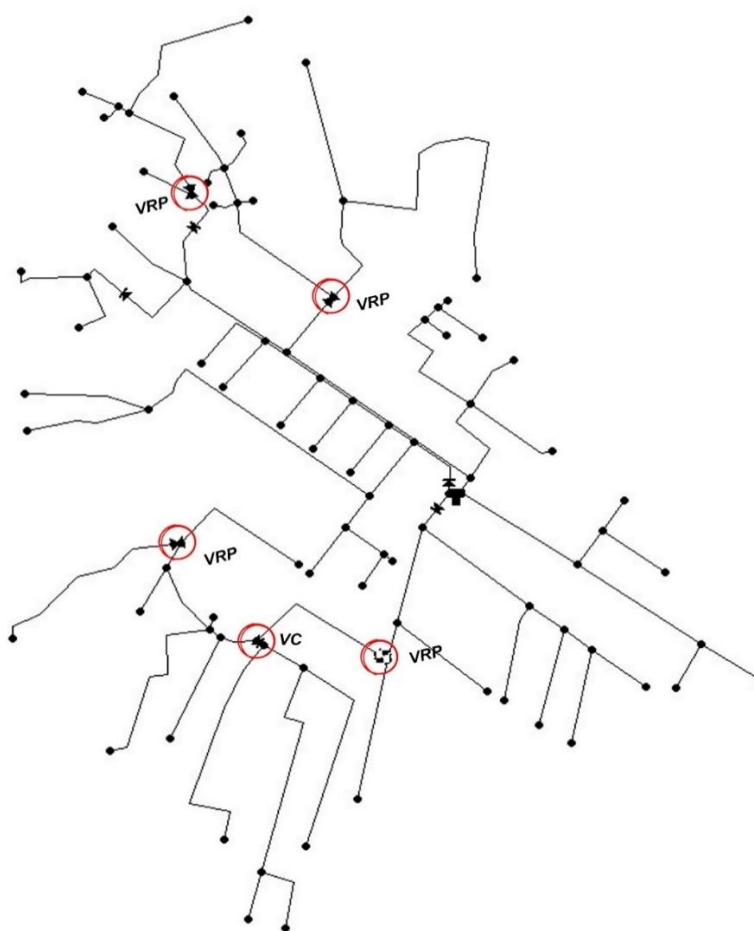


Figura 18 - Mapa de localização dos pontos onde inseriu se as VRP's e CV.

Fonte: Autor (2023)

Com base nos resultados última simulação, nos pontos onde foram colocadas as válvulas, encontram-se em locais com cotas baixas (ver figura 20), pelo relevo e declividade da cidade de Chibuto, o que facilita e permite que a água chegue com pressões elevadas aos consumidores finais, o que leva a ocorrência de roturas nas condutas ao longo da rede.

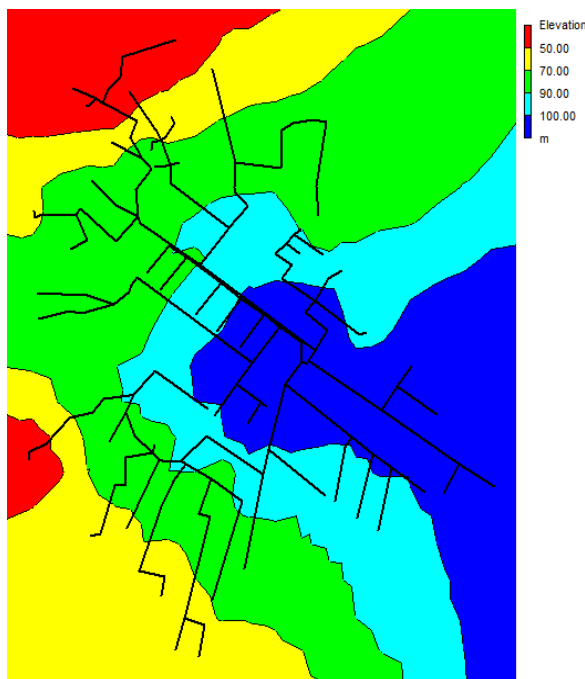


Figura 19 - Mapa de elevação e gráfico de isolinhas das cotas topográficas, Vermelho 0-25 m, Amarelo 25-50 m, Verde 50-75 m, Azul claro 75-100 m e Azul-escuro acima de 100 m.

Fonte: Autor (2023)

Com o objetivo de evitar que as condutas da rede rompam, inseriu-se as VRP's, que irão reduzir todas as pressões que estão acima de 60 m.c.a.

Num dos pontos do sistema, para corrigir as elevadas pressões nessa zona, foi necessário instalar uma VRP e uma CV, que foram conjugadas com a necessidade de criar patamares de pressões diferentes. Quando comparados com o antes e depois é notável a redução de pressão nestes pontos.

4.4.1. Análise do modelo após as alterações

Agora, com as modificações implementadas no modelo, vamos verificar se ainda ocorrem violações dos parâmetros legais em relação às velocidades e pressões. Apesar de o modelo em termos de pressões ainda não estar devidamente calibrado, vamos analisar esse parâmetro com o principal objetivo de destacar as vantagens de possuir um modelo calibrado em termos da facilidade de otimizar o funcionamento do sistema que estamos modelando.

Iniciando a análise das velocidades, considerando o critério estabelecido: $U_{max} = 0,127 \times D^{0,4}$, onde U representa a velocidade em m/s e D é o diâmetro interno da tubulação em mm (ver a Figura 20).

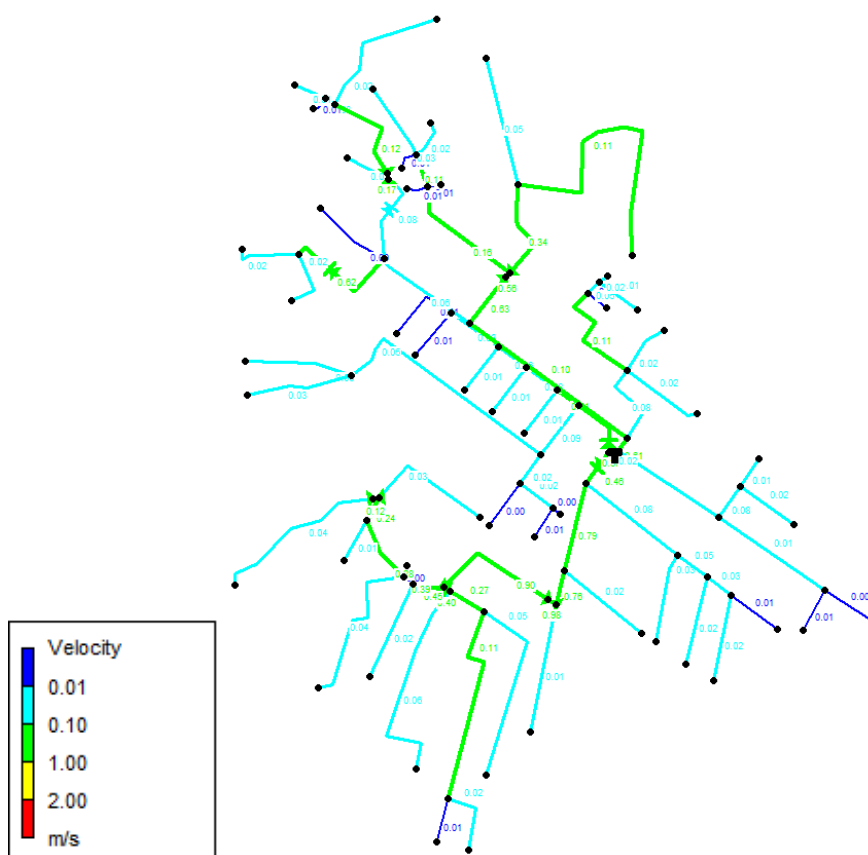


Figura 20 -Distribuição espacial das velocidades às 06 horas

Fonte: Autor (2023)

Em relação aos valores que excedem as capacidades adequadas de dimensionamento do sistema, ao contrário do que ocorria na versão original, não são identificadas violações quando a análise é

realizada a hora de menor consumo. No entanto, ao examinarmos o sistema às 6 horas, podemos identificar valores que não estão em conformidade com os requisitos estabelecidos.

É importante salientar que a fórmula usada para determinar as velocidades estabelece limites que não devem ser ultrapassados ao longo do horizonte do projeto. No entanto, considerando que já existem violações desses limites atualmente, é provável que esses problemas se agravem, em vez de melhorarem, com o crescimento populacional e da rede ao longo do tempo, contribuindo significativamente para o desgaste das tubulações e está diretamente relacionada com perdas de carga elevadas no sistema. Melhorar as velocidades exigirá um investimento substancial. Por outro lado, as pressões podem ser mais facilmente controladas e otimizadas com investimentos menos onerosos.

Foi necessário realizar-se uma nova simulação, após introduzidas no modelo calibrado as soluções propostas, e o resultado é ilustrado abaixo (ver figura 21).

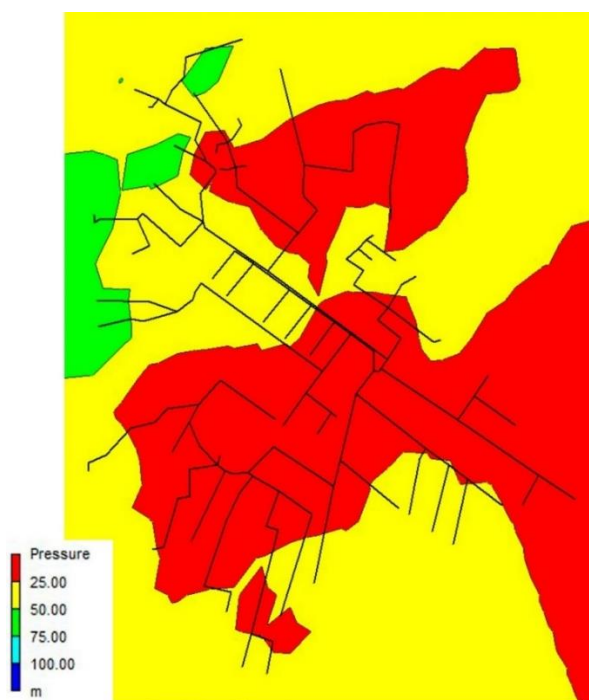


Figura 21 - Simulação do modelo depois das alterações.

Fonte: Autor (2023)

Após a última simulação, os valores das pressões já encontram-se dentro do parâmetro recomendado pela NBR 12218/1994, comparando com os resultados obtidos na simulação dinâmica (ver figura 12), ou seja, houve uma diminuição das elevadas pressões na rede em diferentes períodos. Embora ainda existam outros pontos na com pressões um pouco acima ou muito próximas do limite estabelecido regularmente, mas trata-se de casos ligeiros, em pontos onde não existem muitas ligações nas imediações.

A otimização econômica de sistemas de abastecimento de água requer foco no combate às perdas. Existem quatro abordagens para isso: controle ativo de vazamentos, reparo eficiente de tubulações, reabilitação de infraestrutura danificada e controle de pressão na rede. Concentraremos nossa atenção no último ponto, destacando que o uso de modelos matemáticos da rede pode levar a soluções altamente rentáveis sem a necessidade de grandes investimentos financeiros, tornando a modelagem e otimização cruciais para melhorar a eficiência operacional do sistema.

Em nosso caso, após um processo de tentativa e erro, guiados principalmente pela intuição e um profundo entendimento do comportamento da rede, chegamos a uma solução que envolve a instalação de duas válvulas redutoras de pressão em áreas de passagem específicas. Estas válvulas foram configuradas da seguinte forma:

Válvula redutora de pressão (VRP-1) com um *setting* de 20;

Válvula redutora de pressão (VRP-2) com um *setting* de 10;

Válvula redutora de pressão (VRP-3) com um *setting* de 10;

Válvula redutora de pressão (VRP-4) com um *setting* de 20;

É relevante observar que o *setting* das válvulas se relaciona com a pressão máxima que pode ser alcançada a jusante da válvula instalada. Após a instalação das válvulas e a configuração do ajuste, o impacto no comportamento do sistema será o seguinte:

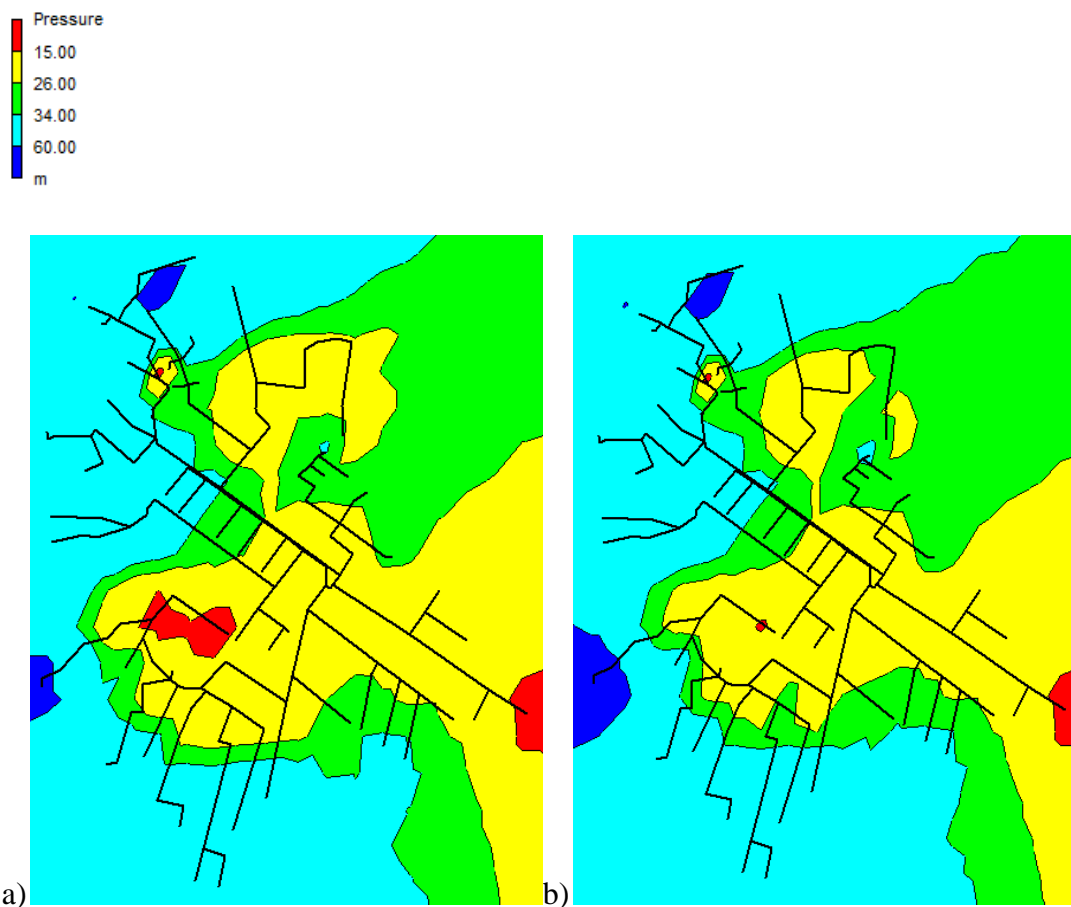


Figura 22 - Distribuição espacial das pressões a) às 06 horas e b) às 20 horas (já trabalhado com VRP e settings já definidos).

Fonte: Autor (2023)

É fácil verificar que os problemas relacionados às zonas de pressão acima do limite legal (indicadas em azul escuro) foram praticamente eliminados. Além disso, conseguimos reduzir as pressões em todo o sistema, sem comprometer o fornecimento mínimo de pressão que a empresa garante à população (10 m.c.a).

5. CONCLUSÃO

O sistema de abastecimento de água de Chibuto é responsável pelo fornecimento deste recurso a toda população residente nesta cidade e um pouco mais dos postos administrativos próximos. É importante considerar o quanto é desafiador, as previsões demográficas o que torna estes sujeitos a critérios elevados de eficiência, buscando trazer melhor gestão deste recurso e consequentemente a redução nos custos e bem como as perdas de água.

Das conclusões retiradas desta pesquisa, a mais destacada é que a construção de um modelo matemático para um sistema de abastecimento de água é um processo complexo e desafiador. No entanto, uma vez que o modelo esteja bem construído e calibrado, ele pode oferecer inúmeras vantagens e possibilitar um retorno rápido do investimento inicial. O modelo se torna uma ferramenta valiosa que pode ajudar as empresas a alcançarem níveis mais elevados de excelência em seus serviços. Neste estudo, partimos de uma versão pré-existente do modelo, mas que carecia de várias informações cruciais, as quais foram adicionadas juntamente com várias mudanças significativas. Uma das mudanças mais importantes foi a introdução de várias válvulas redutoras de. Após alcançar com sucesso esses objetivos e outros relacionados, procedemos à calibração do modelo, que envolveu ajustes nos caudais e pressões para refletir com precisão o comportamento do sistema real.

Em relação aos caudais, aplicamos diferentes pesos aos nós do sistema com base no volume de água consumido em cada uma dessas áreas, levando em consideração os consumos unitários para esses trechos. Posteriormente, desenvolvemos um padrão horário de consumo de forma a ajustar os caudais médios horários do modelo para que corressem aos valores medidos em campo. Consideramos que esse processo de calibração dos consumos por nó do modelo alcançou um nível de sucesso aceitável e, assim, atingimos completamente o objetivo estabelecido.

O que diz respeito às pressões, as conclusões são um tanto ambíguas. Admitimos que, devido a limitações na qualidade das medições, dados fornecidos e informações altimétricas do *Google Earth*, não conseguimos realizar uma calibração totalmente satisfatória do modelo. No entanto, mesmo não alcançando os resultados desejados nesse aspecto, acreditamos ter utilizado um processo de calibração viável, capaz de fornecer um "caminho sólido" para a calibração bem-sucedida, desde que se disponha de dados de melhor qualidade, auxiliar no planejamento das

atividades nos setores e tomadas de decisões, e assim colaborar na redução dos volumes de água perdidos.

6 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos nos modelos após a calibração deste sistema, recomendam-se a entidade gestora:

A definição de metas ideais de pressão para as diferentes áreas da rede de acordo com a necessidade e na topografia do bairro/zona.

O controlo de pressão da água na rede, para reduzir as perdas não contabilizadas devido a fugas e vazamentos.

A aplicação da estratégia aplicada a este estudo (gestão de pressão), de modo a reduzir o volume de perdas, e o uso de válvulas de controlo de pressão e reguladores de pressão para manter os níveis ideais.

A aplicação do *software* Epanet como uma ferramenta de apoio para tomada de decisão;

A realização de campanhas, com objectivo de verificar e/ou alterar a profundidade de algumas condutas, de modo a evitar roturas quando atravessarem veículos por aqueles pontos.

A realização de campanhas de manutenção preventivas, que incluama substituição de equipamentos danificados/obsoletos, de modo a garantir leituras eficientes.

A criação de zonas de medição e controle, de modo a facilitar o rastreio das perdas, em caso de uso ilícito de água, e garantir melhor gestão em termos de quantidades de água necessárias para atender a demanda em cada uma das zonas.

Aumento de trabalhos de monitoria da rede pela equipe de detecção de fugas, para melhor maximizar os resultados obtidos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, H.; Coelho, S.T. Almeida, M.; Vieira, P. (2005). *Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e de distribuição*. Instituto da Água, INAG. Portugal.
- American Water Works Association (AWWA). IWA/AWWA Water Audit Method. Disponível em: www.awwa.org/portals/0/files/resources/water%20knowledge/water%20loss%20control/iwa-awwa-method-awwa-updated.pdf.
- Araújo, A. A. Q.; Lima, A. R. B.; deOliveira, R.; de Oliveira, S. H. (2019). *Simulação De Redes de Abastecimento de Água Utilizando O Epanet 2.0*. Conimas, I Congresso Internacional de meio Ambiente e Sociedade.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). NBR 12.218: *Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Chaveiro, P. J. D. (2018). *Modelação e Calibração Hidráulica da Rede de Abastecimento de Água de Reguengos de Monsaraz*. Universidade do Algarve.
- Ferreira, V. F. C. M. (2022). *Análise de perdas em sistemas de abastecimento de água*. Faculdade de Engenharia.
- Freitas, T. L., (2018). *Estudo Comparativo do Desempenho Hidráulico Entre O Projeto E a Obra de Uma Rede de Distribuição de Água*. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal De Pernambuco, Recife.
- Guimarães, D. C. L., (2019). *Nível de Desempenho de Perda Real No Sistema de Distribuição de Água em Vitória – Es: Estudo De Caso 2014-2017*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável. Universidade Federal Do Espírito Santo, Vitória – ES.
- <https://www.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=37>
- INAGE. (2017). *Localização Geográfica. Portal do Governo do distrito de Chibuto*, p. 1
- Khanlawia, A., Chilole, G., & Cristóvão, L. (2022). *Avaliação das perdas de água em redes de distribuição: Município de Chimoio, Moçambique*. Artigo Técnico. V 11, n 6. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28535>
- Kusterko, S.; Ensslin, S. R.; Ensslin, L.; Chaves L. C. (2018) *Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista*. Artigo técnico, DOI:10.1590/S1413-41522018156436

- Lousada, S., Silva, P.S., Castanho, R. A., Naranjo-Gómez., J.M. (2019). “*Modelação de sistemas de abastecimento de água. O caso de Ilha da Madeira*”.
- Moura, A. F. C. A. (2017). *Fugas e perdas em redes de distribuição de água estudo de caso: zmc - carvalhosas/palheiros*. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra.
- Pinto, T. M. V. (2010). *Modelação e calibração de um sistema de abastecimento de água*. Universidade de Porto.
- Programa Acelerado Integrado de Redução de Perdas (PAIRP)*. (2019).FIPAG, pigi.fipag.co.mz/docs/Internal%20NRW%Strategy_Maputo.pdf.
- Queiroz, R. M. (2016). *Redução de perdas físicas empregando a setorização*. ANÁPOLIS – GO.
- Rossmann, L.A. (2009). *EPANET2 Manual do usuário*. Tradução Heber Pimentel Gomes e Moisés Menezes Salvino. Universidade Federal da Paraíba – UFPB.
- Sainti, A. D.; Cetrulo, T. B.; Malheiros, T. F. (2018). *Indicadores de perdas de água em sistemas de saneamento: disponibilidade e confiabilidade de dados em nível de bacia hidrográfica*. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. DOI:10.19177/rgsa.v7e22018386-410.
- Santana, C. S. (2022). *Modelação do sistema de abastecimento de água a Montemor-o-Velho*.Dissertação de Mestrado, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, INSTITUTO POLITÉCNICO DE COIMBRA.
- Serqueira, J. M., (2020) *modelagem hidráulica do sistema de abastecimento de água da cidade de jaguapitã – PR*, LONDRINA.
- Simões, A. F. F. (2019). *Contributo para a eficiência do sistema de abastecimento de água de Montemor-o-Velho*. Relatório de Estágio, apresentado para a obtenção do grau de Mestre, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Trata Brasil. (2019). *Perdas de água 2018 (SNIS 2016):desafio para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico*. São Paulo.
- Tsutiya, M.T. (2001). *Redução do Custo de Energia Eléctrica em Sistemas de Abastecimento de Água*, 1ª Ed. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- WorldBank. *Software WB - EasyCalc*, Version 1.17, 2006. Disponível em Acessado em: Janeiro de 2023