



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE LICENCIATURA

**AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO-
APLICAÇÃO PARA A ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, CIDADE
DE MAPUTO**



Humeid Abdul Rehmane Daud

Supervisores:

Professor Doutor Dinis Luis Juízo, Eng^o.

Eng^o. Joaquim Samuel Bié, Msc.

(Águas da Região Metropolitana de Maputo)

Cidade de Maputo, Dezembro de 2024



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE LICENCIATURA

**AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO-
APLICAÇÃO PARA A ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, CIDADE
DE MAPUTO**

Humeid Abdul Rehmane Daud

Trabalho de Licenciatura a ser submetido à
Universidade Eduardo Mondlane- Faculdade de
Engenharia para obtenção do Grau Académico de
Licenciado em Engenharia Civil

Supervisores:

Professor Doutor Dinis Luis Juízo, Eng^o.

Eng^o. Joaquim Samuel Bié, Msc.

(Águas da Região Metropolitana de Maputo)



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante Humeid Abdul Rehmane Daud entregou no dia 12 de Dezembro de 2024, as quatro cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura, intitulado:

**Avaliação Das Perdas De Água Em Redes De Distribuição- Aplicação Para A
Zona De Medição E Controlo Unidade 7, Cidade De Maputo**

Cidade de Maputo, 12 de Dezembro de 2024

O Chefe de Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Humeid Abdul Rehmane Daud, declaro por minha honra, que o presente trabalho é resultado de uma pesquisa por mim feita e nunca foi publicado ou apresentado para obtenção de qualquer grau acadêmico.

O Autor

Humeid Abdul Rehmane Daud

DEDICATÓRIA

Aos meus amados avós:

- Jussub, Daud e Fátima (em memória) e Hajira Gafur;

AGRADECIMENTOS

A Deus, o todo poderoso e que me concedeu a oportunidade de ter saúde, perseverança, espírito indomável e capacidade para enfrentar todas as situações da minha vida, até o final deste trabalho.

Aos meus pais, Abdul Rehmane e Salma Jussub, pelos anos de sacrifício, paciência, amor, paz e carinho que foram abundantes em nossa casa e resultam neste feito. Esta conquista é primeiramente vossa, e só depois minha. Meus irmãos, Muhammad e Raeessah Daud, que foram sempre inspiração e muitas das vezes foram os ouvidos que precisei para partilhar as minhas alegrias durante este percurso.

Um agradecimento especial para a Patrícia Gonsalves Rodrigues, que foi sempre um pilar de apoio (pórtico, na verdade) para o meu percurso académico e para o meu quotidiano. Um pilar emocional, físico e mental para alguns momentos menos bons e para vários momentos de alegria.

Aos meus orientadores do trabalho, Professor Doutor Dinis Luis Juízo, Eng. e ao Engenheiro Joaquim Samuel Bié, MsC, que durante este trabalho apoiaram-me da melhor forma possível, sendo sempre os melhores carris para que o vagão não descarrilasse. Estou muito grato pela atenção, conselhos e dicas durante a realização do trabalho.

Aos docentes e engenheiros Carlos Caupers, Omar Khan, Sidney Nicols e Rafael Mabunda por terem contribuído para uma boa experiência na área de Recursos Hídricos durante o curso. Em especial agradecer ao Eng. Omar Khan e Muhamad Shueib Givá, pela partilha de informações que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos engenheiros Carlos Quadros, Nelson Matsinhe, Dipac Maganlal, Alexandra Neves, Saturnino Chembeze, Fátima Mussa e Rogério Pave, por terem contribuído para o meu percurso na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Ao Abel, Arone, Vilanculos e César Cuna pelo apoio e disponibilidade para ajudar na recolha de dados para o trabalho.

Aos meus amigos que vou levar para a vida toda: Málik Boane, Issufo Ibrahim, Francisco Quisele, Sebastião Cumbane e Culpa António. **KHANIMAMBO!**

Epígrafe

“Se tivesse uma hora para resolver um problema, usaria os primeiros 55 minutos para formular a pergunta adequada a ser colocada” - Albert Einstein

RESUMO

As civilizações mais antigas criaram os aquedutos para transporte de água da sua fonte para os locais de consumo. Ao longo do tempo os sistemas evoluíram até à época contemporânea. Acoplado a esta evolução, surgem questões menos positivas, como é o caso das perdas de água. O presente trabalho teve como objectivo avaliar as perdas de água em redes de distribuição, aplicado à Zona de Medição e Controlo Unidade 7, pertencente à Área Operacional de Chamanculo, na Cidade de Maputo. A metodologia baseou-se na pesquisa bibliográfica, recolha dados nas Águas da Região Metropolitana de Maputo e visitas de campo. Com base nos dados levantados foi possível determinar o volume de água perdida no ano de 2022 com auxílio do *software* denominado *AWWA Free Audit Software v6.0*, que baseia-se no Balanço Hídrico do sistema, e de seguida identificar os nós com possibilidade de registo de fugas, através do *software* *WaterGEMS*, com auxílio do módulo *Darwin Calibrator- Leakage Detection*. A Zona de Medição e Controlo Unidade 7 apresenta um sistema intermitente de abastecimento, com um tempo diário médio de distribuição de 9 horas. Os resultados obtidos mostraram que a percentagem de perdas de água no local de estudo, para o ano de 2022, é de 9,54%. A detecção de nós da rede de distribuição com possibilidades de fuga de água apontou para: (i) 11 nós no período entre 0h-3h; (ii) 8 nós no período entre 13h-15h; (iii) 12 nós no período entre 16h-19h e, finalmente, (iv) 13 nós entre 20h-23h. Assim, é possível dizer que a Zona de Medição e Controlo Unidade 7 encontra-se bem delimitada e com uma percentagem de perdas de água relativamente aceitável comparado com a realidade moçambicana, sendo que as perdas ocorrem predominantemente no período em que o abastecimento é interrompido. Por fim, a realização de estudos desta tipologia que abrangem outras áreas na Cidade de Maputo, na província e no país, podem melhorar a consciencialização em volta desta temática e permitir que esforços sejam concentrados para a redução das perdas de água.

Palavras-chave: perdas de água, Zona de Medição e Controlo, Balanço Hídrico, fugas.

ABSTRACT

The oldest civilizations created aqueducts to transport water from its source to consumption points. Over time, systems evolved to the contemporary era. Along with this evolution, less positive issues have emerged, such as water losses. The objective of this study was to assess water losses in distribution networks, applied to the Unidade 7 District Metered Area, belonging to the Chamanculo Operational Area, in the city of Maputo. The methodology was based on bibliographic research, data collection from the *Águas da Região Metropolitana de Maputo*, and field visits. Based on the collected data, it was possible to determine the volume of water lost in 2022 with the help of the software called AWWA Free Audit Software v6.0, which is based on the system's water balance, and then identify nodes with a probability of leakage registration, using Bentley WaterGEMS software, assisted by the Darwin Calibrator-Leakage Detection module. The Unidade 7 District Metered Area has an intermittent water supply system, with an average daily distribution time of 9 hours. The results showed that the percentage of water loss in the study area for 2022 is 9.54%. Furthermore, the detection of nodes in the distribution network with potential leakage pointed to: 11 nodes between 0h-3h; 8 nodes between 13h-15h; 12 nodes between 16h-19h; and finally, 13 nodes between 20h-23h. Therefore, it can be said that the Unidade 7 District Metered Area is well-defined and has an acceptable percentage of water loss when compared to the Mozambican reality, with losses occurring predominantly during the night. Additionally, conducting studies of this nature that cover other areas in the City of Maputo, the province, and the country can improve best practices for water loss management and reduction in Mozambique.

Keywords: water losses, District Metered Area, Water Balance, leakages.

ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA.....	V
AGRADECIMENTOS.....	VI
RESUMO.....	VIII
1. CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO	18
1.1. Formulação do problema	20
1.2. Pergunta de estudo.....	21
1.3. Justificativa	21
1.4. Objectivos	21
1.4.1. Geral.....	21
1.4.2. Específicos	22
1.5. Perguntas investigativas	22
1.6. Metodologia	22
1.6.1. Materiais e Métodos.....	23
1.7. Limitações do estudo	25
2. CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1. Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento	27
2.1.1. Perdas reais ou físicas.....	27
2.1.2. Perdas aparentes ou comerciais	30
2.2. Balanço Hídrico (abordagem <i>Top-Down</i>).....	31
2.2.1. Aplicação da Matriz do Balanço Hídrico	32
2.2.2. Ferramentas para o Cálculo do Balanço Hídrico	33
2.3. Modelação Hidráulica	34
2.4. Calibração de modelos hidráulicos	36
2.4.1. Técnicas de Calibração de Modelos Hidráulicos	38
2.5. Ferramentas de Modelação Hidráulica aplicadas na pesquisa	39
2.5.1. Visão Geral do Epanet 2.2.....	39

2.5.2.	Visão geral do WaterGEMS.....	40
2.6.	Controlo e Redução das Perdas Reais.....	40
2.6.1.	Zona de Medição e Controlo.....	41
2.6.2.	Controlo activo de fugas	43
2.7.	Controlo e Redução das Perdas Aparentes.....	43
2.7.1.	Macromedição e Micromedição	44
2.7.2.	Combate às fraudes e uso não autorizado	45
2.7.3.	Melhorias no sistema comercial.....	45
2.7.4.	Qualificação da mão-de-obra.....	45
3.	CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDO	46
3.1.	Visão Geral	46
3.1.1.	População e indicadores sociais.....	46
3.2.	Sistema de Abastecimento de Maputo	47
3.3.	Área Operacional de Chamanculo	48
3.4.	Zona de Medição e Controlo Unidade 7	49
3.4.1.	Justificativa da escolha da área de estudo	50
3.5.	Visita de Campo.....	53
3.6.	Recolha de dados para a Modelação Hidráulica e Balanço Hídrico	54
3.7.	Medições de campo	55
4.	CAPÍTULO IV. PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO	56
4.1.	Balanço Hídrico.....	56
4.2.	Modelação Hidráulica	56
4.2.1.	Simulação Hidráulica Inicial- EPANET 2.2.....	57
4.2.2.	Simulação Hidráulica- WaterGEMS	59
4.2.3.	Processamento das pressões observadas	62
4.2.4.	Processamento dos caudais observados	63

4.2.5.	Critérios adoptados para a Calibração Hidráulica.....	63
4.2.6.	Validação do modelo hidráulico	68
4.2.7.	Identificação de Fugas.....	70
5.	CAPÍTULO VI. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5.1.	Balanço Hídrico.....	73
5.2.	Identificação de Fugas.....	74
6.	CAPÍTULO VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	75
6.1.	Conclusões	75
6.2.	Recomendações	75
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
8.	ANEXOS	8-I

LISTA DOS ANEXOS

- Anexo 1** Dados comerciais. Volumes mensais facturados
- Anexo 2** Tabela de resultados da simulação inicial- características dos nós
- Anexo 3** Tabela de resultados da simulação inicial- características das condutas
- Anexo 4** Alocação da demanda-base nos nós
- Anexo 5** Pressões medidas em campo
- Anexo 6** Caudais medidos em campo
- Anexo 7** Mapas de localização da Zona de Medição e Controlo Unidade 7
- Anexo 8** Peças desenhadas

LISTA DE ABREVIATURAS

AdRMM	Águas da Região Metropolitana de Maputo
AO	Área Operacional
AURA	Autoridade Reguladora de Águas
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
AO	Área Operacional
AG	Algoritmo Genético
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
HDPE	<i>High-density Polyethylene</i>
HGL	<i>Hydraulic Grade Line</i>
IWA	<i>International Water Association</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística
PAIRP	Programa Acelerado e Integrado de Redução de Perdas
PVC	Policloreto de Vinilo
RNF	Reservatório de Nível Fixo
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
VRP	Válvula Redutora de Pressão
ZMC	Zona de Medição e Controlo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Fuga visível. Fonte: Internet.....	28
Figura 2- Fuga em elemento de ligação. Fonte: <i>internet</i>	29
Figura 3- <i>Bypass</i> ou ligação clandestina. Fonte: Internet.....	30
Figura 4- Interface inicial do AWWA Free Audit Software v6.0. Fonte: Autor.....	34
Figura 5- Interface inicial do Epanet 2.2.....	40
Figura 6- Interface inicial do software WaterGEMS.	40
Figura 7- Configuração típica de uma Zona de Medição e Controlo. Fonte: Vatavuk (2003)	42
Figura 8- Macromedidor volumétrico. Fonte: Catálogo da JANZ.	44
Figura 9- Datalogger para registo de caudal e pressões. Fonte: Catálogo da i2Owater	44
Figura 10- Planta de localização do Sistema de Maputo. Fonte: AdRMM	48
Figura 11- Fotografias da visita de campo.	54
Figura 12- Introdução dos coeficientes do padrão de consumo diário no WaterGEMS.	61
Figura 13- Resultados das pressões- Calibração para o período 0-3h.	64
Figura 14- Resultados das pressões- Calibração para o período 13-15h.	65
Figura 15- Resultados das pressões- Calibração para o período das 16-19h	65
Figura 19- Resultados dos caudais- Calibração para o período 0-3h.	67
Figura 20- Resultados dos caudais- Calibração para o período 13-15h.	67
Figura 21- Resultados dos caudais- Calibração para o período 16-19h.	68
Figura 22- Resultados dos caudais- Calibração para o período 20-23h.	68
Figura 23- Introdução dos dados de campo da janela do DARWIN CALIBRATOR- LEAKAGE DETECTION.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resumo dos softwares de Modelação Hidráulica. Fonte: ASCE (2004)	35
Tabela 4- Dados populacionais para o Distrito de Nihamankulo. Fonte: INE	46
Tabela 5- Áreas servidas na Área Operacional de Chamanculo. Fonte: Cadastro Técnico AdRMM.	49
Tabela 6- Tabela 2- Resumo das características da ZMCs consolidadas de Chamanculo. Fonte: AdRMM	49
Tabela 7- Histórico de Perdas. Fonte: AdRMM.	50
Tabela 8- Informações geográficas e técnicas sobre os macromedidores da ZMC Unidade 7. Fonte: O autor.	53
Tabela 9- Pontos de medição e suas coordenadas geográficas.	55
Tabela 10- Elementos constituintes do Modelo Hidráulico da rede de distribuição da ZMC Unidade 7. Fonte: EPANET 2.0- Simulação inicial.	57
Tabela 11- Tabela resumo dos fitness para as soluções de detecção de fugas. Fonte: WaterGEMS	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Balanço Hídrico. Fonte: Adaptado de IWA, 2000	31
Quadro 2- Resultados do Balanço Hídrico para a ZMC Unidade 7. Fonte: AWWA Free Audit Software v6.0.	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- - Estado operacional das ZMCs de Chamanculo. Fonte: Adaptado de Relatório WSUP (REF 215/WSUP/2020)	51
Gráfico 2- Perfil do Teste Zero de Pressão- ZMC Unidade 7. Fonte: WSUP (REF 215/WSUP/2020)	52
Gráfico 3- Perfil do Teste Zero de Pressão- ZMC Unidade 7. Fonte: WSUP (REF215/WSUP/2020)	52

Gráfico 4- Variação horária do consumo. Fonte: Microsoft Excel	61
Gráfico 5- Correlação entre a pressão medida e simulada, para o período 0-3h.....	69
Gráfico 6- Correlação entre a pressão medida e a simulada para o período 13-15h...	69
Gráfico 7- Correlação entre a pressão medida e simulada, para o período 16-19h.....	70
Gráfico 8- Correlação entre a pressão medida e simulada, para o período 20-23h.....	70

1. CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de abastecimento desempenharam, desde sempre, grande importância para o crescimento das populações. (Bruni, 1993)

Os recursos hídricos devem ser efectivamente preservados para que as necessidades das populações sejam satisfeitas, considerando que a disponibilidade de água na Terra é limitada. De qualquer modo, fornecer água potável preservando os recursos hídricos não é uma tarefa tão fácil, uma vez que uma porção significativa da água é perdida antes de chegar ao consumidor final. (AL-Washali et al., 2020)

É facto que nos dias de hoje o acesso à água é reconhecido pela comunidade internacional como sendo uma necessidade básica do ser humano (Bezerra & Cheung, 2013). A Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) trazem dados, citados por (Cesar et al., 2019), que revelam que uma a cada seis pessoas não possui um sistema de abastecimento de água canalizada.

O sistemas de distribuição de água podem apresentar perdas que comprometem o abastecimento dos consumidores em quantidade e qualidade do produto.

Do ponto de vista operacional, as perdas de água são correspondentes aos volumes não contabilizados ou perdidos desde a sua captação até ao consumidor final. Estas perdas são divididas em perdas reais ou físicas, que representam a parcela não consumida, e as perdas comerciais ou aparentes, que representam a água consumida e não contabilizada. (Santos & Montenegro, 2013)

O volume anual de perdas de água em sistemas de abastecimento no mundo é considerável. Estimativas apontam que cento e vinte e seis milhões de metros cúbicos (126 Mm³) são perdidos anualmente no mundo, custando cerca de 39 milhões de dólares norte-americanos. (Bruni, 1993)

A gestão e controlo de perdas de água em sistemas de abastecimento é de fundamental importância para a melhoria da eficiência dos sistemas, a fim de assegurar a longo prazo a sustentabilidade ambiental e social. (Morrison et al., 2007)

Segundo (Moser et al., 2015), os países em desenvolvimento perdem mais de 40% da água tratada distribuída pelas empresas de abastecimento devido a fugas, enquanto que a média mundial é da ordem dos 20%. Segundo o mesmo autor, ao diminuir as perdas

entre 5% a 10%, as empresas poupariam até quatro milhões de dólares norte-americanos.

Dentre inúmeras estratégias para identificar e controlar as perdas de água, (Mbuvi et al., 2012) e (Kanakoudis et al., 2013) indicam que a avaliação do desempenho das operadoras de água é o primeiro passo para a redução dos níveis de perdas de água, sendo um factor essencial para que as mesmas operem de forma eficiente. Neste contexto, os Indicadores de Desempenho de Perdas de Água são denotados como mecanismo fundamental para avaliar o desempenho das empresas no controlo de perdas.

(Sousa da Cunha et al., 2021), citando (Nacional & Ambiental, 2016), demonstra que o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) do Brasil, para o ano de 2015, quantificou o índice de perdas na rede de distribuição para as companhias públicas de abastecimento de água, como sendo de 36,7%.

Pesquisas realizadas por (Silva, 2005) em 642 sistemas de abastecimento de água no Ceará, Brasil, concluíram que as perdas foram em média de 36% no ano de 2023. Em um quarto dos sistemas as perdas foram iguais ou superiores a 50%.

De acordo com a Autoridade Reguladora de Águas de Moçambique (AURA), no seu documento denominado: *Relatório ao Governo de Moçambique 2016-2017*, as perdas em sistemas de abastecimento de água para os sistemas considerados principais foram estimadas em médias de 33% no ano de 2015, 38% e 39% nos anos de 2016 e 2017, respectivamente.

De acordo com o Programa Acelerado e Integrado de Redução de Perdas (PAIRP), que teve o seu início em 2019, as perdas no Sistema de Abastecimento de Água de Maputo, estavam estimadas em 53% no início do programa e o objectivo do mesmo, dentre outros, era o de reduzir este índice dos 53% para 33% em 2024.

O presente trabalho inicia com a formulação do problema a ser analisado e tem como base os seguintes capítulos:

- **Capítulo I-** apresenta a introdução e contextualização sobre o assunto do trabalho, tendo como ponto de partida uma apresentação e breve historial sobre os sistemas de abastecimento de água e evolução das perdas de água nos mesmos. Apresenta a formulação do problema, pergunta de estudo, justificativa para o tema assim como apresentação das hipóteses de pesquisa, objectivos,

metodologia e o as limitações que o estudo esteve sujeito. Aborda-se também neste capítulo, as limitações a que o estudo esteve sujeito.

- **Capítulo II-** é composto pela consulta e revisão bibliográfica sobre os temas em questão, apresentando os conceitos relevantes para o entendimento do trabalho.
- **Capítulo III-** apresenta o caso de estudo, ou seja, a localização geográfica e demais características da rede de distribuição do local de estudo, assim como características da população e da rede de distribuição da Zona de Medição e Controlo Unidade 7.
- **Capítulo IV-** o quarto capítulo do trabalho apresenta os procedimentos de cálculo, que subdividiram-se em duas partes: (i) balanço hídrico e (ii) modelação hidráulica.
- **Capítulo V-** aqui são apresentados os resultados obtidos e faz-se também uma análise ou discussão dos mesmos.
- **Capítulo VI-** as conclusões e recomendações que se pode retirar do trabalho serão apresentados neste capítulo.
- **Capítulo VII-** apresenta, em forma de lista enumerada, o material bibliográfico consultado para o presente trabalho.

1.1. Formulação do problema

Tendo em conta que se vive uma realidade onde a água tem sido provida, em alguns casos, através de sistemas de abastecimento de água, é fundamental evitar que estes sejam uma das maiores causas de perdas deste recurso.

Segundo (Bezerra & Cheung, 2013), o combate efectivo às perdas de água é um dos problemas mais desafiadores da operação e manutenção de sistemas de abastecimento.

(Santi et al., 2018), citando (Santos & Montenegro, 2013), é da opinião que, do ponto de vista ambiental, as perdas de água prejudicam o uso racional dos recursos hídricos, elevando a captação para atender a demanda e em termos económicos provocam prejuízos ao facturamento, tornando a operação dos sistemas bastante onerosa. Este facto tende a agravar-se, tendo em conta que, em termos de disponibilidade de recursos hídricos, a região da *Southern African Development Community (SADC)* é tida com uma região que apresenta fraco índice de gestão e aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis. (Juízo, 2008)

(Arregui et al., 2018) defende que as perdas registadas em redes de distribuição aumentam os custos operacionais das empresas, restringem as receitas e diminuem a possibilidade das empresas de água ampliarem o atendimento à população. As fugas nas condutas comprometem a estabilidade e funcionamento técnico, a vida útil da rede, a qualidade da água e dos serviços prestados. (Al-washali et al., 2019)

Por conseguinte, as perdas de água em sistemas de abastecimento têm causado constrangimentos e dificuldades técnicas, económicas e de gestão que impactam directa e/ou indirectamente no quotidiano das populações, assim como na gestão que é feita pelas instituições competentes.

1.2. Pergunta de estudo

“Em que proporções as perdas de água ocorrem na Zona de Medição e Controlo Unidade 7 e quais os pontos da rede com possibilidades de ocorrência de fugas?”

1.3. Justificativa

No que tange ao tema em estudo, considera-se que existe internacionalmente dados técnicos, relatórios e artigos científicos disponíveis em grande parte dos países desenvolvidos. Tal não acontece em países em via de desenvolvimento ou os subdesenvolvidos.

Moçambique, sendo um país em via de desenvolvimento, não foge à regra, sendo um país marcado pelo défice de disponibilidade de informação actualizada e detalhada sobre a situação das perdas em sistemas de abastecimento de água.

Portanto, o presente trabalho visa contribuir para o aumento da disponibilidade de informação sobre o funcionamento e estado de conservação do Sistema de Maputo, no que concerne às Perdas de Água.

1.4. Objectivos

1.4.1. Geral

Avaliar as Perdas de Água do Sistema de Maputo, focando-se na Zona de Medição e Controlo Unidade 7, pertencente à Área Operacional de Chamanculo.

1.4.2. Específicos

- Descrever o sistema de Maputo, com enfoque para a Área Operacional de Chamanculo;
- Descrever as características da Zona de Medição e Controlo Unidade 7 da Área Operacional de Chamanculo ;
- Determinar o volume de perdas de água na Zona de Medição e Controlo (ZMC) em estudo, usando a matriz do Balanço Hídrico da *International Water Association (IWA)*, através do *software AWWA Free Audit Software v6.0*;
- Identificar e localizar os pontos da rede de distribuição da ZMC Unidade 7 com possibilidade de registo de fugas (perdas reais), através da construção e calibração do modelo hidráulico usando os *softwares EPANET e WaterGEMS-Versão Estudante*;
- Apresentar recomendações para o controlo e redução das perdas de água.

1.5. Perguntas investigativas

- A Zona de Medição e Controlo de Unidade 7, pertencente à Área Operacional (AO) Chamanculo, estará bem delimitada e em pleno funcionamento?
- Qual será o índice de perdas de água que se registou na Zona de Medição e Controlo Unidade 7 para o ano de 2022?
- Quais os pontos da rede com possibilidades de ocorrência de fugas?

1.6. Metodologia

O presente trabalho baseia-se numa abordagem quantitativa, cujo propósito é o de avaliar as perdas de água na Zona de Medição e Controlo Unidade 7.

O trabalho obedeceu a seguinte metodologia:

- Pesquisa Bibliográfica**- pesquisa em artigos e material científico, obtidos em plataformas reconhecidas pela comunidade científica. Esta pesquisa permitiu buscar melhor entendimento sobre o balanço hídrico, modelação hidráulica e calibração de modelos hidráulicos.
- Caso de estudo**- o trabalho teve como base o estudo da análise de perdas de água num caso específico em Moçambique, a Zona de Medição e Controlo

Unidade 7. O caso de estudo permitiu a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos através da pesquisa bibliográfica.

- iii. **Visitas de campo-** foram feitos levantamentos relativos à situação do estado actual das condutas (presença de lixo, situação de funcionamento, etc), assim como a medição de dados convenientes para o trabalho, como por exemplo:
 - a. localização dos macromedidores e válvulas de isolamentos da ZMC em estudo;
- iv. **Ferramentas computacionais (softwares)-** foram usados *softwares* gratuitos ou com licença educacional, como o EPANET, WaterGEMS- Versão estudante, *Microsoft Excel* e *AWWA Free Audit Software v6.0*, para análise e tratamento dos dados colhidos;
- v. **Levantamento de dados-** a recolha de dados foi feita na empresa Águas da Região Metropolitana de Maputo (AdRMM), durante a realização de um estágio académico. Foi solicitada informação relativa à delimitação das ZMCs, assim como o histórico de leituras efectuado nas mesmas: volumes de entrada nos macromedidores, histórico de pressões, registo de fugas e planos de reparação;
- vi. **Avaliação dos resultados do modelo:** processamento e pré-análise de dados operacionais, informação técnica e comercial usada na modelação hidráulica da área de estudo foi efectuada em planilhas *Excel* e posteriormente inseridas nos *softwares* de modelação para a construção do modelo hidráulico;
- vii. **Análise comparativa:** aplicada a aferição de dados observados e os resultados do modelo permitindo assim a indicação das diferenças existentes a serem objecto de calibração do modelo hidráulico.

De forma resumida, a pesquisa consistiu no cálculo do Balanço Hídrico através do método da *AWWA (American Water Works Association)* para determinar os volumes de perdas de água e, para complementar a quantificação das perdas, foi construído um modelo hidráulico em EPANET, que foi posteriormente calibrado usando o WaterGEMS para identificação dos pontos da rede onde há indícios de ocorrência de fugas.

1.6.1. Materiais e Métodos

Para a realização do presente trabalho, solicitou-se informações às Águas da Região Metropolitana de Maputo (AdRMM).

Foram obtidos os parâmetros hidráulicos relativos à ZMC em estudo, no que tange a leituras efectuadas em macromedidores assim como os dados. Os dados foram colhidos para o ano de 2022, sendo que os modelos hidráulicos também foram construídos para o mesmo período temporal.

1.6.1.1. AWWA Free Audit Software v6.0

A *American Water Works Association (AWWA)* desenvolveu uma planilha de cálculo denominada *AWWA Free Audit Software*, que visa auxiliar e uniformizar a análise do Balanço Hídrico para um certo sistema. Foi usada a sua versão 6.0, publicada em 2020. A mesma permite o cálculo e estimativa dos componentes do balanço hídrico. No *Anexo 8.5* encontra-se a imagem da *interface* inicial da planilha referida.

1.6.1.2. EPANET 2.2

O *software* de modelação e simulação hidráulica EPANET, foi usado na sua versão 2.2 para a análise das componentes hidráulicas da ZMC em estudo. Foram calculados dados como as cotas dos nós da rede, demanda-base dos nós assim como inseridos os diâmetros existentes na rede e os materiais das condutas. Estes componentes foram suficientes para modelar a rede e executar a simulação inicial da mesma.

1.6.1.3. WaterGEMS

A optimização para a identificação de perdas de água na rede da área de estudo foi usada a ferramenta *Leakage Detection* incorporado no módulo *Darwin Calibrator* do *software* WaterGEMS- Versão estudante, que com base na tecnologia de optimização que usa Algoritmos Genéticos (AGs) baseados nos princípios da evolução natural, prediz a localização de possíveis nós que apresentam fugas.

O *Darwin Calibrator* é um módulo acoplado na licença do Bentley WaterGEMS. que permite ao usuário calibrar um modelo manualmente ou automaticamente com Algoritmos Genéticos eficientes, de forma automatizada. Ele permite que várias opções de resultados da calibração sejam apresentados para que a melhor solução possível para um determinado sistema e possa ser encontrada. As soluções também podem ser exportadas para um novo cenário para uso em um sistema de água existente. Para calibrar um modelo, o Calibrador Darwin faz ajustes na rugosidade das condutas e demanda. Por este motivo, o primeiro passo para qualquer estudo de calibração é ter um modelo completo com todos os dados de demanda e rugosidade inseridos, o que foi atempadamente realizado no presente trabalho. (Whitman & Walski, 2021)

1.7. Limitações do estudo

A limitações do estudo seguem abaixo:

- Não foi possível obter dados comerciais para cada cliente, ou seja, as facturas mensais entregues aos clientes. Estes dados permitiriam que o processo de cálculo da demanda-base para a simulação inicial fosse mais precisa;
- O trabalho não teve abrangência a nível de todas as Zonas de Medição e Controlo da Área Operacional de Chamanculo, devido ao facto de muitas delas não estarem devidamente discretizadas e hidraulicamente delimitadas;

Por questões de logística não foi possível fazer medições de campo de pressões e caudais em mais pontos da Zona de Medição e Controlo em estudo- com recursos financeiros pode-se dispôr dos materiais (instrumentos) e logísticos para se fazer ao local de estudo a fim de realizar medições de caudais e pressões; de salientar que foram medidas as pressões e caudais em vários pontos da rede, porém um maior número de pontos de medição resulta, na maior parte das vezes, numa calibração mas assertiva do modelo hidráulico.

2. CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) são infraestruturas responsáveis pela captar, transportar e distribuir água aos núcleos populacionais urbanos com regularidade, segurança, qualidade e quantidade suficiente (Bezerra & Cheung, 2013).

O estudo realizado por (Pereira & Tinôco, 2021), aplicou o método do Balanço Hídrico, proposto pela *International Water Association (IWA)*, e obteve, para o Parque da Nações de Paramirim, no Brasil, um resultado estimado em 55% de perdas de água.

(De Souza Junior & Vatauvuk, 2023) implementaram as Zonas de Medição e Controlo como uma ferramenta de gestão e redução das perdas em redes de distribuição de água. Através destas, seria possível fazer medições mais precisas e localizar, com menor erro possível, as fugas em condutas para proceder posteriormente com a sua reparação.

(Hasdiana, 2018) através do seu estudo no Brasil, investigou as tecnologias mais recentes voltadas para a gestão de sistemas de abastecimento, onde foram pesquisados aplicativos para celular de 28 empresas participantes do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), do Brasil, e como estes são utilizados para melhorar a gestão das perdas de água, tendo chegado à conclusão que 20 empresas possuem os aplicativos de gestão de perdas, dos quais 4 permitem a denúncia de fraudes e 17 permitem que se informe sobre a ocorrência de fugas nesses sistemas.

A inteligência artificial foi usada por (Nunes & Barbosa, 2021) através do método SVM (*Support Vector Machine*), para o reconhecimento de elevada quantidade de fugas a partir de variáveis operacionais em um sector de abastecimento em Viana, no Estado do Espírito Santo (ES), no Brasil.

Em Moçambique, (Bié, 2021) estudou a optimização da rede de abastecimento de água da Cidade de Xai-Xai através do Balanço Hídrico em conjunto com a Modelação Hidráulica, através da construção e calibração de um modelo hidráulico da rede.

Ainda em Moçambique, no Município de Chimoio, Província de Manica, uma pesquisa foi desencadeada com objectivo de determinar as perdas de água na rede de distribuição do Bairro 25 de Junho, através da leitura de volumes entrados no sistema, em simultâneo com a construção e calibração do modelo hidráulico da rede usando o *software* EPANET 2.0, com objectivo de avaliar as pressões e os caudais para entender

o funcionamento do sistema. As perdas foram estimadas em cerca de 25%, para o período de 1 de Novembro de 2018 à 2 de Janeiro de 2019. (Khanlawia et al., 2022)

2.1. Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento

De acordo com (Sousa da Cunha et al., 2021) e (Tardelli, 2015), perdas de água podem ser consideradas como sendo as diferenças entre os volumes medidos à entrada do sistema e os volumes medidos nos contadores de água dos consumidores finais.

Segundo (Sobrinho & Borja, 2016), a perda de água é vista como um dos indicadores de desempenho operacional dos provedores do serviço público de abastecimento de água. As perdas de água ocorrem em todos os componentes de um SAA, desde a captação até a distribuição, entretanto a magnitude dessas perdas depende da concepção e manutenção de cada unidade do sistema.

(Bezerra & Cheung, 2013) enfatizam que as perdas de água têm, cada vez mais, sido impactadas pelo uso irracional da água. Ou seja, a influência do uso e desperdício de água nas ligações domésticas estão cada vez mais a preocupar a comunidade de pesquisadores desta área.

De acordo com (Patrício, 2007), a necessidade de redução das perdas interessa ao provedor de água, já que evitando as perdas, em condições normais, reduz-se o volume de água tratada, se economiza produtos químicos e se reduz as despesas de energia e de gastos com pessoal e equipamentos para operações de reparação de danos.

2.1.1. Perdas reais ou físicas

Segundo (Bezerra & Cheung, 2013), alinhado com (Tardelli, 2015), as perdas reais são inevitáveis em sistemas de abastecimento de água, ou seja, não é possível eliminar por completo esse tipo de perdas.

Este tipo de perdas ocorre através de fugas de água nas condutas, e é visto como o volume efectivo que se perde no sistema. Entretanto, algumas dessas fugas são detectáveis a olho nú e outras através de equipamentos de detecção acústica.

(Bezerra & Cheung, 2013) define que este tipo de perdas pode ser classificado em três sub-tipos: visíveis, não visíveis (porém detectáveis através de equipamentos) e inerentes.

- a. Visíveis- são derivados de rupturas nas condutas, causadas por sobrepressões ou sobrecargas excessivas, defeitos estruturais, assentamentos do terreno e cargas excessivas sobre o pavimento. Estes tipos de fugas são facilmente detectáveis pois facilmente afloram à superfície. Geralmente possuem caudais de perdas elevados.



Figura 1- Fuga visível. Fonte: Internet

- b. Não visíveis (porém detectáveis) - este tipo de perdas não aflora à superfície, porém podem ser detectadas por via de equipamentos de detecção acústica. Possuem caudais moderados e sua duração depende do tempo de resposta da entidade responsável pela gestão do sistema;
- c. Inerentes ou de base- este tipo de fugas é relativo à água perdida em pequenos orifícios, ligações, juntas de conexões e acessórios das condutas, etc. Este tipo de fugas não são visíveis e dificilmente são detectáveis. Normalmente os caudais associados a este tipo de fugas são menores, mas, apesar destes caudais serem relativamente menores, os volumes perdidos são elevados devido à dificuldade associada à detecção, aumentando assim o tempo de resposta para o reparo das anomalias. (Alegre, 1999) (Alegre et al., 2005)
- d. Perdas operacionais- as perdas operacionais referem-se a operações de limpeza de reservatórios, reparação de fugas (de rotina ou de emergência) e também, quando se aplica, limpeza de parques ou áreas públicas.



Figura 2- Fuga em elemento de ligação. Fonte: *internet*.

2.1.1.1. Factores que influenciam as perdas de água físicas

Segundo (António, 2015), citando (Alegre et al., 2005), os factores que podem influenciar as perdas reais, podem ser listados a seguir:

- O estado das condutas e outros componentes, o seu material, a frequência de fugas e de rupturas;
- A pressão média de serviço, densidade e comprimento dos ramais;
- O tipo de solo e as condições do terreno, que vem a ser influente à medida que torna mais difícil ou não a detecção das perdas visíveis;
- Vibrações provocadas por tráfego rodoviário;
- A percentagem de tempo em que o sistema está sob pressão, acelerando o desgaste do material por fadiga;
- Uso de mão-de-obra não especializada, associada à ausência de manutenções periódicas;

2.1.1.2. Consequências da ocorrência das perdas reais

Segundo (Farley, 2001), as consequências são:

- Inconveniência para o consumidor- tende a criar problemas pois tendem a baixar as pressões ao ponto de não ser garantida a pressão mínima de serviço;
- Danos à infraestrutura- origina vazios através da erosão junto às fugas;
- Custos excessivos- origina problemas de custos elevados, não só no que concerne ao reparo das infraestruturas danificadas devido às fugas, mas também aos volumes de água que foram tratados e que são desperdiçados;
- Riscos para a saúde- a água que aflora à superfície pode ser contaminada e em seguida consumida pela população.

2.1.2. Perdas aparentes ou comerciais

(Tardelli, 2015) define as perdas aparentes ou comerciais como aquelas que ocorrem através dos erros de medição, fraudes (ligações clandestinas, *bypass*) e falhas no sistema comercial das empresas.

(Bezerra & Cheung, 2013) define as perdas comerciais como sendo a parcela da perda total que não é causada por fugas em condutas e reservatórios.



Figura 3- *Bypass* ou ligação clandestina. Fonte: Internet

Os **erros de medição** podem ocorrer devido a falta de calibração dos equipamentos de medição de volumes (os contadores de água).

Por último, o **consumo não autorizado**, que pode ocorrer de várias maneiras. No entanto, o uso mais corrente são as ligações clandestinas (através do *by-pass*) e o uso fraudulento. (Bezerra & Cheung, 2013)

2.1.2.1. Factores que contribuem para a ocorrência de perdas de água aparentes ou comerciais

Estas perdas podem ser de causas variadas, porém (Alegre et al., 2005) é da opinião que os seguintes factores têm um papel significativo:

- Planeamento urbano deficiente- este factor pode incidir sobre a facilidade que as populações terão para optar por ligações clandestinas, além de causar dificuldades na localização de clientes, entrega das facturas e calibração dos contadores de água;
- Défice de capacitação técnica para execução de leituras com baixo nível de erros;

2.2. Balanço Hídrico (abordagem *Top-Down*)

O Balanço Hídrico é um método baseado em diferenças entre os volumes de água que entram no sistema (*system input volume*) e os volumes de água que saem do mesmo. (FUNASA, 2014)

Segundo (Lambert & Hirner, 2000; Pereira & Tinôco, 2021), este método consiste numa matriz proposta pela IWA, que permite a estratificação dos componentes de consumo e perdas de água ao longo do sistema.

Parte-se do volume que entra no sistema até aos consumos e perdas de água que realmente ocorrem. Neste método, são feitas hipóteses para determinar as perdas aparentes ou comerciais e, pela diferença, chega-se então às estimativas das perdas reais ou fugas. (Alegre et al., 2016; Bezerra & Cheung, 2013)

Volume de água entrada no sistema [m ³ /ano]	Consumo autorizado [m ³ /ano]	Consumo autorizado facturado [m ³ /ano]	Consumo facturado medido [m ³ /ano]	Água facturada [m ³ /ano]
			Consumo facturado não medido [m ³ /ano]	
		Consumo autorizado não facturado [m ³ /ano]	Consumo não facturado medido [m ³ /ano]	Água não facturada [m ³ /ano]
			Consumo não facturado não medido [m ³ /ano]	
	Perdas de água [m ³ /ano]	Perdas aparentes [m ³ /ano]	Uso não autorizado [m ³ /ano]	
			Erros de medição [m ³ /ano]	
		Perdas reais [m ³ /ano]	Fugas nas adutoras e ou redes de distribuição [m ³ /ano]	
			Fugas em reservatórios [m ³ /ano]	
	Fugas em ramais prediais (a montante dos contadores prediais)			

Quadro 1-Balanço Hídrico. Fonte: Adaptado de IWA, 2000

Para o preenchimento do Balanço Hídrico, (Alegre et al., 2005) aconselham que o período de análise seja de 12 meses (período anual), para minimizar as questões de imprecisões e falhas ocorridas durante as medições.

O Balanço Hídrico permite conhecer o volume de água perdido no sistema de abastecimento (Farley et al., 2008), que é o primeiro passo para o controlo de perdas. Segundo IWA, as componentes do balanço hídrico são (A. R. M. G. da C. Ferreira, 2017):

- *Volume de água entrada no sistema (System Input Volume)*: volume de água que entra no sistema;
- *O consumo autorizado (Authorised Consumption)*: volume de água medido e não medido, utilizado por consumidores registados, pelo corpo de bombeiros ou por outras entidades que tenham autorização para utilizar essa água. Por exemplo, combate a incêndios, descargas de rede, limpeza de reservatórios, entre outros trabalhos rotineiros;
- *Água não facturada (Non-Revenue Water, NRW)*: diferença entre o volume de água que entra no sistema e o consumo autorizado facturado. Esta água não facturada corresponde às perdas comerciais;
- *Perdas de água (water losses)*: diferença entre o volume de entrada no sistema e o consumo autorizado. Subdivide-se em Perdas reais e comerciais;
- *Perdas aparentes ou comerciais (apparent losses)*: são aquelas associadas a todos os tipos de imprecisões às medições de água produzida e consumida e também ao consumo não autorizado ocasionado por fraudes, ligações clandestinas ou irregularidades, erros nos contadores de água, de leitura ou falhas no cadastro comercial (Alegre et al., 2005);
- *Perdas reais ou físicas (real losses)*: refere-se a toda a água que sai do sistema, ou seja, que não chega até às instalações do cliente. Estas são ocasionadas fugas ou rupturas de condutas em redes de distribuição, ramais e conexões, trincas e fissuras nas paredes dos reservatórios (Alegre, 1999).

2.2.1. Aplicação da Matriz do Balanço Hídrico

(A. R. M. G. da C. Ferreira, 2017) define os passos para a materialização do Balanço Hídrico da *International Water Association (IWA)*:

1. Definir de forma exacta a zona (ou sector) a avaliar e o período de medição;
2. Determinar, através de macromedição, *volume de água entrada no sistema*;

3. Determinar o volume correspondente ao *consumo facturado medido* e ao *consumo facturado não medido*. A sua soma permite obter o volume do *consumo autorizado facturado*, que é igual ao volume de *água facturada*, na última coluna;
4. Determinar o volume de *água não facturada*, através da subtracção entre o *volume de água entrada no sistema* e o volume de *água facturada*;
5. Definir o *consumo não facturado medido* e o *consumo não facturado não medido*. A sua soma permite obter o *consumo autorizado não facturado*, e colocá-lo na terceira coluna;
6. Somar o *consumo autorizado facturado* com o *consumo autorizado não facturado* (referente, por exemplo, instalações da empresa provedora que consomem água mas não são facturadas), de modo a obter o consumo autorizado e colocá-lo a segunda coluna;
7. Obter o volume das *perdas de água*, subtraindo o *consumo autorizado* à *água entrada no sistema*;
8. Determinar, utilizando os melhores métodos de estimativa possíveis, as parcelas correspondentes ao *uso não autorizado* e aos *erros de medição*. A sua soma permite obter o volume de *perdas comerciais* do sistema;
9. Determinar o volume de *perdas reais*, subtraindo às *perdas de água* as *perdas comerciais*;
10. Utilizando os melhores métodos disponíveis, determinar o volume de cada uma das parcelas das *perdas reais*. O valor da soma das parcelas deve ser comparado com o valor obtido no passo anterior para o volume de *perdas reais*.

2.2.2. Ferramentas para o Cálculo do Balanço Hídrico

a. *AWWA Free Audit Software v6.0*

A *American Water Works Association (AWWA)* desenvolveu uma planilha de cálculo denominada *AWWA Free Audit Software*, que visa auxiliar no cálculo dos componentes do Balanço Hídrico para um certo sistema. A mesma serve de apoio para o cálculo e estimativa dos componentes do balanço hídrico, assim como o cálculo dos Indicadores-chave de Desempenho (do inglês: *Key Performance Indicators*). Vide a figura na página seguinte.

Figura 4- Interface inicial do AWWA Free Audit Software v6.0. Fonte: Autor

2.3. Modelação Hidráulica

Segundo (Coelho et al., 2006), a modelação hidráulica permite, com uma margem de erro aceitável e possível de se conhecer, analisar e prevêr o comportamento hidráulico e dos parâmetros de qualidade da água do sistema, a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos (demandas) solicitados. (A. R. M. G. da C. Ferreira, 2017)

Software de Modelação Hidráulica	Empresa	Tipo de análise
AQUIS	Seven Technologies	Idade da água; análise de rede
EPANET	EPA (Environmental Protection Agency)	Idade da água, análise de traçador e análise de constituinte
InfoWater H2ONET/H2OMAP	MWHSoft	Idade da água, análise de traçador e análise de constituinte
Infor= Works WS	Wallingford software	Idade da água, análise de traçador e análise de constituinte
Mike Net	DHI, Boss international	Idade da água, tempo de viagem e acompanhamento da fonte do constituinte
Pipe 2000	University of Kentucky	Envelhecimento automático dos tubos (aumento da rugosidade)
PipelineNet	SAIC, TSWG	Idade da água, análise de traçador e análise de constituinte
SynerGEE Water	Advantica	Idade da água, análise de traçador e análise de constituinte
WaterGEMS / WaterCad	Bentley Systems	Idade da água, análise de traçador e análise de constituinte
STANET	Fisher-Uring Engineering	Mistura estacionária/monitoria de concentração (carga de pressão, qualidade de água e idade de água)
Wadiso	GLS Software	Idade da água, análise de traçador e análise de constituinte

Tabela 1- Resumo dos softwares de Modelação Hidráulica. Fonte: ASCE (2004)

De acordo com (Rodrigues, 2013) ,os programas mais utilizados para a modelação hidráulica possuem recursos bastante avançados de entrada de dados e simulam o comportamento desde centros distribuidores até as redes de distribuição secundárias. Alguns possuem ferramentas de calibração do modelo com entradas de uma estação remota, ou seja, pode-se alimentar o modelo com dados reais colhidos no campo que estão sendo medidos, como é o caso do WaterGEMS da Bentley Systems, ferramenta

que foi utilizada no presente trabalho para calibração dos modelos hidráulicos assim como a identificação de fugas na área em estudo.

A modelação hidráulica exige o conhecimento dos componentes físicos e não físicos da rede de distribuição. De acordo com (Rodrigues, 2013) e (Talens, 2022) os dados de entrada para a criação do modelo hidráulico incluem:

- **Trechos e nós da rede:** informações como os diâmetros, material das condutas, coordenadas dos pontos dos nós, as cotas dos nós e o traçado da rede;
- **Acessórios hidráulicos da rede:** válvulas de seccionamento, de corte e redutoras de pressão instaladas na rede de distribuição devem ser identificadas e incluídas no arquivo de base;
- **Dados de campo:** os dados de campo fazem parte do processo de recolha de dados, onde de entre elas incluem os valores de pressão, caudais e outros parâmetros que se julgar importante para a modelação e calibração;
- **Condições de demanda:** os dados referentes ao uso da água devem ser colhidos e devem constar no modelo-base, alocadas geograficamente de forma correcta ou estimadas de acordo com os métodos que se adequem melhor à rede hidráulica.

2.4. Calibração de modelos hidráulicos

Sempre que o modelo hidráulico incide sobre um sistema existente, existe a necessidade de proceder à aferição dos resultados obtidos de forma a aproximá-los da realidade tanto quanto possível. Para tal, há que proceder ao ajustamento dos parâmetros do modelo para que os resultados reproduzam, com aproximação aceitável, as medições efectuadas no sistema. (Lansey et al., 2001)

Um modelo hidráulico considera-se calibrado quando simula adequadamente tanto os valores de caudal (ou velocidade) como os valores de pressão, não sendo suficiente obter dados satisfatórios no modelo para apenas uma destas variáveis. (Lansey et al., 2001)

(T. M. Walski, Chase, et al., 2003) e AWWA (1989) referem que ainda existem vários casos de calibrações de modelos hidráulicos feitos por métodos directos, que baseiam-se nas tentativas até se encontrar resultados aceitáveis. Mas, importa frisar que para

modelos de redes de distribuição consideradas de tamanho moderado a grande, a probabilidade de erros de calibração é, obviamente, maior.

O procedimento sistemático que se segue pode ser levado a cabo para a calibração de modelos hidráulicos (Lansey et al., 2001; T. M. Walski, Methods, et al., 2003):

- Identificação do uso que se pretende dar ao modelo- determina o seu nível de detalhe, o tipo de resultados e conseqüentemente o grau de precisão que se deve obter;
- Estabelecimento de um cenário-tipo para comparação- o mais comum é calibrar a rede para um cenário estático, sendo por exemplo, uma certa hora do dia, ou um período diário, que pode ser o de maior ou menor consumo, ou até o de ponta;
- Recolha dos dados de calibração- nesta fase faz-se a recolha dos dados de campo, relativos à pressão e caudais nas condutas;
- Análise de sensibilidade- neste ponto pretende-se obter o conhecimento do modelo de modo que se perceba a sensibilidade do mesmo. Para tal, recomenda-se que sejam analisados o maior número de cenários possíveis;

Os erros da calibração são as discrepâncias entre os resultados do modelo e a realidade observada, os quais podem ter variadas origens, como os dados físicos colhidos no campo, as suas solicitações e as condições operacionais. (Coelho et al., 2006)

A calibração dos modelos considera-se satisfeita, segundo (T. Walski, 2017), quando alguns intervalos de valores dos parâmetros são atingidos, como:

- Valores de pressão:
 - Diferença entre a cota piezométrica simulada e medida, inferior a $\pm 1,5\text{m}$;
 - Diferença entre o nível de água simulado e medido, inferior a $\pm 1,0\text{m}$;
- Critérios de aceitação de valores de caudal:
 - Diferença entre o caudal simulado e medido, inferior a $\pm 10\%$ do caudal medido.

Ao passo que, (Coelho et al., 2006) refere que no Reino Unido a calibração de modelos hidráulicos considera-se satisfeita quando se cumprem as seguintes condições:

- Valores de pressão:
 - 85% dos valores medidos na rede deverão satisfazer a maior das duas tolerâncias: $\pm 0.50\text{ m}$ ou $\pm 5\%$ da maior perda de carga verificada na rede;

- 95% dos valores medidos na rede deverão satisfazer a maior das duas tolerâncias: ± 0.75 m ou $\pm 7.5\%$ da maior perda de carga verificada na rede;
- 100% dos valores medidos na rede deverão satisfazer a maior das duas tolerâncias: ± 2.0 m ou $\pm 15\%$ da maior perda de carga verificada na rede.
- Valores de caudal:
 - Para as condutas que o caudal medido for superior a 10% do consumo total da rede, o caudal modelado deverá ser igualado ao caudal medido com uma tolerância de $\pm 10\%$ sobre caudal medido;
 - Para as condutas que o caudal seja medido, e este for superior a 10% do consumo total da rede de distribuição, o caudal modelado deverá ser igual ao caudal medido com uma tolerância de $\pm 10\%$ do caudal medido.

Por sua vez, (Rodrigues, 2013) dá a conhecer os critérios da *American Water Works Association* (AWWA), que predizem que os modelos consideram-se aceitavelmente calibrados se a diferença entre os valores simulados e observados forem inferiores a 10% do caudal medido.

Neste trabalho, será tido em conta os critérios estabelecidos por (Rodrigues, 2013) para a validação do modelo hidráulico da área em estudo.

2.4.1. Técnicas de Calibração de Modelos Hidráulicos

De entre várias técnicas usadas, destacam-se o Algoritmo Iterativo, assim como Algoritmos Genéticos Multiobjectivo. (Gameiro, 2014)

(Salvino, 2012) desenvolveu um *software* de calibração denominado LenhsCalibra, em colaboração com o Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, da Universidade Federal de Paraíba. O *software* foi desenvolvido em linguagem de programação compatível com o EPANET, e pode ser usado como um ficheiro *plugin*. Este *software* permite a calibração de modelos usando dois métodos: através de um Algoritmo Iterativo (em que pode-se entrar com as variáveis de pressão e demanda para a obtenção da rede calibrada), ou através de Algoritmos Genéticos Multiobjectivo (neste método pode-se entrar com até sete variáveis de calibração ou uma combinação de duas ou mais delas: rugosidades, demandas, pressões. A escolha das variáveis a combinar dependerá da confiança que se tem com os dados colhidos em campo sobre a rede hidráulica em análise. (Salvino et al., 2015)

(Puust & Vassiljev, 2014) apresenta o método de *Levenberg-Marquardt* que faz uso de uma caixa de ferramentas compatível com o *software* EPANET.

(Pereira da Cunha et al., 2015) fizeram uso da calibração hidráulica usando o modelo inverso. Este modelo inverso, por sua vez, faz uso do Algoritmo Genético acoplado ao *software* EPANET. O modelo inverso visa a minimização dos desvios entre os valores de caudal e pressão observados durante o monitoramento e os valores simulados no EPANET. A função objectivo utilizada para a resolução do problema de calibração baseia-se no quadrado da diferença entre os valores observados e simulados.

(R., 1988) desenvolveu a calibração de modelos através de um algoritmo iterativo desenvolvido em MATLAB, com variáveis demanda (caudais) e as rugosidades das condutas.

(Al., 2021) apresenta em seu artigo, um método de calibração baseado no método CNB (*Characteristic Nodes Method*), que tem como objectivo fazer uso de uma matriz de sensibilidade para determinar os nós da rede de distribuição com maior influência na tubagem. Podendo fazer a calibração do modelo hidráulico com base no ajuste das rugosidades dessas tubagens consideradas como sendo de base para a calibração eficaz do modelo.

O *software* WATERGEMS da BENTLEY SYSTEMS faz também uso da calibração de modelos hidráulicos usando Algoritmos Genéticos, através da ferramenta *DARWIN CALIBRATOR*.

2.5. Ferramentas de Modelação Hidráulica aplicadas na pesquisa

2.5.1. Visão Geral do Epanet 2.2

Em 1993 foi desenvolvida a primeira versão do EPANET, pela Associação Norte-Americana de Protecção Ambiental (USEPA).

Este é um *software* de código aberto e de licença gratuito, isto é, qualquer utilizador pode fazer uso e ajustamentos. O EPANET 2.2 foi desenvolvido originalmente em Língua Inglesa e tem algumas versões traduzidas como a versão espanhola e brasileira. (Talens, 2022)

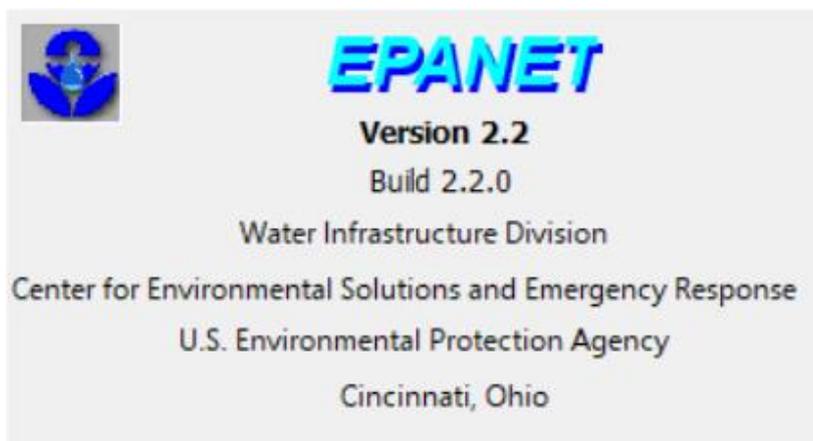


Figura 5- Interface inicial do Epanet 2.2.

2.5.2. Visão geral do WaterGEMS

O *software* WaterGEMS foi originalmente desenvolvido pela Empresa Haestad Methods, Inc. sediada em Watertown, CT (EUA), posteriormente adquirida pela Bentley Systems em meados de 2004. Foi a partir da aquisição que o produto começou a ser conhecido comercialmente como Bentley WATERGEMS.

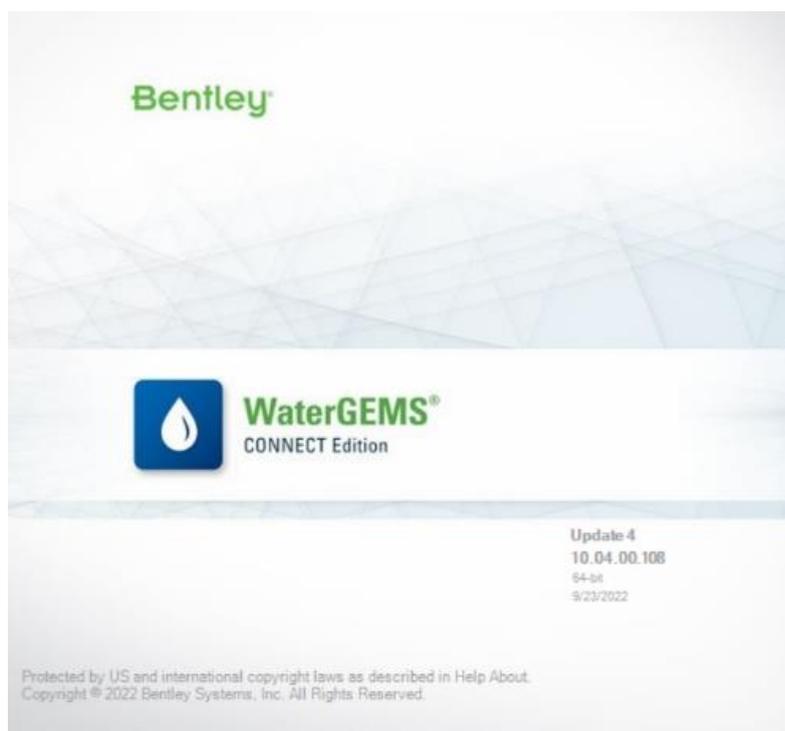


Figura 6- Interface inicial do software WaterGEMS.

2.6. Controlo e Redução das Perdas Reais

O Manual de Boas Práticas da *International Water Association (IWA)* recomenda algumas acções a serem mantidas (Ozanne, 2011):

- **Cadastro Técnico-** actualizado e fiável, é condição essencial para gestão das perdas no geral.
- **Sectorização-** através das zonas de medição controlo, pode-se detectar e controlar as perdas através da gestão de pressões, caudais mínimos nocturnos, entre outros métodos;
- **Macromedição-** é fundamental, pois permite o acompanhamento dos resultados através da implantação de instrumentos e todas actividades associadas, como a calibração dos macromedidores, ajustes físicos de instalações, manutenção em geral e actualização tecnológica. (ABES, 2015)

(Thornton et al., 2008) apresenta as acções para o combate e redução das perdas reais:

- **Gestão das pressões-** através da medição zonada e adopção de equipamentos para aumentar ou reduzir pressões;
- **Controlo activo das fugas-** as empresas necessitam de ter programas de controlo, regularmente;
- **Gestão das infraestruturas-** boa execução do assentamento das condutas, qualidade dos projectos, materiais e mão de obra. Geralmente é a actividade mais importante para o combate às perdas reais. (ABES, 2015)

A gestão eficaz, através do controlo e redução das perdas, é capaz de atingir bons resultados económicos, satisfação social e exploração sustentável dos recursos naturais. (Herrera et al., 2018)

2.6.1. Zona de Medição e Controlo

A medição zonada ou sectorização é vista como uma técnica de controlo de caudais, e de apoio de controlo de perdas, que envolve uma divisão criteriosa da rede de distribuição num conjunto de zonas discretizadas, cujas entradas e saídas de água são rigorosamente controladas e medidas. Esta técnica é vista como sendo básica, embora não seja directamente um método de redução de perdas. Constitui assim um ponto de partida para o controlo e redução de perdas. (Alegre et al., 2005).

As Zonas de Medição e Controlo (ZMCs) são previamente delimitadas e controladas de modo que sejam operadas com a maior precisão e detalhes possíveis, de modo a tornar o controlo mais eficaz (De Souza Junior & Vatavuk, 2023). Estas ZMCs apresentam dimensão variável, dependendo dos condicionalismos locais, em especial a topologia e dimensão da rede, a densidade populacional e a densidade de ramais. (Alegre et al., 2005; António, 2015)

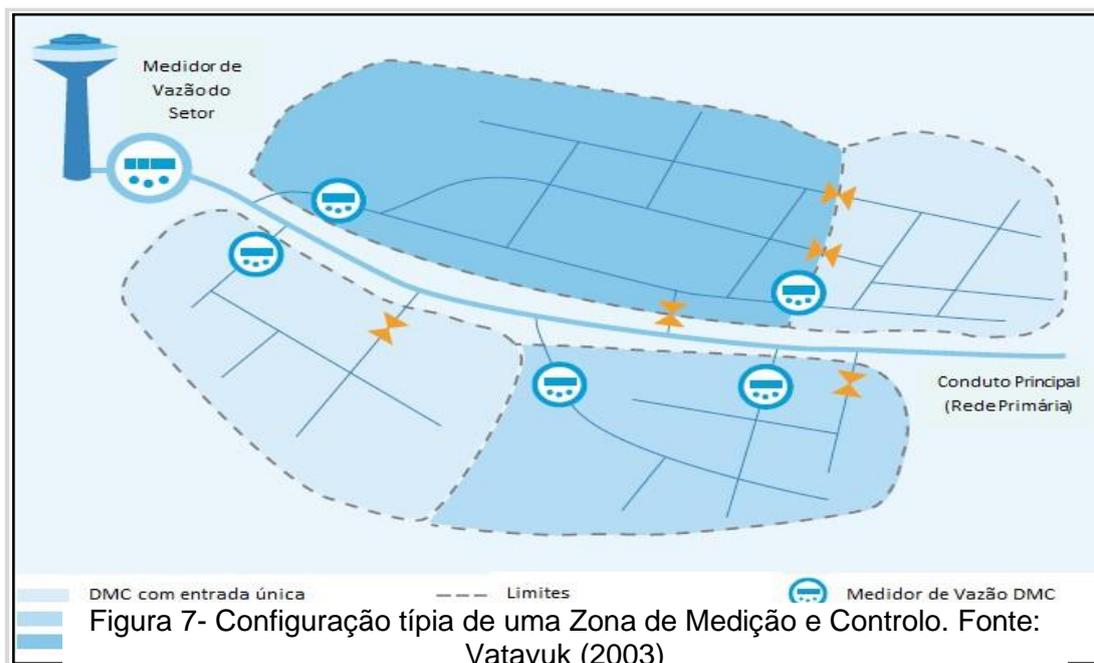
2.6.1.1. Teste Zero de Pressão

O Teste Zero de Pressão consiste nos procedimentos que se seguem:

- 1) Efectuar marcações nas válvulas fronteiriças marcando as tampas das mesmas. Por exemplo, pintando.
- 2) Instalar medidores de pressão em pontos-chave ao longo da Zona de Medição e Controlo;
- 3) Fechar o(s) ponto(s) de entrada da ZMC para isolá-la;
- 4) Monitorar a pressão;

Após a definição dos limites físicos da ZMC, um teste às válvulas da mesma deve ser efectuado a fim de verificar a eficiência da mesma.

Segundo (Hamilton, n.d.), o Teste Zero de Pressão consiste em aferir se a ZMC encontra-se bem discretizada e pronta para desempenhar a sua função de forma assertiva. A importância do Teste Zero de Pressão não deve ser subestimada, pois se



uma

das

válvulas de isolamento da ZMC não estiver a funcionar adequadamente, pode comprometer eventuais estudos de análise e quantificação de perdas de água nesta Zona de Medição e Controlo.

Este procedimento inicia encaminhando o caudal de entrada em uma determinada área com todas as válvulas fronteiriças identificadas e fechadas, enquanto a pressão é monitorada no ponto mais alto a rede, para que esta tenda a zero (0), confirmando assim que não existe nenhum ponto de entrada de água e a ZMC encontra-se completamente discretizada e correctamente delimitada. (Hamilton, n.d.)

2.6.2. Controlo activo de fugas

Para (Tardelli, 2015), o controlo activo de fugas é o oposto do controlo passivo. No controlo passivo, a empresa provedora só actua quando a fuga aflora à superfície (visível), tomando conhecimento do mesmo, geralmente, através de avisos por parte da população.

O controlo activo representa a acção sistemática desenvolvida no sentido de identificar as fugas por meio de instrumentos que utilizam o método acústico de pesquisa. Outros métodos incluem a sectorização, gestão das pressões de serviço e reparação rotineira do sistema. (Tardelli, 2015)

(B. Ferreira et al., 2023) desenvolveu um estudo que centrou-se na identificação de fugas em tempo real recorrendo a dados de monitorização da rede de distribuição. O estudo consistiu na instalação de macromedidores instalados à entrada da rede de distribuição, por forma a indicar os períodos de consumos ou situações anómalas.

2.7. Controlo e Redução das Perdas Aparentes

De acordo com o pensamento de (Tardelli, 2015), as acções para o controlo das perdas aparentes, embora não sejam visivelmente notadas através de intervenções no terreno, são preponderantes para evitar as ligações fraudulentas. Algumas técnicas são demonstradas nos subcapítulos abaixo. As perdas comerciais dependem de um sistema de gestão de facturações e cobranças actualizado e a funcionar devidamente. (Farley, 2001)

2.7.1. Macromedição e Micromedição

Somente através da medição é que será possível detectar as perdas ou situações anómalas num sistema de abastecimento de água. (Tardelli, 2015)

O conceito de macromedição consiste na correcta determinação dos volumes de água produzidos e dos volumes entregues a sectores de abastecimento ou distribuição de certas regiões, quando se trata de sistemas de grande porte. (Thornton et al., 2008)

Segundo (Tardelli, 2015), a troca dos medidores para a micromedição, em caso do incorrecto funcionamento dos mesmos, é de extrema importância para a redução das perdas comerciais.

Há três situações básicas que os macromedidores devem ser trocados:

- Manutenção correctiva: é o caso onde ocorrem problemas no funcionamento do macromedidor e impedem a leitura, como violações e embaçamento;
- Manutenção preventiva: é a troca preventiva depois de um tempo de instalação ou volume medido;



Figura 8- Macromedidor volumétrico. Fonte: Catálogo da JANZ.

Por sua vez, tem sido recorrente o uso de *dataloggers* para o registo de caudais e pressões em pontos das condutas de redes de distribuição.



Figura 9- Datalogger para registo de caudal e pressões. Fonte: Catálogo da i2Owater

Os *dataloggers* i2Owater são baseados na *web*, capazes de enviar dados e receber instruções de controlo (fornece um protocolo de comunicação bidirecional). Esses registradores são precisos, confiáveis e acessíveis e fornecem dados oportunos e valiosos nos quais é possível confiar para a tomada de decisões. Em visão geral resumida:

- O registrador tem capacidade de armazenamento de dados não voláteis de até um ano para que não haja perda de dados devido a interrupções de energia (cenário de bateria descarregada);
- O registrador possui antena interna de alto desempenho;
- Fornece resolução de dados de 1s a 24 horas;

2.7.2. Combate às fraudes e uso não autorizado

Esta deve ser uma acção permanente por parte das empresas que prestam serviços. Quando há percepção de fragilidade neste sentido, há uma tendência para aproveitamento por parte das populações. Sendo assim, (Santos & Montenegro, 2013) considera que devem ser adoptadas políticas para supervisão e controlo deste tipo de situações, através de equipas que efectuem trabalhos de campo.

2.7.3. Melhorias no sistema comercial

De acordo com o pensamento de (Melato, 2010), a gestão comercial de um provedor de serviço de abastecimento compreende vários processos, dentre os quais a eficiente administração e informatização dos dados técnicos necessários para o bom desempenho e qualidade do serviço. Não se exige que sejam os sistemas mais sofisticados, porém devem apresentar-se organizados e com a base de dados constantemente actualizada. (Santos & Montenegro, 2014)

2.7.4. Qualificação da mão-de-obra

Os funcionários que trabalham directamente com a leitura de dados, recolha de informações técnicas e outras operações, devem ser conhecedores dos processos e aspectos técnicos ligados a operação e manutenção. (Santos & Montenegro, 2014)

3. CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDO

Este capítulo tem como foco abordar o caso de estudo. São apresentados os aspectos associados às características do Sistema de Maputo, da Área Operacional (AO) de Chamanculo, sua localização geográfica e de seguida as características da Zona de Medição e Controlo Unidade 7, os dados populacionais e os aspectos que nortearam a delimitação da área de estudo.

3.1. Visão Geral

De acordo com dados do Instituto Nacional de Estatística (INE) de Moçambique, a Cidade de Maputo possui uma área superficial de cerca de 346 km², com uma população estimada de 1.130.318 habitantes e uma densidade populacional de 3.259 hab./km², com um número médio de membros por agregados familiares de 4,6 pessoas.

3.1.1. População e indicadores sociais

De acordo com o Instituto Nacional de Estatística (INE), o Distrito de Nihamakulu tem uma população total projectada de 132.967 habitantes para o ano de 2022, distribuídos por todos os bairros que o compõem, nomeadamente: Aeroporto A, Aeroporto B, Chamanculo A, Chamanculo B, Chamanculo C, Chamanculo D, Malanga, Minkadjuine, Munhuana, Xipamanine e Unidade 7.

Dados populacionais- Distrito de Nihamankulo					
2022		2023		2024	
M	H M	M	HM	M	H M
68 203	132 967	68 338	133 310	68 483	133 671
7 019	14 283	6 962	14 166	6 906	14 052
6 057	12 141	5 966	12 006	5 903	11 919
6 761	13 496	6 675	13 350	6 568	13 165
6 600	13 284	6 554	13 256	6 543	13 286
7 034	14 131	6 791	13 749	6 548	13 354
7 083	14 010	7 035	13 933	6 907	13 730
5 481	10 990	5 650	11 261	5 858	11 597
4 488	8 791	4 526	8 902	4 577	9 031
3 958	7 267	4 008	7 416	4 038	7 546
3 228	5 757	3 329	5 942	3 432	6 131
2 622	4 604	2 664	4 671	2 729	4 783
2 463	4 376	2 475	4 351	2 463	4 294
1 887	3 530	1 983	3 646	2 079	3 756
1 321	2 533	1 395	2 659	1 470	2 777
849	1 528	910	1 652	973	1 784
526	923	558	975	593	1 031
827	1 322	860	1 375	895	1 435

Tabela 2- Dados populacionais para o Distrito de Nihamankulo. Fonte: INE

3.1.1.1. População do Bairro Unidade 7

De acordo com o Censo Populacional de 2017, realizado pelo INE, o Bairro Unidade 7 possuía nesse ano uma população de 7.783 habitantes e a sua projecção para o ano de 2022, apontava para uma população de 9.726 habitantes.

3.2. Sistema de Abastecimento de Maputo

De acordo com o Cadastro Técnico das AdRMM, o Sistema de Abastecimento de Maputo tem uma extensão total de cerca de 3.237,99 km e é constituído por condutas de diferentes materiais, que incluem: ferro galvanizado, asbesto de cimento, aço, Policloreto de Vinilo (PVC) e *High Density Poly Ethylene* (HDPE), com diâmetros que variam entre os 50 e os 400 milímetros.

A principal fonte de captação de água é o sistema de captação de Umbelúzi, localizada cerca de 10km a jusante da barragem dos Pequenos Libombos, cuja capacidade de produção é de cerca de 240.000 m³ /dia. Para além deste sistema de captação, conta também com um sistema de captação de Corrumana, cuja capacidade de produção é de 60.000 m³/dia e o Sistema autónomo de Katembe cuja capacidade é de 760 m³/dia.

A Águas da Região Metropolitana de Maputo (AdRMM) integra sete (7) Áreas Operacionais e uma (1) delegação: Área Operacional de Maxaquene, Chamanculo, Laulane, Machava, Tsalala, Matola Rio, Matola e a Delegação de Boane.

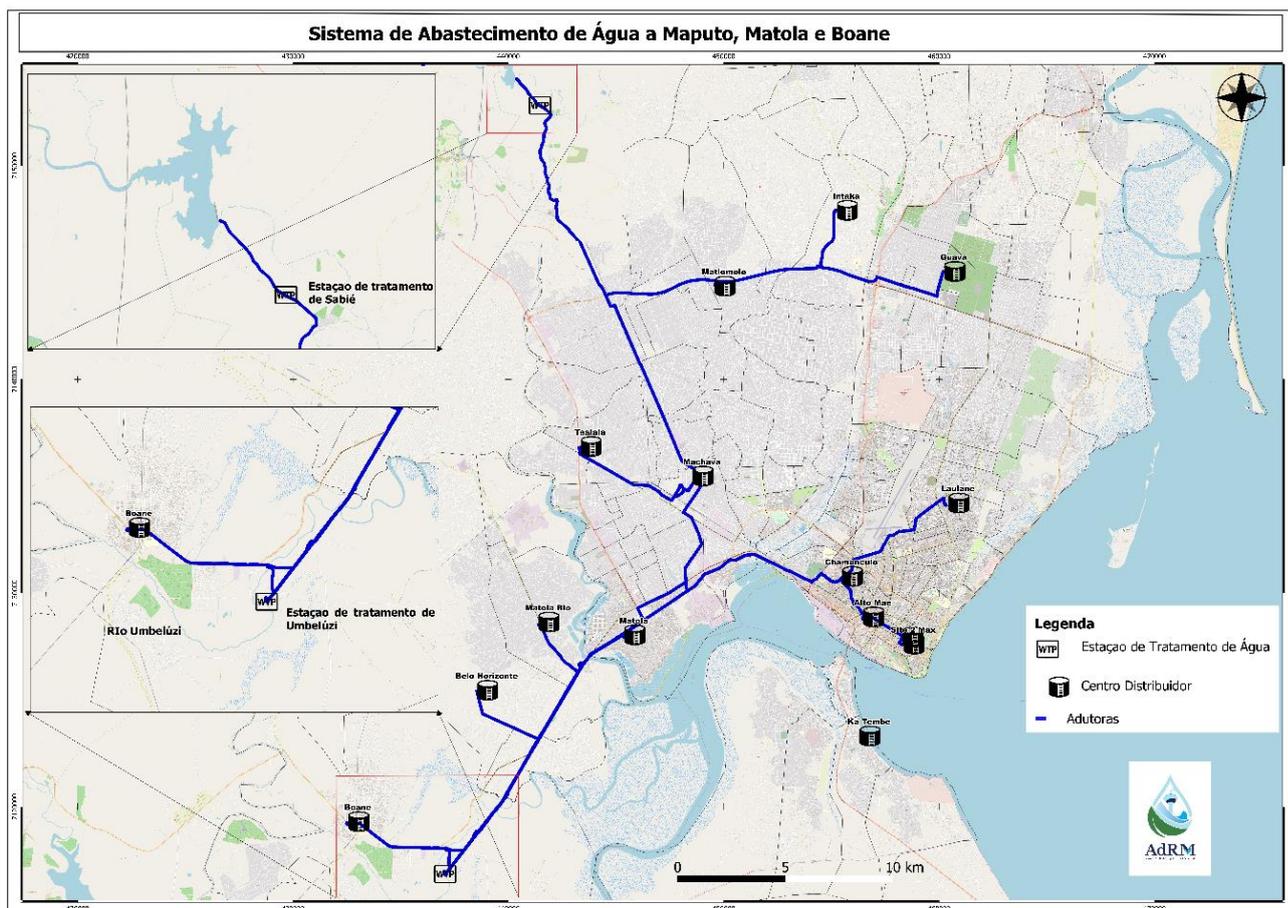


Figura 10- Planta de localização do Sistema de Maputo. Fonte: AdRMM

3.3. Área Operacional de Chamanculo

A Área Operacional de Chamanculo serve uma população de 250.289 habitantes, o que perfaz uma cobertura de 79,57% da população existente em Chamanculo. O tempo médio de distribuição nesta Área Operacional é de 9 horas.

Área Operacional	Bairro	População existente (hab)	População servida (hab)	Cobertura (%)
Chamanculo	Alto Mae A	314,567	250,289	80%
	Alto Mae B			
	Malanga,			
	Luis Cabral			
	Jardim			
	Chamanculo A			
	Chamanculo B			
Chamanculo C				

Área Operacional	Bairro	População existente (hab)	População servida (hab)	Cobertura (%)
	Minkadjuine			
	Munhuana			
	Xipamanine			
	Aeroporto A			
	Aeroporto B			
	Unidade 7			
	Nsalene			
	Inhagoia A			
	Inhagoia B			
	25 de Junho A			
	25 de Junho B			
	Geroge Dimitrov			
	Bagamoyo			

Tabela 3- Áreas servidas na Área Operacional de Chamanculo. Fonte: Cadastro Técnico AdRMM.

A Área Operacional de Chamanculo é composta por seis (6) ZMCs, nomeadamente: Unidade 7, Inhagoia A, Inhagoia B, Nsalene, 25 de Junho e Aeroporto B. Dados fornecidos pelas AdRMM, datados de 2023, constam na tabela abaixo:

ZMC	Válvulas de isolamento	Macromedidores	Ligações Activas	Comp. da rede (km)	Categoria da ZMC
Inhagoia A&B	7	2	4 249	26,631	Média
25 de Junho	5	1	1279	20,738	Média
Unidade 7	5	3	1 319	3,488	Média
Aeroporto B	4	1	1 573	4,337	Média
Total	21	7	5 411	55,2	---

Tabela 4- Tabela 2- Resumo das características da ZMCs consolidadas de Chamanculo. Fonte: AdRMM

3.4. Zona de Medição e Controlo Unidade 7

A Zona de Medição e Controlo Unidade 7 tem como pontos de entrada de água 3 macromedidores do tipo *dataloggers* dos fabricantes *Sensus* e *ELSTER*, capacitados

para efectuar leituras de dados como caudal e pressão num intervalo de tempo de 15 minutos. Estes dispositivos estão associados a uma plataforma que armazena os dados em núvem.

De acordo com dados de 2023 fornecidos pelas AdRMM, a ZMC Unidade 7 apresenta uma extensão de rede de 3,49 km e um número total de 1.319 instalações. Ainda em termos de características, esta ZMC apresenta uma área superficial de 423.104,3 m² e um perímetro de aproximadamente 2.700 m.

A evolução das perdas de água na Zona de Medição e Controlo Unidade 7 tem sido monitoradas e estimadas pelos técnicos das AdRMM desde que foi implementado o projecto de sectorização (criação da ZMC) em 2019, pela *Water and Sanitation for the Urban Poor* (WSUP). Desde então, tem se registado a seguinte variação do índice de perdas nesta ZMC, como ilustra a *Tabela 7*.

Histórico de Perdas				
ZMC	Indicadores	2019	2020	2021
UNIDADE 7	Vol. Distribuído [m3]	111469	111469	151,247
	Vol. Facturado [m3]	98435	102544	135,717
	Perdas [%]	12%	8%	10%

Tabela 5- Histórico de Perdas. Fonte: AdRMM.

Para visualização mais detalhada, sobre a localização do Bairro/Zona de Medição e Controlo Unidade 7, vide o *Anexo 7.1*.

3.4.1. Justificativa da escolha da área de estudo

O critério de escolha usado para da delimitação da área de estudo é o facto desta Zona de Medição e Controlo Unidade 7 estar completamente discretizada e fechada, como mostram os dados que se seguem.

Ora, o relatório final da *Water and Sanitation for the Urban Poor* (WSUP), de 2020, retrata um estudo de avaliação e reporta informações sobre as Zonas de Medição e Controlo da Área Operacional de Chamanculo. Este documento conclui o seguinte:

- i. Três (3) ZMCs (Unidade 7, 25 de Junho e Aeroporto) estão completamente discretizadas e prontas para entrar em funcionamento;
- ii. Três (3) ZMCs (Inhagoia A, Inhagoia B e Nsalene) não estão completamente discretizadas;

- iii. O Inhagoia A e B podem, no entanto, ser combinadas para formar uma grande zona de medição e controlo;
- iv. Nsalene tem pontos de ligação antigos e desconhecidos, que têm de ser identificados e desligados.



Gráfico 1- - Estado operacional das ZMCs de Chamanculo. Fonte: Adaptado de Relatório WSUP (REF 215/WSUP/2020)

O mesmo relatório conclui que a ZMC Unidade 7 apresenta as seguintes características:

- i. Tem um tamanho adequado e com as fronteiras físicas bem definidas;
- ii. Possui pontos de entrada adequados;
- iii. Todos os pontos de entrada possuem equipamentos de medição adequados para atender ao objectivo principal, que é o de medir os caudais de entrada na ZMC;
- iv. A ZMC possui limites que são delimitados por condutas adjacentes, tornando-a discreta e pronta para entrar em funcionamento;
- v. A ZMC passou ao Teste Zero de Pressão;

3.4.1.1. Teste Zero de Pressão - Zero Pressure Test (ZPT)

O Teste Zero de Pressão foi realizado para a ZMC Unidade 7 através da instalação de manómetros em 4 pontos de medição: dois (2) pontos interiores e outros dois (2) pontos exteriores. Entende-se por pontos interiores aqueles que se situam no interior de residências dos clientes; e pontos exteriores como aqueles que se localizam fora das residências (isto é, na própria rede de distribuição).

Perfil das Pressões de Serviço

Uma das partes consistiu em realizar o teste das pressões de serviço, admitindo caudal de entrada para todo o sistema no dia 25/11/2020 às 03:20.

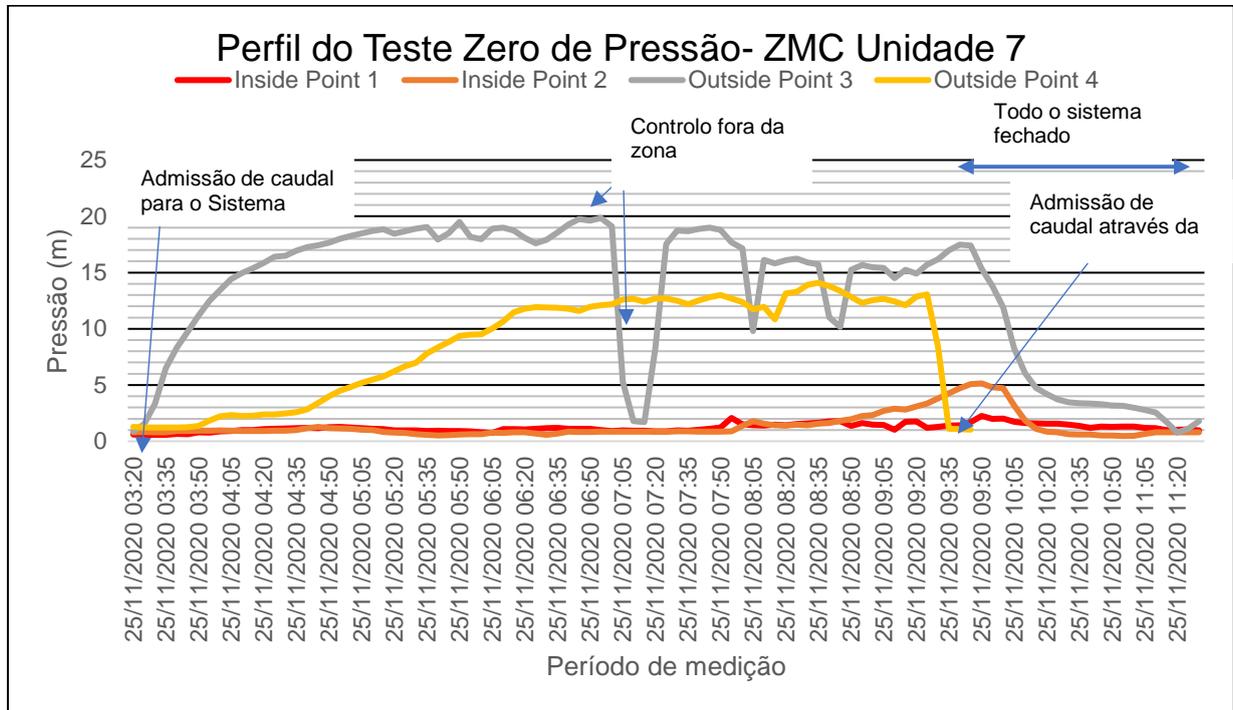


Gráfico 2- Perfil do Teste Zero de Pressão- ZMC Unidade 7. Fonte: WSUP (REF 215/WSUP/2020)

O perfil das pressões desde o início da monitorização encontra-se no gráfico 3 abaixo.

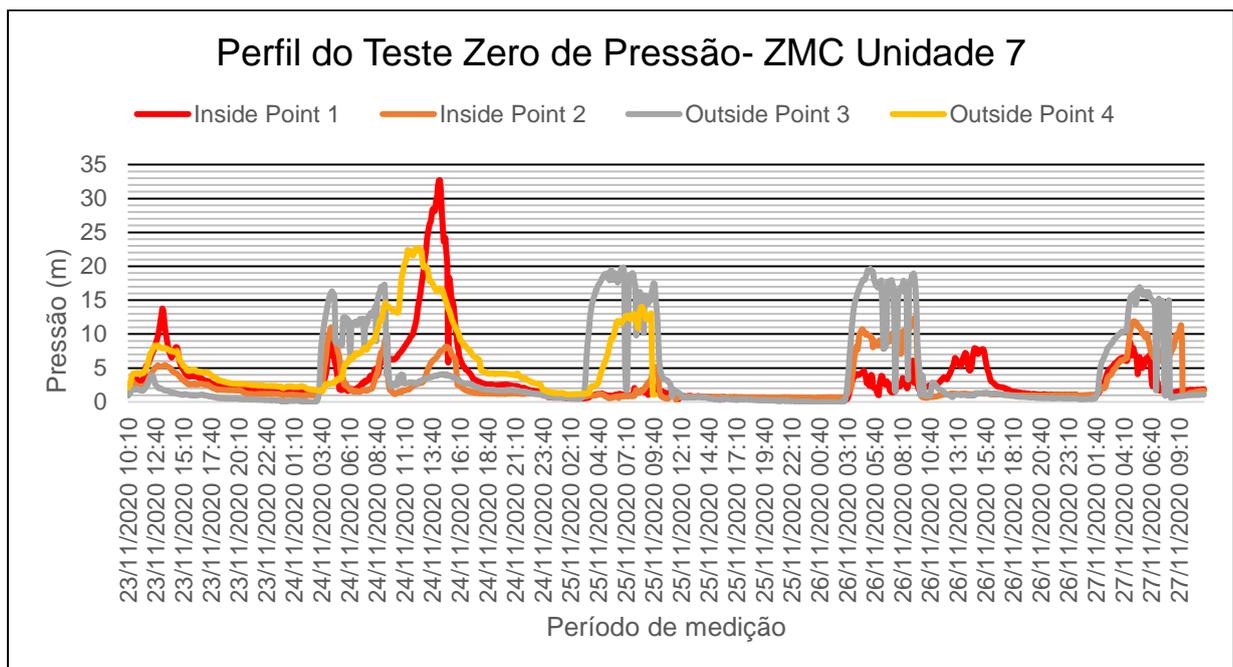


Gráfico 3- Perfil do Teste Zero de Pressão- ZMC Unidade 7. Fonte: WSUP (REF215/WSUP/2020)

3.5. Visita de Campo

De acordo com a visita que ocorreu no dia 05 de Julho de 2024, começou-se por fazer o reconhecimento da Zona de Medição de Controlo da Unidade 7, tendo como objectivo o levantamento das coordenadas geográficas de alguns pontos, leituras nos macromedidores e inspecção nos vários pontos da rede, assim como registos fotográficos.

Algumas situações encontradas durante a visita de campo:

- As válvulas de seccionamento para isolamento da ZMC encontram-se na maior parte das vezes soterradas, não tendo sido possível fazer fotografias nem inspecções, mas sim fazer o levantamento das coordenadas geográficas;
- Em alguns pontos das válvulas ventosas foi encontrado lixo que entrou através dos respiradouros;
- Verificou-se vários pontos de fugas visivelmente detectáveis, ou seja, pontos em que se observou a água a ascender para a superfície do solo;
- Em alguns pontos das caixas de contadores foram encontrados resíduos sólidos (lixo);
- Registou-se também um *datalogger* encontrado fora do local e inoperacional. Importa ressaltar que este incidente não é visto como limitante para os dados, pois este estudo tem como análise o período temporal de 2022.

UNIDADE 7	Nome	DN	Marca	Nº Macromedidor	Coord . X	Coord. Y	Leitura (m ³)
Macromedidor 1	Av.Moçambique (EN1)	63	Sensus	---	455235	7131773	155.125
Macromedidor 2	Ponte Vulcano- R. Gago Coutinho	160	ELSTER	712212	455993	7131571	273.890
Macromedidor 3	Nagi- R. Gago Coutinho	200	ELSTER	729464	455643	7131456	140.469
Válvula 1	---	---	---	---	455338	7131904	---
Válvula 2	---	---	---	---	455438	7132026	---
Válvula 3	---	---	---	---	455210	7131738	---
Válvula 4	---	---	---	---	455047	7131540	---

Tabela 6- Informações geográficas e técnicas sobre os macromedidores da ZMC Unidade 7.
Fonte: O autor.

Abaixo encontra-se as imagens dos macromedidores assim como a tabela das coordenadas geográfica e dos macromedidores.



Figura 11- Fotografias da visita de campo.

Da esquerda para a direita: (i) lixo encontrado em macromedidor; (ii) lixo em macromedidor; (iii) *datalogger* para registo de caudal e pressão encontrado fora de funcionamento.

3.6. Recolha de dados para a Modelação Hidráulica e Balanço Hídrico

Para a construção do modelo hidráulico da Zona de Medição e Controlo Unidade 7 foram recolhidas e analisadas informações técnicas do cadastro do sistema contidas na base de dados da gestão técnica e comercial das AdRMM, nomeadamente dados contidos em *Geographic Information System* (GIS) para características técnicas e hidráulicas da rede. Relativamente aos dados de comerciais e de facturação, estes foram obtidos através de planilhas Excel®.

Os dados em *Geographic Information System* (GIS) continham informações relativas ao traçado da própria rede de distribuição, assim como o material, diâmetro, comprimento das condutas e coordenadas geográficas dos nós.

A localização dos clientes e sua alocação aos nós de demanda foi também possível através de um *shapefile* (.shp), onde era possível localizar com exactidão os clientes para posterior alocação aos nós de demanda. Vide Anexo 7.2.

Através da base de dados em planilhas Excel fornecidas pelas AdRMM, foi possível obter os volumes mensais facturados para a ZMC em estudo. Com base nos volumes facturados de cada mês, fez-se a soma e obteve-se um volume anual facturado (para o ano de 2022) e transformou-se num caudal médio representativo, que resultou num caudal na ordem dos $Q_{2022} = 11,48 \text{ l/s}$ (o cálculo deste valor é mostrado mais adiante). Vide Anexo 1.

Este caudal é justamente o caudal que foi repartido pelas demandas-base nos nós, de acordo com os polígonos traçados e o número de clientes associados a cada polígono e conseqüentemente a cada nó. Este processo é descrito no subcapítulo, mais adiante, que aborda o cálculo e alocação das demandas nodais.

Os volumes distribuídos (volumes que entram para a ZMC) foram calculados através da medição por *dataloggers* instalados nos três (3) pontos. Estes equipamentos fazem medições instantâneas num intervalo de tempo de 15 minutos.

3.7. Medições de campo

Para a realização das medições de campo, posteriormente usadas como ferramenta para a calibração do modelo hidráulico para a detecção de fugas, foram definidos inicialmente cinco (5) pontos de medição de pressão e três (3) pontos para medição de caudais.

A medições de caudais e pressões foram feitas durante o ano de 2022, uma vez que existem *dataloggers* que medem o caudal e pressão e armazenam a informação no próprio dispositivo (através duma memória volátil) ou carregam para uma página *web* que pode ser acedida através de um portal na *Internet*, ou ainda podem ser descarregadas via cabo para um computador portátil.

A localização dos pontos é possível através das coordenadas apresentadas na tabela que se segue.

Pontos de medição na Zona de Medição e Controlo Unidade 7			
Ponto	Pressão	Caudal	Coordenadas
EN1	X	X	25°55'55.11"S 32°33'10.64"E
Nagi	X	X	25°56'01.76"S 32°33'37.87"E
Vulcano	X	X	25°56'05.46"S 32°33'25.27"E
Ponto 1	X		25°56'1.37"S 32°33'37.18"E
Ponto 2	X		25°55'59.30"S 32°33'21.28"E

Tabela 7- Pontos de medição e suas coordenadas geográficas.

4. CAPÍTULO IV. PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO

4.1. Balanço Hídrico

Para a aplicação da matriz do Balanço Hídrico fez-se o uso do *software AWWA Free Audit Software v6.0* através do procedimento descrito abaixo:

1. Os dados foram introduzidos pelo usuário. Dados estes relativos ao consumo facturado medido em cada mês, cuja soma resulta no consumo facturado para o ano de 2022 (Q_{2022}), comprimento da rede, o comprimento médio dos ramais de ligação doméstica, a pressão média e também volume de água de entrada no sistema, para o ano de 2022;
2. De seguida prosseguiu-se com o preenchimento de uma folha interactiva denominada “*Interactive Data Grading*”, com o intuito do próprio *software* determinar a validade dos dados introduzidos. Isto implica que, respondido com sucesso o questionário, o programa possa atribuir um nível validade de dados (denominado *data validity tier*). Para o presente caso, face às questões respondidas, o programa atribuiu uma validade de dados de **60%**. Em termos de faixa, o *software* considera que os dados usados para o cálculo são de “*qualidade razoável, mas que carecem melhorias*”.

Algumas acções são recomendadas no *Capítulo VI*, por forma a melhorar o nível de validade dos dados.

Os resultados relativos ao cálculo do Balanço Hídrico usando a planilha da *AWWA* encontram-se no *Capítulo V- Quadro 2*. Ademais, pode-se consultar aos *Anexos 8.5 e 8.6* onde se encontram disponíveis as folhas de início e introdução dos dados para o Cálculo do Balanço Hídrico usando esta ferramenta.

4.2. Modelação Hidráulica

Nesta secção é feita a descrição do processo de modelação hidráulica da Zona de Medição e Controlo Unidade 7. Vide o *Anexo 8* para verificação dos *layouts* das redes de distribuição.

4.2.1. Simulação Hidráulica Inicial- EPANET 2.2

Foi usado o EPANET 2.2 para modelação da rede e simulação inicial. A tabela abaixo apresenta o resumo dos elementos que compõem o modelo hidráulico da rede. Note-se que foram usados Reservatórios de Nível Fixo (RNF) como simplificação para a modelação hidráulica dos pontos de entrada da Zona de Medição e Controlo, onde, a carga hidráulica representa as pressões, que por sua vez sofrem o afectação pelo padrão de consumo, de acordo com o **gráfico 4**.

Elementos	Valor
Nós	74 unidades
Reservatórios de Nível Fixo	3 unidades
Tubos/conduatas	77 unidades
Caudal	LPS (Litros por segundo)
Fórmula/equação de Perda de Carga	Hazen-Williams

Tabela 8- Elementos constituintes do Modelo Hidráulico da rede de distribuição da ZMC Unidade 7. Fonte: EPANET 2.0- Simulação inicial

4.2.1.1. Dados de entrada

i. Características do modelo

Através da informação em *Geographic Information System* (GIS), foi possível colocar todos os dados da rede de distribuição, tais como: diâmetros, material da tubagem, cotas dos nós, pontos de entrada e limites da Zona de Medição e Controlo. De seguida fez-se a conversão do ficheiro para o formato *.dxf* e com o auxílio do *EPACAD* foi convertido para o formato *.inp*, que é um formato reconhecido pelo EPANET. E assim fez-se a importação do modelo para o EPANET 2.2.

ii. Cálculo da Demanda de Base nos Nós

Os dados comerciais, ou seja, volumes facturados para o ano de 2022 foram fornecidos pelas AdRMM para a ZMC Unidade 7 e podem ser consultadas no **Anexo 1**. Os dados fornecem os volumes de água facturados por mês, para o ano de 2022. Foi calculado o Volume facturado anual para 2022 através da equação que se segue e com base dos dados do mesmo **Anexo 1**, e de seguida calculado o caudal médio anual para 2022 de acordo com a equação para o cálculo do Q_{2022} .

$$Volume\ Facturado_{2022} = \sum_{i=1}^{12} VFM_i$$

Onde:

$Volume\ Facturado_{2022}$ - volume facturado em 2022, para a área em estudo [m^3];

VFM_i - volume facturado no mês i , para a área em estudo [m^3].

$$Q_{2022} = \frac{Volume\ Facturado_{2022} \times 1000}{365 \times 9 \times 3600}$$

Onde:

Q_{2022} - caudal médio para o ano de 2022, para a área em estudo [l/s];

Assim, temos:

$$Volume\ Facturado_{2022} = 135.717,00\ m^3$$

E também:

$$Q_{2022} = 11,48\ l/s$$

O caudal Q_{2022} refere-se ao caudal total facturado em toda a Zona de Medição e Controlo Unidade 7. É necessário, portanto, alocá-lo para os nós de consumo da rede.

Com base no cadastro comercial e na localização exacta dos clientes na rede, conforme descrito no procedimento abaixo, procede-se à construção de polígonos e alocação dos consumos dos clientes constantes de um mesmo polígono a um determinado nó de demanda.

- i. Com base no Método dos Polígonos de Thiessen, traçou-se (com auxílio do software *Quantum GIS 3.34.8*) polígonos associados a cada nó de demanda. Cada polígono determina uma área de influência para cada nó de demanda;
- ii. Para cada polígono é possível contabilizar os clientes que geograficamente estão contidos neste. Procede-se então à determinação de coeficientes de ponderação para cada nós de demanda, conforme equações abaixo;

$$C_i = \frac{Clientes_i}{Clientes_{Total}}$$

Onde:

C_i - coeficiente de ponderação associado do nó i [-];

$Clientes_i$ - número de clientes associados ao nó i [un.];

$Clientes_{Total}$ - número total de clientes [un.];

- iii. Com os coeficientes ponderados para cada nó de demanda, é possível determinar a Demanda-Base para o nó.

$$Q_{nó} = C_i \times Q_{2022}$$

Onde:

$Q_{nó}$ - demanda-base para o nó [l/s];

C_i - coeficiente de ponderação associado do nó i [-];

Q_{2022} - caudal médio para o ano de 2022, para a área em estudo [l/s];

Os cálculos relativos ao número de clientes associados a um dado nó, assim como a demanda-base em cada nó, podem ser consultados no *Anexo 2*. Também se pode consultar o *Anexo 7.2* para verificar os polígonos e a localização dos clientes para posterior associação a um certo nó de demanda.

Por último, o modelo hidráulico foi simulado inicialmente para a condição estática. Os resultados da simulação inicial podem ser consultados nos *Anexos 3 e 4*.

Atendendo às limitações que o EPANET 2.2 possui, concretamente a não calibração automática de modelos hidráulicos (a não ser que seja acoplados *toolkits* à base de Algoritmos Genéticos ou Iterativos). Posto isto, por haver necessidade de calibrar o modelo hidráulico para que o mesmo represente a realidade, recorreu-se ao *software* WaterGEMS da Bentley Systems para desenvolvimento das fases subsequentes da modelação- calibração o modelo e identificação de fugas. O *software* WaterGEMS tem incorporado um Algoritmo Genético simples para a calibração automática do modelo, através do módulo *Darwin Calibrator- Leakage Detection*.

4.2.2. Simulação Hidráulica- WaterGEMS

O WaterGEMS permite a importação directa de modelos hidráulicos a partir do EPANET. Para tal, exporta-se o modelo do EPANET em formato *.inp (input file)* e em seguida se pode abrir o mesmo ficheiro no WaterGEMS.

Após ser importado o modelo para o WaterGEMS, foram calculados, através do *Microsoft Excel*, os padrões de consumo para as diferentes horas do dia. Estes foram calculados através da razão entre a média dos caudais horários de entrada na ZMC

(soma dos 3 macromedidores) pelo caudal médio distribuído para 2022, $Q_{dist_{2022}} = 12,57 \text{ l/s}$. Ver equação que se segue, sendo que é uma equação dimensionalmente homogênea.

$$P_i = \frac{\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}}{Q_{2022}}$$

Onde:

P_i - padrão de consumo ou multiplicador de demanda para o $Nó_i$;

$Q_{1,2,3}$ - Caudais de entrada nos três (3) macromedidores: EN1, Nagi e Vulcano;

$Q_{dist_{2022}}$ - caudal médio distribuído para o ano de 2022, para a área em estudo [$12,57 \text{ l/s}$];

Este caudal médio distribuído para o ano de 2022, $Q_{dist_{2022}}$, foi calculado com base nas leituras dos *dataloggers* nos três (3) pontos de entrada da Zona de Medição e Controlo Unidade 7.

Os coeficientes do padrão de consumo são demonstrados abaixo em forma de gráfico assim como a sua introdução no WaterGEMS.

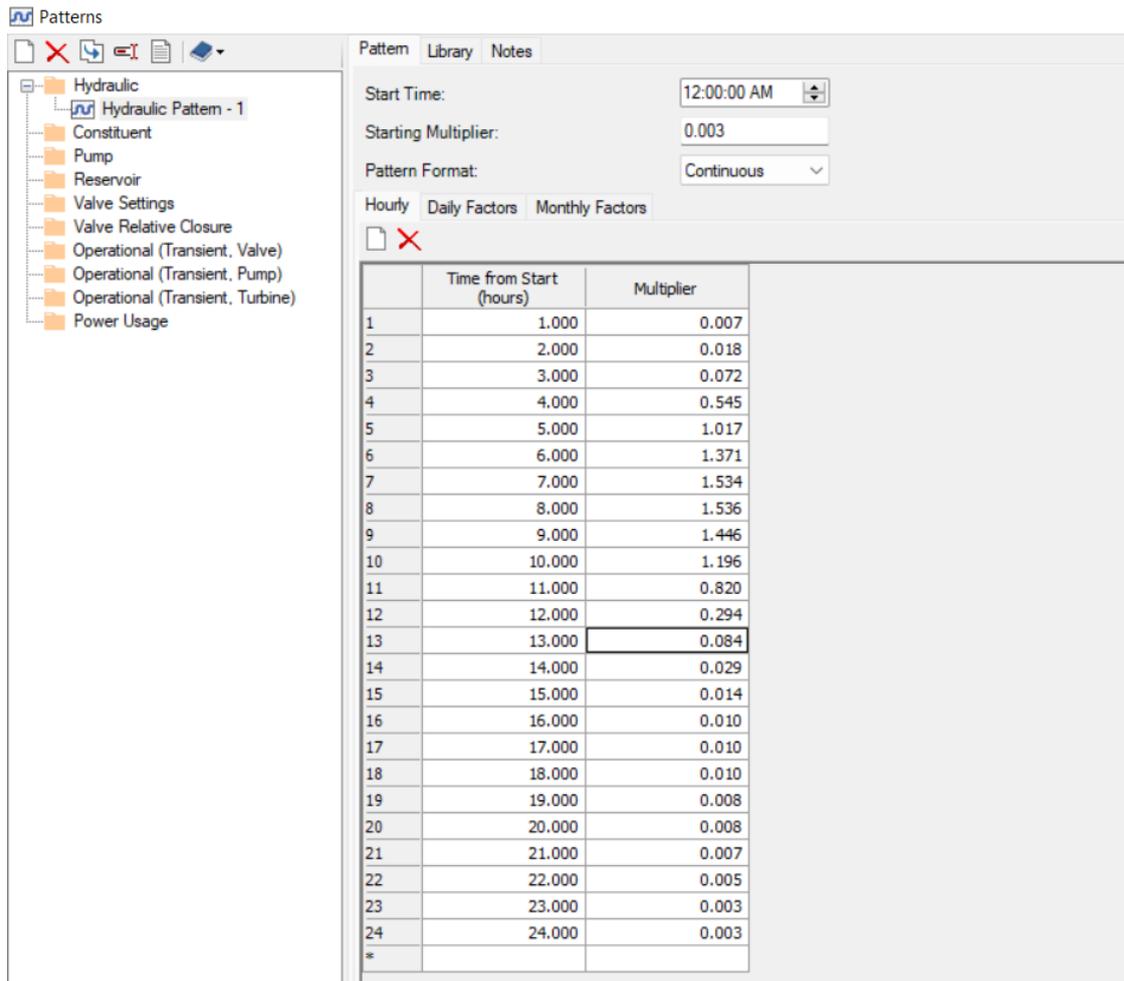


Figura 12- Introdução dos coeficientes do padrão de consumo diário no WaterGEMS.

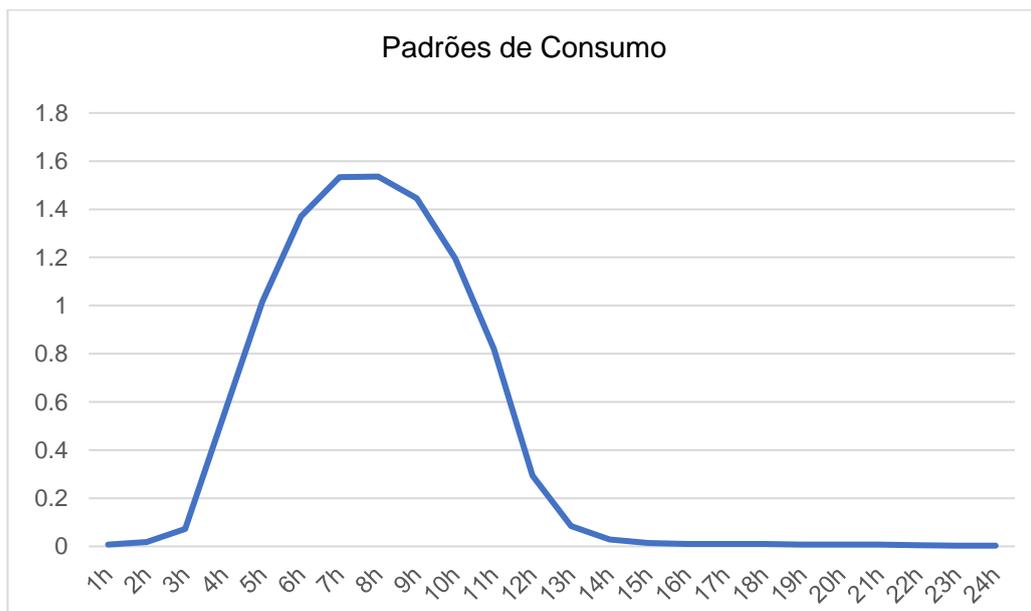


Gráfico 4- Variação horária do consumo. Fonte: Microsoft Excel

O gráfico acima mostra o sistema intermitente de abastecimento para a ZMC Unidade 7, que segundo as instituições competentes, apresenta um tempo médio de distribuição de 9 horas por dia (este facto confirma-se através do *Gráfico 4*).

4.2.2.1. Calibração do Modelo Hidráulico

A calibração é feita pelo WaterGEMS através do módulo acoplado denominado *Darwin Calibrator* que permitiu ajustar as incertezas do modelo de forma automática e em menos tempo (através da opção de “*Optimized Run*”). O *Darwin Calibrator* faz uso de um Algoritmo Genético simples, este que por sua vez faz a geração aleatória de uma população inicial de soluções, onde durante o processo de optimização a população é avaliada pela função objectivo e cada solução recebe um valor denominado aptidão (*fitness*), que mede o grau de qualidade da solução, onde quanto mais próximo de zero (0) for o *fitness*, melhor é a solução.

Para efectuar a calibração realizou-se medições através dos *dataloggers*, a partir dos quais foi possível obter os dados de caudal e pressão relativos a todo o ano de 2022. Os dados de pressão foram medidos em cinco (5) pontos da rede e dados de caudais em três (3) pontos. Introduzidos estes dados foi possível calibrar o modelo.

4.2.3. Processamento das pressões observadas

A medição dos dados de pressões foi feita com base em *dataloggers*, em cinco (5) pontos, como mencionado anteriormente. Estes dados foram registados de forma instantânea para um intervalo de tempo de quinze (15) minutos. Com base nesses dados, para o ano de 2022, foram calculadas as pressões médias para uma dada hora do dia (0h, 1h, 2h e assim sucessivamente) e para cada um dos cinco (5) pontos de medição de pressões.

Para efeitos de introdução dos dados de calibração no WaterGEMS, somou-se à cota do eixo da conduta para que se obtivesse a cota piezométrica ou carga hidráulica (*Hydraulic Grade Line- HGL*) do nó em questão.

$$\overline{P}_{h_j} = \frac{\sum P_h}{n}$$

Onde:

\overline{P}_{h_j} - pressão média para a hora “*h*” e no ponto de medição “*j*” [m.c.a];

$\sum P_h$ - soma dos valores instantâneos da pressão para 2022 e para o ponto de medição “j” [m.c.a];

n - número de valores de pressão disponíveis para esse ponto de medição e para 2022 [un.].

$$HGL = \overline{P_{h_j}} + CT$$

Onde:

HGL- *Hydraulic Grade Line* (Cota ou linha piezométrica) [m.c.a];

$\overline{P_{h_j}}$ - pressão média para a hora “h” e no ponto de medição “j” [m.c.a];

CT- cota da tubagem [m].

Assim, obteve-se os resultados que constam do Anexo 5, para os cinco (5) pontos de medição de pressões na rede.

4.2.4. Processamento dos caudais observados

De forma semelhante ao processamento dos dados das pressões observadas, a medição dos dados de caudais foi feita com base em *dataloggers* em três (3) pontos, como mencionado. Estes dados foram registados de forma instantânea para um intervalo de tempo de quinze (15) minutos. Com base nesses dados, para o ano de 2022, foram calculados os caudais médios para uma dada hora do dia (0h, 1h, 2h, e assim sucessivamente) e para cada um dos três (3) pontos de medição de caudais.

Assim, obteve-se os resultados que constam do Anexo 6, para os três (3) pontos de medição de caudais na rede.

4.2.5. Critérios adoptados para a Calibração Hidráulica

O processo de calibração hidráulica foi subdividida em 4 intervalos temporais para a detecção das fugas. Estes intervalos são: (i) entre 0h-3h; (ii) entre 13h-15h; (iii) entre 16h-19h e (iv) entre 20h-23h.

Os intervalos temporais foram escolhidos tendo em conta dois critérios:

- a. Foi coberto todo o tempo diário (24 horas), excepto o período de abastecimento- isto deve-se ao facto de que as fugas são mais fáceis de ser detectadas no período de baixo consumo (por exemplo, no período nocturno);

- b. Escolheu-se, aleatoriamente, um espaço temporal de aproximadamente 3h para avaliar a variação do número de nós com fugas e seus valores de *fitness* (coeficiente de aptidão).

No geral foram executadas várias simulações até que se chegasse à solução com maior qualidade e com dados que retratassem a realidade. A solução com maior qualidade apresentou um coeficiente de aptidão (*fitness*) de 0,219 correspondente ao período de análise i(v) entre 20h-23h.

4.2.5.1. Resultados da Calibração Hidráulica- Pressões

A Figuras 13 a 16 apresentam os dados de pressão nos quatro (4) pontos de medição após o processo de calibração, onde é possível notar a aproximação entre os dados observados e os dados simulados. Embora existam pequenas diferenças entre os valores, considera-se o modelo calibrado tendo em conta que a margem de diferença é mínima e encontra se dentro do limite aceitável definido nos critérios de validação estabelecidos na secção 2.4.

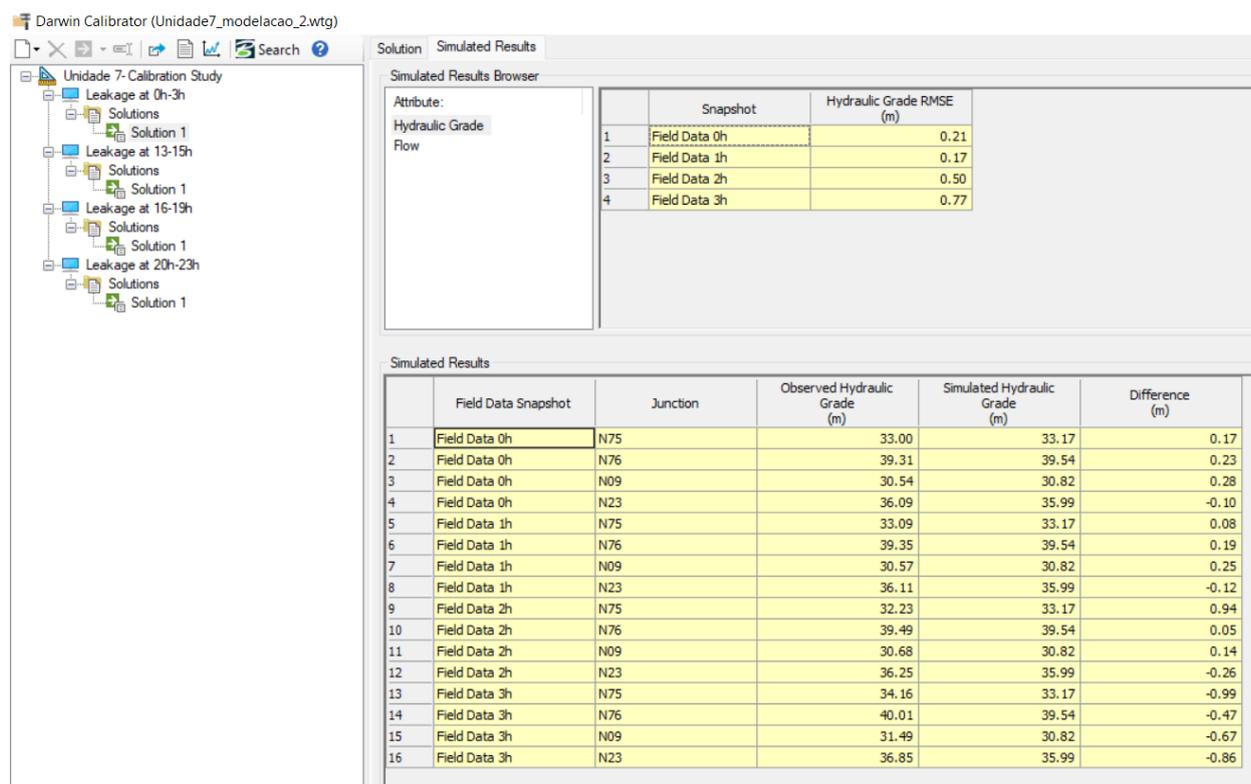


Figura 13- Resultados das pressões- Calibração para o período 0-3h.

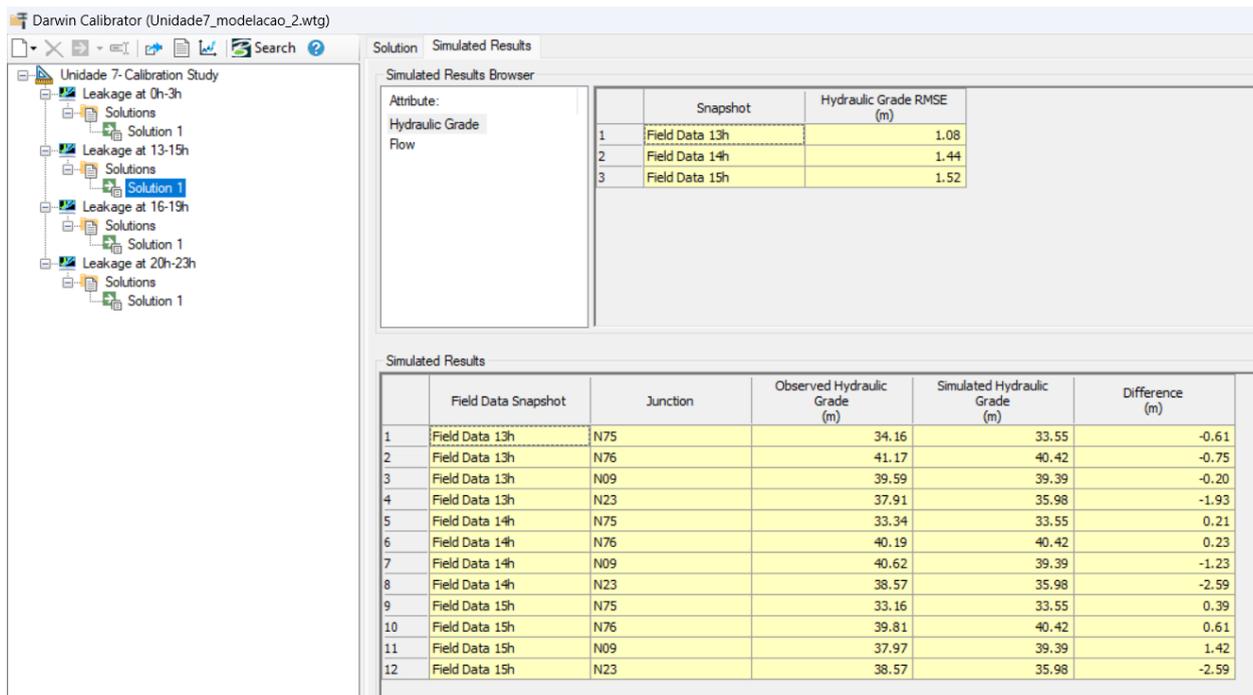


Figura 14- Resultados das pressões- Calibração para o período 13-15h.

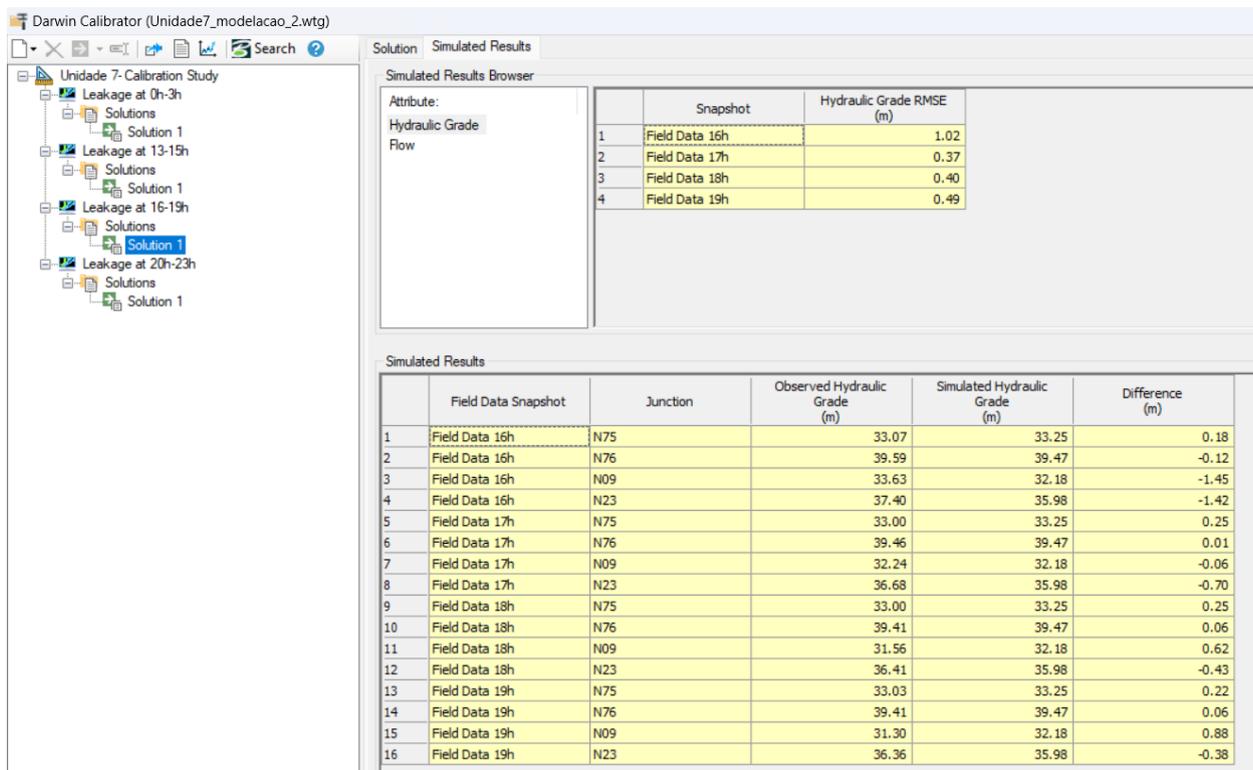


Figura 15- Resultados das pressões- Calibração para o período das 16-19h

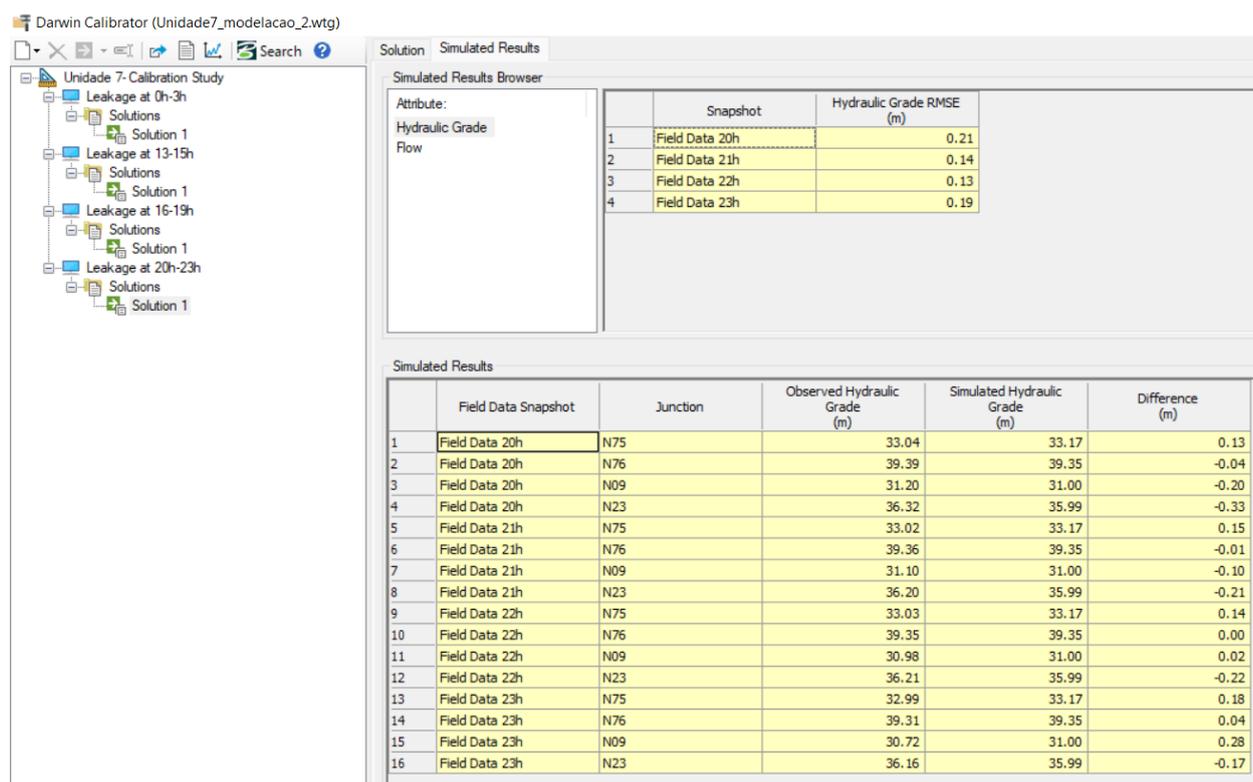


Figura 16- Resultados das pressões- Calibração para o período 20-23h.

4.2.5.2. Resultados da Calibração Hidráulica- Caudais

À semelhança das pressões, seguem-se os valores dos caudais, que foram medidos em dois (2) pontos da rede. Neste caso, igualmente, é possível notar a aproximação entre os dados observados e simulados. Considera-se o modelo calibrado embora existam algumas diferenças. Esta margem de diferença é aceitável tendo em conta os critérios de validação apresentados na secção 2.4.

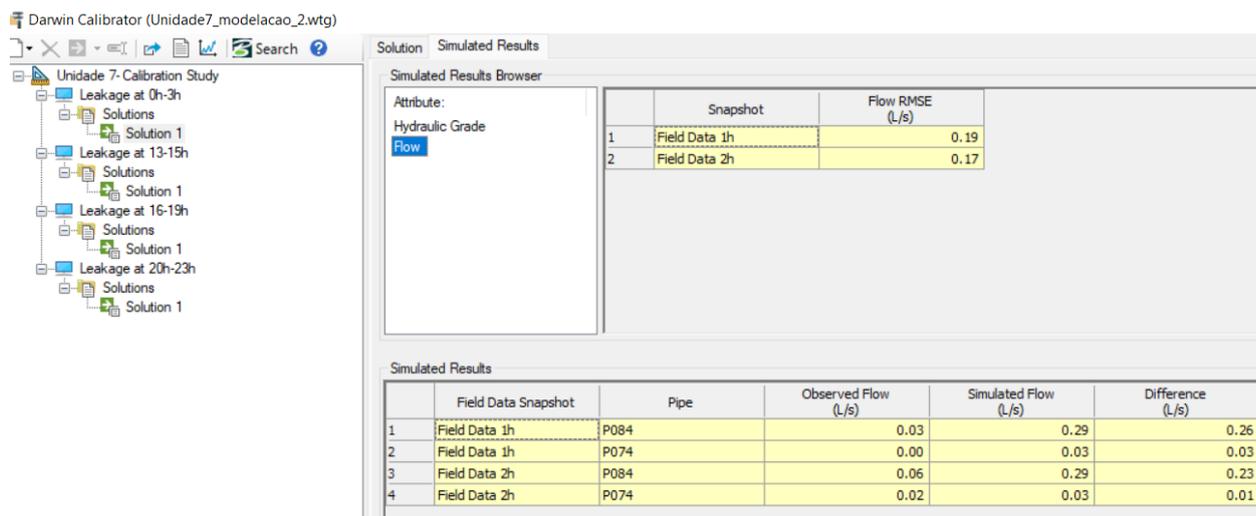


Figura 16- Resultados dos caudais- Calibração para o período 0-3h.

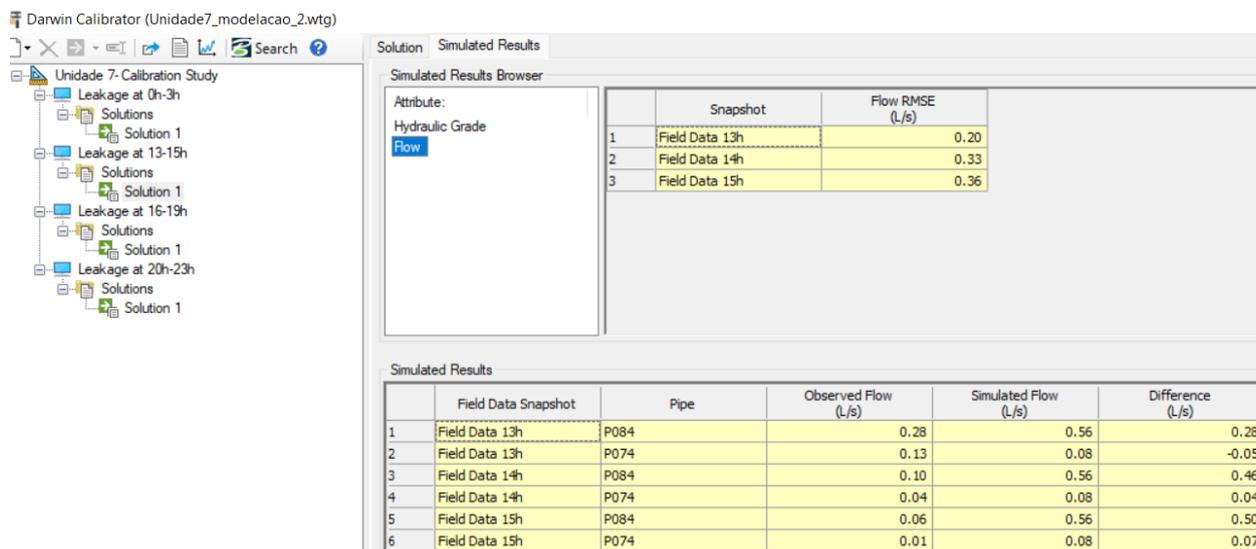


Figura 17- Resultados dos caudais- Calibração para o período 13-15h.

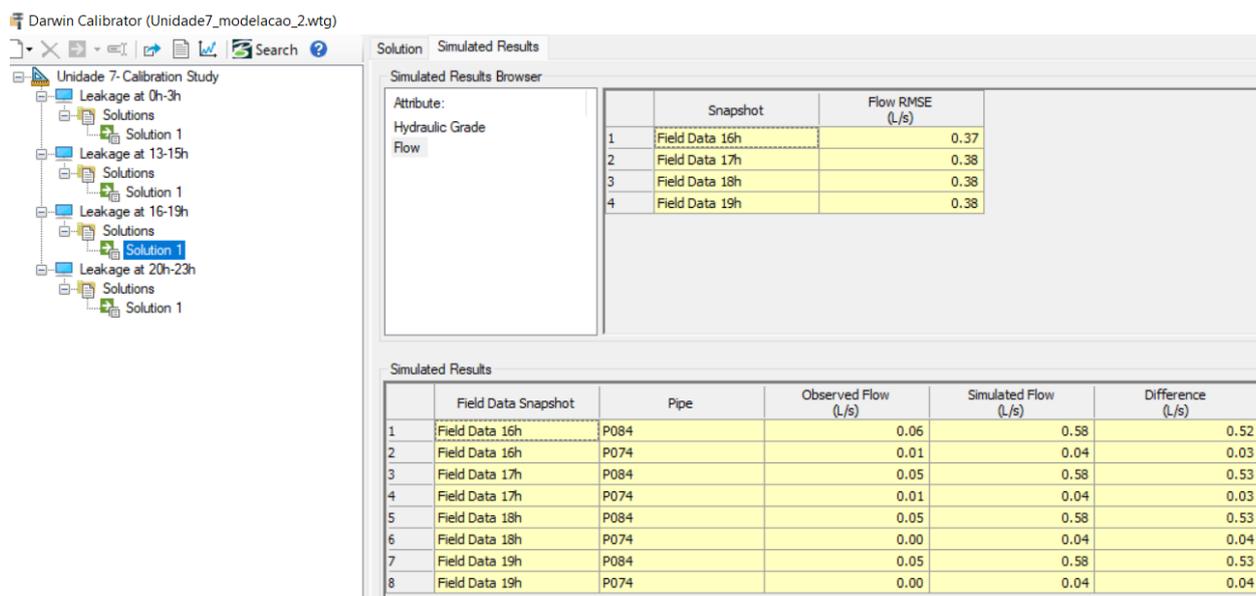


Figura 18- Resultados dos caudais- Calibração para o período 16-19h.

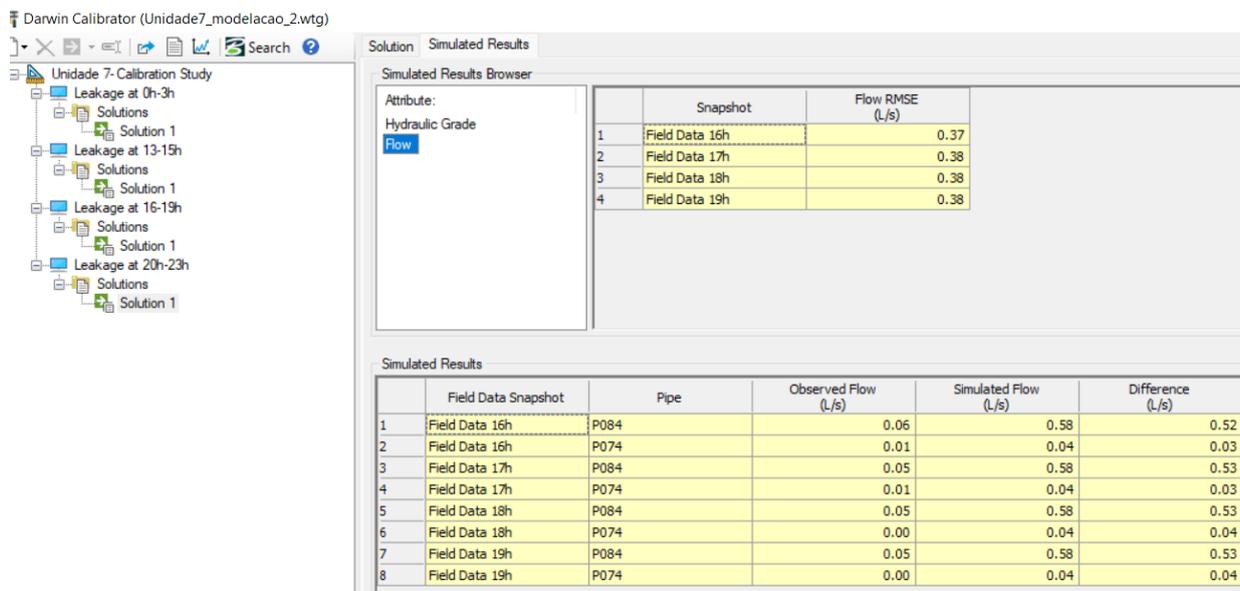


Figura 19- Resultados dos caudais- Calibração para o período 20-23h.

4.2.6. Validação do modelo hidráulico

Mesmo após a calibração hidráulica do modelo, é inevitável que exista diferença entre os dados modelados e observados em campo. Por isso, não existe um ponto consensual sobre o momento em que se deve parar de fazer a calibração do modelo hidráulico. O que se deve procurar é que a diferença entre os dados observados e simulados seja a mínima possível.

De modo a proceder com a validação do modelado hidráulico em questão, faz-se a comparação das diferenças entre os valores observados e simulados, com as diferenças aceitáveis propostas por (Coelho et al., 2006) e apresentadas no secção 2.4.

Para complementar a informação, observe-se abaixo os gráficos dos valores observados e simulados, associados a uma recta de correlação entre os valores.

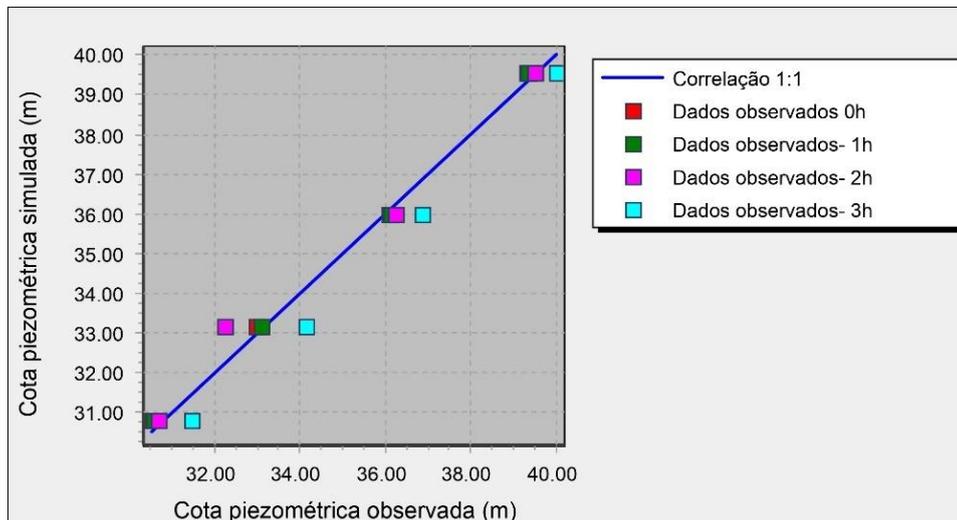


Gráfico 5- Correlação entre a pressão medida e simulada, para o período 0-3h.

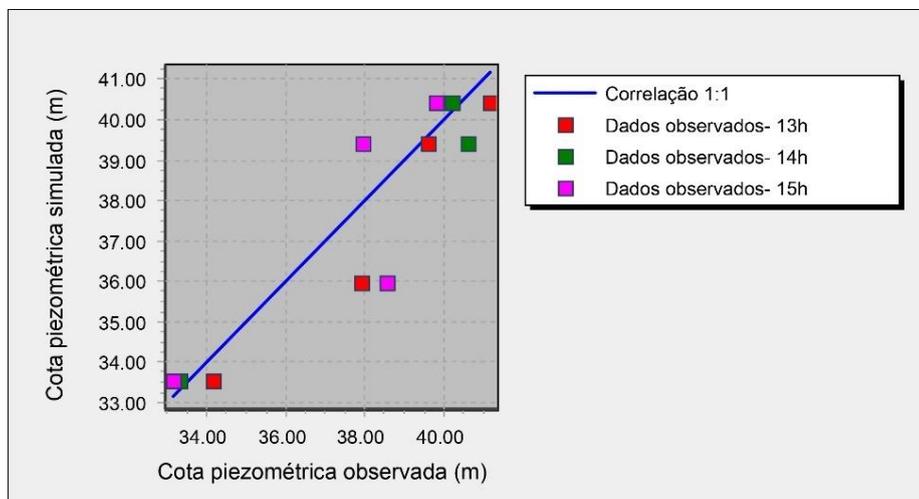


Gráfico 6- Correlação entre a pressão medida e a simulada para o período 13-15h.

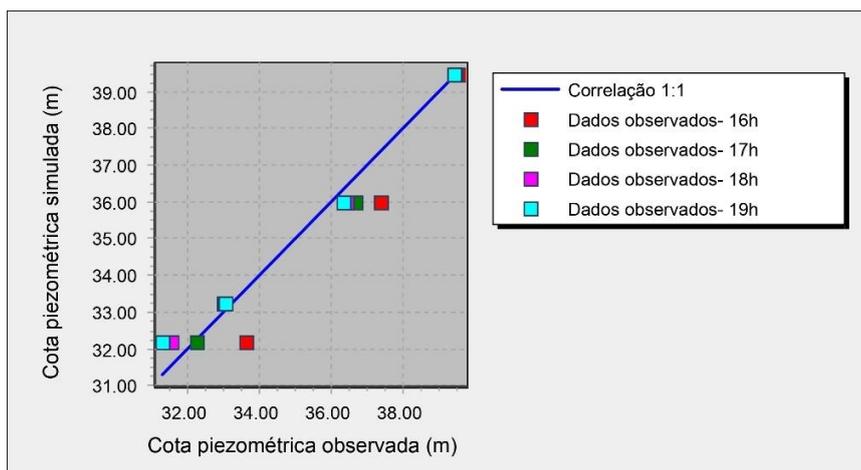


Gráfico 7- Correlação entre a pressão medida e simulada, para o período 16-19h

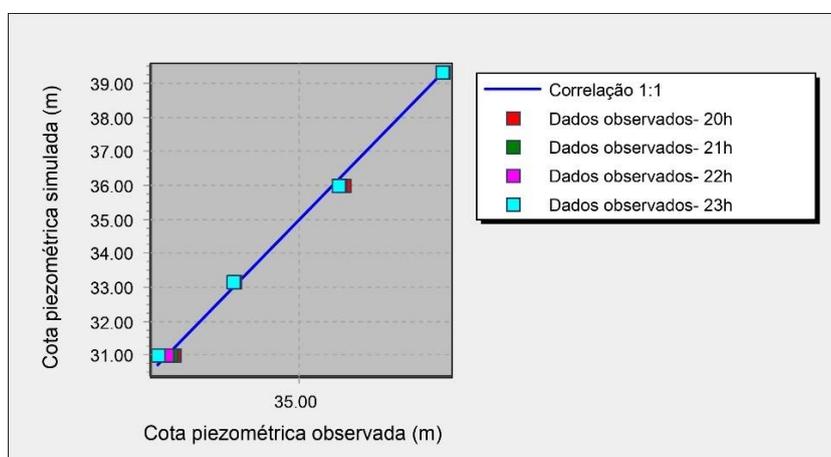


Gráfico 8- Correlação entre a pressão medida e simulada, para o período 20-23h.

4.2.7. Identificação de Fugas

Com vista a identificar e localizar nós com possibilidades de registo de fugas na Zona de Medição e Controlo da Unidade 7, surge a necessidade de desenvolver o modelo de optimização para identificação das mesmas, usando a ferramenta *Darwin Calibrator-Leakage Detection* do software WaterGEMS da Bentley. Estas zonas detectadas são possíveis zonas na rede de distribuição que necessitam de intervenção por parte das entidades gestoras, por forma a promover acções para a reparação das fugas, onde elas forem confirmadas.

O *Darwin Calibrator- Leakage Detection* funciona com base no ajuste do *emitter coefficient* (coeficiente de vazão), que representa a variação do caudal para uma redução da pressão de 1 m.c.a. nos nós para que o modelo corresponda aos dados colhidos em campo.

Com o Darwin Calibrator-Leakage Detection da WaterGEMS teve-se uma abordagem analítica para identificação de fugas orientada da seguinte forma: (i) calibração de modelos hidráulicos para simular as fugas reais que ocorrem na rede e (ii) aplicação de tecnologia de optimização que usa Algoritmos Genéticos (AGs) baseados nos princípios da evolução natural que predizem a localização das perdas reais.

O módulo *Darwin Calibrator- Leakage Detection* aplica o processo de calibração do modelo hidráulico e a identificação de fugas em simultâneo. Por isso, com base nos dados das pressões medidas em cinco (5) nós e caudais em três (3) condutas, introduzidos para o processo anterior de calibração do modelo, foram também detectados os nós com possíveis fugas.

A introdução destes dados é demonstrada abaixo, para o período das 00:00, por exemplo.

The screenshot displays the 'Field Data Snapshots' window in the Darwin Calibrator software. The window is divided into several sections:

- Field Data Snapshots:** A list of snapshots from 0h to 19h. 'Field Data 0h' is selected.
- Representative Scenario:** A table showing the selected snapshot:

Label	Date	Time
1 Field Data 0h	1/1/2000	12:00:00 AM
- Observed Target:** A table showing observed values for various elements:

Field Data Set	Element	Attribute	Value
1 Field Data 0h	N75	Hydraulic Grade (m)	33.00
2 Field Data 0h	N76	Hydraulic Grade (m)	39.31
3 Field Data 0h	N73	Hydraulic Grade (m)	35.53
4 Field Data 0h	P084	Discharge (L/s)	0.03
5 Field Data 0h	P085	Discharge (L/s)	0.00
6 Field Data 0h	P074	Discharge (L/s)	0.00
7 Field Data 0h	N09	Hydraulic Grade (m)	30.54
8 Field Data 0h	N23	Hydraulic Grade (m)	36.09

Figura 20- Introdução dos dados de campo da janela do DARWIN CALIBRATOR- LEAKAGE DETECTION.

Após introduzir os dados de pressão e caudal medidos em campo para cada hora do dia, foi posto a correr o Algoritmo *DARWIN CALIBRATOR- LEAKAGE DETECTION*.

Ao processar, o Algoritmo Genético determinou os nós com *emitter coefficient* (coeficiente de vazão) diferentes de zero, e assim permitiu localizar esses nós com possibilidades de fugas.

O processamento foi subdividido em 4 intervalos temporais para a detecção das fugas, os mesmo que foram subdivididos para a calibração do modelo hidráulico. Estes intervalos são: (i) entre 0h-3h; (ii) entre 13h-15h; (iii) entre 16h-19h e (iv) entre 20h-23h.

O algoritmo sugere mais do que uma solução para o problema, e foi escolhida a solução com o menor coeficiente de aptidão (*fitness*). Os coeficientes de aptidão (*fitness*) são apresentados abaixo de acordo com cada intervalo temporal escolhido.

Coeficiente de Aptidão (<i>fitness</i>)	
ZMC Unidade 7	
Intervalo	Fitness
00:00-03:00	1,639
13:00-15:00	13,321
16:00-19:00	2,842
20:00-23:00	0,207

Tabela 9- Tabela resumo dos fitness para as soluções de detecção de fugas. Fonte: WaterGEMS

Estes coeficientes de aptidão ou *fitness*, são indicadores da qualidade dos resultados da simulação, sendo que, quanto mais próximo de zero, melhor calibrado encontra-se o modelo hidráulico.

Sendo assim, depois de feita a análise com ajuda da ferramenta *DARWIN CALIBRATOR- LEAKAGE DETECTION*, observou-se alguns nós como locais prováveis de ocorrência de fugas. Os resultados da simulação descrita encontram-se no *Capítulo V*, e para complementar a demonstração dos resultados, pode-se visitar a secção dos “Anexos”, nos seus *Anexos 8.8 a 8.11*.

5. CAPÍTULO V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Balanço Hídrico

Volume de água entrada no sistema [150 390 m ³]	Consumo autorizado [136 049 m ³]	Consumo autorizado facturado [135 710 m ³]	Consumo facturado medido [135 710 m ³]	Água facturada [135 710 m ³]
			Consumo facturado não medido [0 m ³]	
		Consumo autorizado não facturado [339 m ³]	Consumo não facturado medido [0 m ³]	
			Consumo não facturado não medido [339 m ³]	
	Perdas de água [14 341 m ³]	Perdas aparentes [679 m ³]	Uso não autorizado [339 m ³]	Água não facturada [14 680 m ³]
			Erros de medição [339 m ³]	
		Perdas reais [13 662 m ³]	Fugas nas adutoras e ou redes de distribuição	
			Fugas em reservatórios	
			Fugas em ramais prediais (a montante dos contadores prediais)	

Quadro 2- Resultados do Balanço Hídrico para a ZMC Unidade 7. Fonte: AWWA Free Audit Software v6.0.

Para o ano de 2022, chega-se a um volume total de perdas de água de **14 341 m³**, o que equivale a **9,54%**. Este volume representa o somatório das perdas comerciais e as perdas reais.

Em termos de água não contabilizada (do inglês: *non-revenue water*), regista-se um volume de **14 680 m³**, o que representa perdas de água na ordem dos **9,76%**. A água não contabilizada apresenta um volume maior em relação às perdas referidas no parágrafo anterior devido ao acréscimo do volume perdido em operações de limpeza de reservatórios, testes em tubagens, limpeza de estradas e locais públicos, assim como outras operações de emergência que ocorrem durante a operação do sistema.

5.2. Identificação de Fugas

Com o auxílio da ferramenta DARWIN CALIBRATOR- LEAKAGE DETECTION, foi possível identificar os seguintes nós da rede como possíveis pontos de ocorrência de fugas.

Nota: Neste subcapítulo são apresentados os resultados na forma quantitativa. Para uma melhor visualização dos nós, vide os *Anexos 8.8 a 8.11*.

1. Fugas entre 0h-3h

A detecção de fugas para o período entre **00:00-03:00** é apresentado neste item. O cálculo determinou **11 nós** com possibilidades de ocorrência de fugas (perdas reais).

2. Fugas entre 13h-15h

A detecção de fugas para o período entre **13:00-15:00** é apresentado neste item. O cálculo determinou **8 nós** com possibilidades de ocorrência de fugas (perdas reais).

3. Fugas entre 16h-19h

A detecção de fugas para o período entre **16:00-19:00** é apresentado neste item. O cálculo determinou **12 nós** com possibilidades de ocorrência de fugas (perdas reais).

4. Fugas entre 20h-23h

A detecção de fuga para o período entre **20h-23h** é apresentado neste item. O cálculo determinou **13 nós** com possibilidades de ocorrência de fugas (perdas reais).

6. CAPÍTULO VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

Concluído o modelo hidráulico e tendo os valores observados (dados de campo) de pressão e caudal, com aplicação do módulo DARWIN CALIBRATOR - LEAKEGE DETECTION acoplado ao WATERGEMS da Bentley Systems, que usa a tecnologia de optimização de Algoritmo Genético baseado em princípios de evolução natural, foi possível aplicar com êxito um método unificado de optimização que permitiu simultaneamente a calibração hidráulica do modelo e optimização para a localização de nós com fugas na rede da Zona de Medição e Controlo de Unidade 7.

A metodologia usada provou claramente que se trata de uma ferramenta robusta e prática para apoiar as empresas gestoras de serviços de água em suas estratégias de controlo de Perdas físicas, e para o caso presente foi bastante útil para a Zona de Medição e Controlo Unidade 7.

O modelo hidráulico da Zona de Medição e Controlo Unidade 7 revela que as horas de baixo consumo são as mais propensas a registar as fugas (essas horas normalmente são as que não há abastecimento ou distribuição de água). Isto deve-se à redução dos caudais de consumo e conseqüentemente um aumento nas pressões na rede.

O processo de leitura, recolha e armazenamento de dados por parte das instituições provedoras (neste caso, as AdRMM) deve ser encarado de forma mais rigorosa, pois estas revelam-se como uma das chaves para a redução das perdas comerciais.

Assim, conclui-se que a Zona de Medição e Controlo Unidade 7 encontra-se bem delimitada e com índice de perdas relativamente aceitável, tendo em conta a realidade moçambicana nesta temática.

Pesquisas futuras poderiam explorar o campo da gestão destes sistemas, por exemplo a regulamentação de procedimentos de recolha, armazenamento e tratamento dos dados de leituras feitas em campo, assim como elaboração de manuais técnicos de apoio para os trabalhos efectuados em campo.

6.2. Recomendações

A implementação de estratégias integradas para o controlo activo e redução das perdas revela-se de capital importância para que as empresas alcancem o sucesso nesse

campo. Não existe uma solução única para efeito, portanto seguem algumas medidas que em conjunto com medidas de sistematização, inovação tecnológica e capacitação humana, trarão o sucesso nessa área de gestão.

- I. Estabelecer ou revêr as políticas para a recolha de dados pelos técnicos no quotidiano dos seus trabalhos. Aqui seguem-se as leituras nos contadores e visitas de rotina aos clientes activos.
- II. Estabelecer critérios e programas para testar e calibrar os contadores de água dos consumidores finais.
- III. Montar um plano económico a longo prazo associado a redução das perdas;
- IV. Estabelecer objectivos e os caminhos a percorrer para a redução das perdas reais e aparentes para os próximos 10 anos;

Tratando-se da Zona de Medição e Controlo Unidade 7, algumas acções podem ser levadas a cabo para a redução das **perdas físicas**:

- I. Disponibilizar equipamentos de detecção de fugas visíveis e não visíveis para a detecção das mesmas.
- II. Promover campanhas de sensibilização da população para que estas reportem casos de ocorrência de fugas visíveis, assim como fugas domésticas.

No que concerne às **perdas aparentes** (comerciais), algumas acções podem ser levadas a cabo, como:

- i. Projecção e implementação de planos para substituição periódica e programada de contadores, assim que os mesmos atinjam o tempo de vida útil recomendado pelo fabricante.
- ii. Realização de calibração dos contadores periodicamente para aferição da precisão. Neste âmbito deve-se promover formações e capacitações técnicas às equipas de campo;
- iii. Implementação de auditorias comerciais externas, para aferição da qualidade dos dados medidos em campo, assim como os procedimentos para armazenamento e tratamento dos dados comerciais da empresa;

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABES, A. B. de E. S. e A. (2015). Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água. *Associação Brasileira de Engenharia Sanitária - ABES*, 99. http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf
2. Al-washali, T., Sharma, S., Al-nozaily, F., & Haidera, M. (2019). Monitoring Nonrevenue Water Performance in. *Water*, 11(1220), 1–15.
3. AL-Washali, T., Sharma, S., Lupoja, R., AL-Nozaily, F., Haidera, M., & Kennedy, M. (2020). Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. *Resources, Conservation and Recycling*, 152(January), 104515. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104515>
4. Al., H. da S. P. et. (2021). *Water Distribution Network Models Calibration: Alternative Method (CNM) for Identifying Monitoring Stations*. April. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.20406171.v1>
5. Alegre, H. (1999). *Performance Indicators for Water Supply Systems*. 148–178. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1297-2_7
6. Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., & Parena, R. (2016). Performance Indicators for Water Supply Services: Third Edition. *Water Intelligence Online*, 15(0), 9781780406336–9781780406336. <https://doi.org/10.2166/9781780406336>
7. Alegre, H., Coelho, S., Almeida, C., & Vieira, P. (2005). Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição. In *Dspace.Ist.Utl.Pt*. LNEC.
8. António, J. C. G. (2015). *Controlo de Perdas em Sistemas Apoio à decisão na análise técnica de Abastecimento de aplicação Água - Câmara empreendimentos : ao caso Municipal de Miranda de do um Corvo da seleção da localização novo aeroporto*. Instituto Politécnico de Coimbra.
9. Arregui, F. J., Cobacho, R., Soriano, J., & Jimenez-Redal, R. (2018). Calculation proposal for the economic level of apparent losses (ELAL) in a water supply system. *Water (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/w10121809>
10. Bezerra, S. de T. M., & Cheung, P. B. (2013). *Perdas de Água- Tecnologias de Controle*. Editora da UFPB.
11. Bié, J. S. (2021). *Universidade Eduardo Mondlane - Historial*. 2–3. <https://www.uem.mz/index.php/sobre-a-uem/historial>

12. Bruni, J. C. (1993). A água e a vida. *Tempo Social; Rev. Sociol. USP*, 5(12), 53–65. <http://www.scielo.br/pdf/ts/v5n1-2/0103-2070-ts-05-02-0053.pdf>
13. Cesar, C., Abdala, L., Kreski, S., & Paulo, S. (2019). *Sustentabilidade Ods 6 Água Potável E Saneamento*. 1–50.
14. Coelho, S. T., Loureiro, D., & Alegre, H. (2006). Modelação E Análise De Sistemas De Abastecimento De Água. *Série Guias Técnicos Nº 4*, 357. <http://epanet-curso.Inec.pt/artigos/GT4.pdf>
15. De Souza Junior, J. do C., & Vatauvuk, P. (2023). Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água. *Delos: Desarrollo Local Sostenible*, 16(42), 445–470. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n42-029>
16. Farley, M. (2001). Leakage Management and Control: Best Practices Training Manual. In WHO. http://whqlibdoc.who.int/hq/2001/WHO_SDE_WSH_01.1_pp1-98.pdf
17. Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., & Sigh, S. (2008). The Manager's Non-Revenue Water Handbook. In *A Guide to Understanding Water Losses, Ranhill Utilities Bernhad and USAID, Malaysia*.
18. Ferreira, A. R. M. G. da C. (2017). Detecção e avaliação de fugas e perdas em sistemas de abastecimento de água. In *Detecção e avaliação de fugas e perdas em sistemas de abastecimento de água*. <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/83191>
19. Ferreira, B., Carriço, N., & Covas, D. (2023). *Detecção em tempo real de roturas recorrendo a dados de monitorização da rede de distribuição de água*. July.
20. FUNASA. (2014). Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água. In *Fundação Nacional de Saúde – Funasa*. Fundação Nacional de Saúde. http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/reducao_de_perdas_em_saa74.pdf
21. Gameiro, P. (2014). *Calibração Hidráulica de Modelos de Sistemas de Distribuição de Água*. 95.
22. Hamilton, S. (n.d.). *When is a DMA not a DMA?*
23. Hasdiana, U. (2018). Avaliação de perdas de água em redes de abastecimento com escassez de dados. *11(1)*, 1–5. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/0735>

- 2689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/
24. Herrera, M., Meniconi, S., & Alvisi, S. (2018). *Advanced Hydroinformatic Techniques for the Simulation and Analysis of Water Supply and Distribution Systems* (M. Herrera (ed.)). MDPI.
25. Juízo, D. L. (2008). *Methods for Transboundary Water Resources Management in Water Stressed Regions- Case Study: Southern Africa*. Lund University.
26. Kanakoudis, V., Tsitsifli, S., Samaras, P., Zouboulis, A., & Banovec, P. (2013). A new set of water losses-related performance indicators focused on areas facing water scarcity conditions. *Desalination and Water Treatment*, 51(13–15), 2994–3010. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.748448>
27. Khanlawia, A., Chilole, G., & Cristóvão, L. (2022). Avaliação das perdas de água em redes de distribuição: Município de Chimoio, Moçambique. *Research, Society and Development*, 11(6), e4911628535. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28535>
28. Lambert, A., & Hirner, W. (2000). *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*.
29. Lansley, K. E., El-Shorbagy, W., Ahmed, I., Araujo, J., & Haan, C. T. (2001). Calibration Assessment and Data Collection for Water Distribution Networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(4), 270–279. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2001\)127:4\(270\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2001)127:4(270))
30. Mbuvi, D., De Witte, K., & Perelman, S. (2012). Urban water sector performance in Africa: A step-wise bias-corrected efficiency and effectiveness analysis. *Utilities Policy*, 22, 31–40. <https://doi.org/10.1016/J.JUP.2012.02.004>
31. Melato, B. S. (2010). *Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de são paulo*. 133.
32. Morrison, J., Tooms, S., & Dewi, R. (2007). District metered areas: Guidance notes - International Water Association. In *IWA Water Loss Task Force*. https://iwa-network.org/learn_resources/district-metered-areas-guidance-notes/
33. Moser, G., German Paal, S., & Smith, I. F. C. (2015). Performance comparison of reduced models for leak detection in water distribution networks. *Advanced Engineering Informatics*, 29(3), 714–726. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.07.003>
34. Nacional, S., & Ambiental, D. S. (2016). *Diagnóstico dos Serviços de Água e*

Esgostos.

35. Nunes, R. B., & Barbosa, T. (2021). *APLICAÇÃO DO MÉTODO SVM PARA IDENTIFICAÇÃO DE NÚMERO ELEVADO*. September, 0–8.
36. Ozanne, H. S. (2011). Leak detection. In *Pipeline Planning and Construction Field Manual*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-383867-4.00014-1>
37. Pereira da Cunha, A., De Souza Lemes, C., Pinto, W. T., & Kepler Soares, A. (2015). Calibração De Modelo Hidráulico De Rede De Abastecimento De Água Via Modelo Inverso. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 10(1). <https://doi.org/10.5216/reec.v10i1.33076>
38. Pereira, S. F., & Tinôco, J. D. (2021). Avaliação Das Perdas De Água Em Sistema De Abastecimento De Água: Estudo No Setor Parque Das Nações, Parnamirim/Rn. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 32–45. <https://doi.org/10.9771/gesta.v9i3.44564>
39. Puust, R., & Vassiljev, A. (2014). Real water network comparative calibration studies considering the whole process from engineer's perspective. *Procedia Engineering*, 89, 702–709. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.497>
40. R., B. P. (1988). Calibrating Water Distribution Network Models. *Journal of Environmental Engineering*, 114(1), 120–136. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1988\)114:1\(120\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1988)114:1(120))
41. Rodrigues, K. P. (2013). *Calibração de Modelo Hidráulico para monitoramento de redes de distribuição de Água: Estudo da Rede de Distribuição de Água da Universidade Estadual de Maringá* (Vol. 66). Universidade Estadual de Maringá.
42. Salvino, M. M. (2012). Modelagem Computacional Visando a Reabilitação De Redes Hidraulicas. *João Pessoa – Paraíba Junho*, 148. <http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/5334/1/arquivototal.pdf>
43. Salvino, M. M., Carvalho, P. S. O. de, & Gomes, H. P. (2015). Multivariate calibration of water supply networks using multiobjective genetic algorithm. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 20(3), 503–512. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000099484>
44. Santi, 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*, 7(2), 386. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018386-410>
45. Santos, D. D., & Montenegro, S. M. G. L. (2013). Avaliação da Metodologia para

- redução de perdas de água no recife-PE. *Revista DAE*, 16(16), 2–3.
<https://doi.org/10.4322/dae.2014.128>
46. Santos, D. D., & Montenegro, S. M. G. L. (2014). Avaliação da Metodologia para redução de perdas de água no recife-PE. *Revista DAE*, 62(197), 56–70.
<https://doi.org/10.4322/dae.2014.128>
47. Silva, F. J. A. da. (2005). Perda de água em sistemas públicos de abastecimento No Ceará. *Revista Tecnologia*, 26(1), 11.
48. Sousa da Cunha, B., Mendonça dos Santos, S., & Cruz Gonzalez, B. (2021). Gestão das perdas de água em sistemas de abastecimento. *Revista DAE*, 69(230), 67–86. <https://doi.org/10.36659/dae.2021.033>
49. Talens, R. G. (2022). *Modelação de Consumos e Perdas de Água em Redes de Distribuição*.
50. Tardelli, J. (2015). Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. *Revista DAE*, 64(201), 6–20.
<https://doi.org/10.4322/dae.2015.012>
51. Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). Water Loss Control, Second Edition. *Water Loss Control*, 247–258.
<https://ezproxy.mapua.edu.ph:2116/content/book/9780071499187%0Ahttps://ezproxy.mapua.edu.ph:2116/content/book/9780071499187.abstract>
52. Walski, T. (2017). Procedure for hydraulic model calibration. *Journal - American Water Works Association*, 109(6), 55–61.
<https://doi.org/10.5942/jawwa.2017.109.0075>
53. Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W., & Beckwith, S. (2003). Advanced Water Distribution Modeling and Management. *University of Dayton*, 5, 418–425.
54. Walski, T. M., Methods, H., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W., Beckwith, S., & Koelle, E. (2003). Advanced Water. In *Methods*.
55. Whitman, B. E., & Walski, T. (2021). *Computer applications in hydraulic engineering*.

8. ANEXOS

ANEXO 1

Volumes Facturados- 2022	
Mês	Volume (m ³)
Janeiro	13.051,00
fevereiro	10.302,00
Março	11.706,00
Abril	12.939,00
Maio	11.158,00
Junho	11.106,
Julho	9.458,00
Agosto	10.575,00
Setembro	11.942,00
Outubro	11.439,00
Novembro	10.973,00
Dezembro	11.068,00

Anexo 1- Dados comerciais- Volumes mensais facturados. Fonte: AdRMM

ANEXO 2

Resultados da Simulação Inicial- EPANET					
ZMC Unidade7-Área Operacional Chamanculo					
Características dos Nós					
Nó	Cota do terreno	Demanda Base	Demanda	Carga Hidráulica	Pressão hidrostática
	m	LPS	LPS	m	m
N02	34.7	0.07	0.07	45.52	10.82
N03	36.1	0.18	0.17	45.52	9.42
N04	36	0.24	0.07	45.52	9.52
N05	32.9	0.15	0.11	45.52	12.62
N06	32.4	0.14	0.43	45.51	13.11
N08	35.2	0.14	0.25	45.5	10.3
N09	29.7	0.09	0.16	44.84	15.14
N10	30.8	0.13	0.2	44.85	14.05
N11	30.7	0.21	0.27	44.86	14.16
N12	32.1	1.03	0.28	45.35	13.25
N13	33	0.05	0.11	45.46	12.46
N14	34	0.08	0.11	45.51	11.51
N15	34.5	0.23	0.13	45.57	11.07
N16	33.9	0.22	0.1	45.51	11.61
N17	33	0.11	0.11	45.53	12.53
N18	32.7	0.13	0.13	45.51	12.81
N19	33.3	0.23	0.1	45.5	12.2
N20	31.9	0.08	0.32	45.5	13.6
N21	33.2	0.30	0.2	45.5	12.3
N22	33.8	0.18	0.18	45.45	11.65

Resultados da Simulação Inicial- EPANET					
ZMC Unidade7-Área Operacional Chamanculo					
Características dos Nós					
Nó	Cota do terreno	Demanda Base	Demanda	Carga Hidráulica	Pressão hidrostática
	m	LPS	LPS	m	m
N23	36	0.23	0.12	45.51	9.51
N24	32	0.20	0.18	45.11	13.11
N25	33.7	0.28	0.12	45.02	11.32
N26	32	0.18	0.07	44.97	12.97
N27	33.2	0.20	0.13	44.93	11.73
N29	34.8	0.13	0.31	44.36	9.56
N30	34.9	0.06	0.16	44.2	9.3
N32	32.9	0.10	0.36	43.68	10.78
N33	36	0.13	0.09	43.49	7.49
N34	32.3	0.13	0.09	43.38	11.08
N37	32.5	0.10	0.48	43.21	10.71
N38	35.2	0.10	0.11	43.18	7.98
N39	35.7	0.13	0.11	43.18	7.48
N40	31.1	0.02	0.69	44.9	13.8
N41	32.7	0.08	0.22	44.89	12.19
N42	34.4	0.13	0.15	44.87	10.47
N43	36.8	0.06	0.34	44.86	8.06
N44	32.3	0.01	0.02	44.85	12.55
N45	31.9	0.11	0.54	44.84	12.94
N46	33.8	0.13	0.16	44.83	11.03
N47	33.3	0.03	0.29	44.83	11.53
N48	33.4	0.05	0.2	44.83	11.43
N49	31.3	0.14	0.88	44.69	13.39
N50	33.7	0.07	0.08	44.82	11.12
N51	34.9	0.01	0.12	44.79	9.89
N52	32.8	0.06	0.02	44.78	11.98
N53	31.5	0.05	0.19	44.77	13.27
N54	34	0.17	0.26	44.77	10.77
N55	35.8	0.39	0.17	44.93	9.13
N56	35.7	0.18	0.1	45.44	9.7
N57	33.1	0.15	0.17	45.45	12.35
N59	31.2	0.11	0.17	45.52	14.32
N60	33.1	0.23	0.13	45.51	12.41
N61	33.4	0.32	0.18	45.47	12.07
N62	32	0.02	0.04	45.51	13.51
N63	33.3	0.23	0.07	45.51	12.21
N65	33.7	0.01	0.13	45.5	11.8
N66	33.8	0.09	0.09	45.51	11.71
N67	33.5	0.18	0.16	45.5	12
N68	31.7	0.42	0.12	45.52	13.82
N69	35.3	0.23	0.02	45.5	10.2
N70	32.5	0.42	0.03	45.5	13

Resultados da Simulação Inicial- EPANET					
ZMC Unidade7-Área Operacional Chamanculo					
Características dos Nós					
Nó	Cota do terreno	Demanda Base	Demanda	Carga Hidráulica	Pressão hidrostática
	m	LPS	LPS	m	m
N71	34.1	0.33	0.1	45.5	11.4
N72	33.1	0.01	0.12	45.5	12.4
N73	31	0.03	0	45.52	14.52
N74	33.2	0.02	0	44.93	11.73
N75	33.1	0.05	0	46.64	13.54
N76	38.5	0.21	0	45.2	6.74
ResvrM1	46.7	---	-2.22	46.68	0
ResvrM2	45.5	---	-2.4	45.52	0
ResvrM3	45.2	---	-7.17	45.2	0

Anexo 2- Tabela de resultados da simulação inicial- Características dos nós. Fonte EPANET

ANEXO 3

Resultados da Simulação Inicial						
ZMC Unidade7-Área Operacional Chamanculo						
Características das Conduitas						
Conduto	Comprimento	Diâmetro	Rugosidade	Caudal	Velocidade	J
	m	mm	H-W	LPS	m/s	m/km
P10	56.53	200	140	-0.07	0	0
P11	88.83	200	140	-0.24	0.01	0
P03	174.45	200	140	0.59	0.02	0
P14	160.29	70.6	150	-0.16	0.04	0.04
P15	95.45	70.6	150	-0.36	0.09	0.17
P17	323.35	57	140	-0.28	0.11	0.34
P18	116.72	50	150	-0.27	0.14	0.53
P19	104.48	50	150	-0.17	0.09	0.22
P20	105.82	50	150	0.09	0.04	0.06
P21	107.92	50	150	0.05	0.03	0.02
P27	40.85	70.6	150	0.93	0.24	0.97
P28	44.77	70.6	150	0.65	0.17	0.5
P29	28.96	70.6	150	0.43	0.11	0.24
P30	90.53	70.6	150	0.06	0.02	0.01
P31	36.16	70.6	150	0.36	0.09	0.16
P32	96.36	70.6	150	-0.04	0.01	0
P33	65.22	70.6	150	0.27	0.07	0.1
P37	23.3	50	150	-0.12	0.06	0.11
P38	44.38	50	150	-0.13	0.07	0.14
P39	27.44	50	150	-0.06	0.03	0.03
P015	88.99	150.6	150	6.99	0.39	1.02
P016	49.82	150.6	150	6.87	0.39	0.99

Resultados da Simulação Inicial						
ZMC Unidade7-Área Operacional Chamanculo						
Características das Conduitas						
Conduto	Comprimento	Diâmetro	Rugosidade	Caudal	Velocidade	J
	m	mm	H-W	LPS	m/s	m/km
P017	43.56	150.6	150	6.8	0.38	0.97
P020	24.36	57	140	1.4	0.55	6.73
P023	68.96	57	140	0.88	0.34	2.85
P024	44.67	57	140	0.79	0.31	2.33
P028	115.48	57	140	0.22	0.09	0.22
P029	68.88	57	140	0.11	0.04	0.06
P031	17.2	67.8	140	1.16	0.32	2.04
P032	43.77	150.6	150	2.94	0.17	0.21
P033	87.49	150.6	150	2.72	0.15	0.18
P034	82.55	150.6	150	2.57	0.14	0.16
P035	84.51	150.6	150	2.23	0.13	0.12
P036	72.76	150.6	150	2.21	0.12	0.12
P037	119.02	150.6	150	1.67	0.09	0.07
P038	14.89	150.6	150	0.16	0.01	0
P039	120.55	70.6	150	0.53	0.14	0.35
P040	110.1	70.6	150	0.45	0.11	0.26
P041	89.61	70.6	150	0.33	0.08	0.14
P042	97.9	70.6	150	0.31	0.08	0.13
P044	67.2	70.6	150	0.12	0.03	0.02
P045	92.08	70.6	150	0.88	0.22	0.88
P046	54.22	70.6	150	-1.02	0.26	1.16
P047	73.68	150.6	150	-1.22	0.07	0.04
P049	171.75	50	140	-0.1	0.05	0.1
P051	83.19	67.8	140	0.18	0.05	0.06
P056	101.53	103.6	140	0.74	0.09	0.11
P057	165.11	100	140	0.04	0.01	0
P058	103.33	75	140	0.57	0.13	0.33
P059	102.72	75	140	0.39	0.09	0.17
P060	73.4	75	140	-0.9	0.2	0.77
P062	133.41	63	140	0.13	0.04	0.05
P063	16.47	63	140	-0.47	0.15	0.54
P064	71.94	63	140	0.2	0.06	0.11
P065	60.46	63	150	0.25	0.08	0.15
P066	107.99	63	150	0.16	0.05	0.07
P067	43.68	75	150	0.08	0.02	0.01
P068	131.54	50	150	0.03	0.02	0.01
P069	100.43	50	150	0.03	0.02	0.01
P070	128.78	50	150	0.1	0.05	0.08
P072	98.3	50	140	0.12	0.06	0.13
P073	5.31	200	140	1.95	0.06	0.03
P074	2.24	200	140	2.4	0.08	0.04
P075	80.55	200	140	1.04	0.03	0.01
P076	60.68	150.6	150	-4.79	0.27	0.51
P077	4.56	150.5	150	-4.96	0.28	0.54

Resultados da Simulação Inicial						
ZMC Unidade7-Área Operacional Chamanculo						
Características das Conduitas						
Conduto	Comprimento	Diâmetro	Rugosidade	Caudal	Velocidade	J
	m	mm	H-W	LPS	m/s	m/km
P078	569.71	150.6	150	0.17	0.01	0
P079	58.55	57	140	1.71	0.67	9.75
P080	95.82	57	140	1.24	0.49	5.38
P081	94.11	57	140	0.7	0.27	1.86
P082	193.5	67.8	140	0.45	0.12	0.35
P083	124.54	63	150	2.22	0.71	8.57
P084	4.65	63	150	2.22	0.71	8.57
P085	4.45	150.6	150	7.17	0.4	1.07
P086	74.93	150.6	150	7.17	0.4	1.07

Anexo 3- Tabela de resultados da simulação inicial- Características das condutas. Fonte EPANET

ANEXO 4

Alocação das demandas pelos Nós				
ZMC Unidade 7- Área Operacional Chamanculo				
Determinado com base nos polígonos de Thiessen				
ID_Nó	ID_poligono	Área do polígono (m ²)	Coefficiente de ponderação (C_i)	Demanda do Nó (l/s)
2	65	2536.18	0.008	0.07
3	64	6243.18	0.016	0.18
4	63	2633.80	0.021	0.24
5	50	3854.82	0.013	0.15
6	43	3965.24	0.012	0.14
7	45	11769.72	0.012	0.14
8	52	9038.86	0.008	0.09
9	32	5781.92	0.011	0.13
10	17	7346.60	0.018	0.21
11	16	9686.33	0.090	1.03
12	68	10240.80	0.004	0.05
13	48	3941.68	0.007	0.08
14	61	3977.60	0.020	0.23
15	62	2730.92	0.019	0.22
16	60	3699.35	0.010	0.11
17	59	4003.16	0.011	0.13
18	57	4699.56	0.020	0.23
19	58	3691.38	0.007	0.08
20	55	4275.59	0.026	0.30
21	56	7186.41	0.016	0.18
22	37	6515.09	0.020	0.23

Alocação das demandas pelos Nós				
ZMC Unidade 7- Área Operacional Chamanculo				
Determinado com base nos polígonos de Thiessen				
ID_Nó	ID_poligono	Área do polígono (m ²)	Coefficiente de ponderação (C_i)	Demanda do Nó (l/s)
23	51	4259.11	0.017	0.20
24	34	6428.54	0.024	0.28
25	35	4442.69	0.016	0.18
26	36	2624.93	0.017	0.20
27	18	4762.34	0.011	0.13
28	19	7472.12	0.005	0.06
29	20	3638.35	0.009	0.10
30	21	5924.71	0.011	0.13
31	22	6590.05	0.011	0.13
32	23	6586.86	0.005	0.10
33	24	3317.76	0.009	0.10
34	25	3189.23	0.011	0.13
35	26	5223.95	0.002	0.02
36	27	7311.93	0.007	0.08
37	28	5148.99	0.011	0.13
38	29	4130.05	0.005	0.06
39	30	3881.83	0.001	0.01
40	15	24891.68	0.010	0.11
41	14	8144.90	0.011	0.13
42	13	5295.24	0.003	0.03
43	11	640.70	0.004	0.05
44	8	888.39	0.012	0.14
45	9	19503.96	0.006	0.07
46	5	5884.05	0.001	0.01
47	4	10503.93	0.005	0.06
48	3	7215.82	0.004	0.05
49	1	32006.74	0.015	0.17
50	12	3025.70	0.034	0.39
51	10	4330.87	0.016	0.18
52	7	633.29	0.013	0.15
53	6	6806.35	0.010	0.11
54	2	9524.40	0.020	0.23
55	31	6272.26	0.028	0.32
56	33	3602.19	0.002	0.02
57	38	6240.59	0.020	0.23
58	70	7702.95	0.001	0.01
59	69	6250.24	0.008	0.09
59	71	1847.68	0.016	0.18
60	46	1663.70	0.037	0.42
60	72	2833.78	0.020	0.23
61	47	2439.39	0.036	0.42

Alocação das demandas pelos Nós				
ZMC Unidade 7- Área Operacional Chamanculo				
Determinado com base nos polígonos de Thiessen				
ID_Nó	ID_poligono	Área do polígono (m ²)	Coefficiente de ponderação (C_i)	Demanda do Nó (l/s)
61	73	3854.21	0.029	0.33
62	67	1539.73	0.001	0.01
63	39	2572.11	0.00	0.03
65	40	4580.99	0.011	0.02
66	42	3084.01	0.007	0.05
67	41	5834.75	0.014	0.21
68	44	4402.69	0.011	0.09
69	53	642.99	0.002	0.15
70	54	1073.78	0.003	0.15
71	66	3610.28	0.009	0.17
72	49	4309.30	0.010	0.12

Anexo 4- Alocação das demandas pelos Nós

ANEXO 5

Pressões Médias Medidas- Ano 2022										
Hora	Ponto 1- EN1		Ponto 2- Nagi		Ponto 3-Vulcano		Ponto 4		Ponto 5	
	Pressão	Cota	Pressões	Nível	Pressão	Cota	Pressão	Cota	Pressão	Cota
	25°55'55.11"S 32°33'10.64"E		25°56'01.76"S 32°33'37.87"E		25°56'05.46"S 32°33'25.27"E		25°56'1.37"S 32°33'37.18"E		25°55'59.30"S 32°33'21.28"E	
0:00	-0.10	33.00	0.13	35.53	0.85	39.31	0.84	30.54	0.89	36.09
1:00	-0.01	33.09	0.18	35.58	0.89	39.35	0.87	30.57	0.91	36.11
2:00	0.13	33.23	0.33	35.73	1.03	39.49	0.98	30.68	1.05	36.25
3:00	1.06	34.16	0.85	36.25	1.55	40.01	1.79	31.49	1.65	36.85
4:00	7.88	40.98	5.92	41.32	6.58	45.04	3.87	33.57	5.38	40.58
5:00	15.11	48.21	14.07	49.47	14.84	53.30	4.35	34.05	7.79	42.99
6:00	16.26	49.36	12.20	47.60	12.88	51.34	2.19	31.89	5.28	40.48
7:00	14.59	47.69	8.72	44.12	9.34	47.80	2.25	31.95	4.66	39.86
8:00	13.58	46.68	7.72	43.12	8.32	46.78	2.47	32.17	4.21	39.41
9:00	14.46	47.56	9.28	44.68	9.83	48.29	3.66	33.36	7.69	42.89
10:00	15.36	48.46	11.99	47.39	12.68	51.14	2.83	32.53	1.97	37.17
11:00	13.00	46.10	11.41	46.81	12.19	50.65	3.88	33.58	1.62	36.82
12:00	4.78	37.88	4.98	40.38	6.10	44.56	5.18	34.88	1.89	37.09
13:00	1.06	34.16	1.59	36.99	2.71	41.17	9.89	39.59	2.71	37.91
14:00	0.24	33.34	0.61	36.01	1.73	40.19	10.92	40.62	3.37	38.57
15:00	0.06	33.16	0.30	35.70	1.35	39.81	8.27	37.97	3.37	38.57
16:00	-0.03	33.07	0.15	35.55	1.13	39.59	3.93	33.63	2.20	37.40
17:00	-0.10	33.00	0.08	35.48	1.00	39.46	2.54	32.24	1.48	36.68
18:00	-0.10	33.00	0.08	35.48	0.95	39.41	1.86	31.56	1.21	36.41
19:00	-0.07	33.03	0.12	35.52	0.95	39.41	1.60	31.30	1.16	36.36

Pressões Médias Medidas- Ano 2022										
Hora	Ponto 1- EN1		Ponto 2- Nagi		Ponto 3-Vulcano		Ponto 4		Ponto 5	
	Pressão	Cota	Pressões	Nível	Pressão	Cota	Pressão	Cota	Pressão	Cota
	25°55'55.11"S 32°33'10.64"E		25°56'01.76"S 32°33'37.87"E		25°56'05.46"S 32°33'25.27"E		25°56'1.37"S 32°33'37.18"E		25°55'59.30"S 32°33'21.28"E	
20:00	-0.06	33.04	0.13	35.53	0.93	39.39	1.50	31.20	1.12	36.32
21:00	-0.08	33.02	0.12	35.52	0.90	39.36	1.40	31.10	1.00	36.20
22:00	-0.07	33.03	0.14	35.54	0.89	39.35	1.28	30.98	1.01	36.21
23:00	-0.11	32.99	0.12	35.52	0.85	39.31	1.02	30.72	0.96	36.16

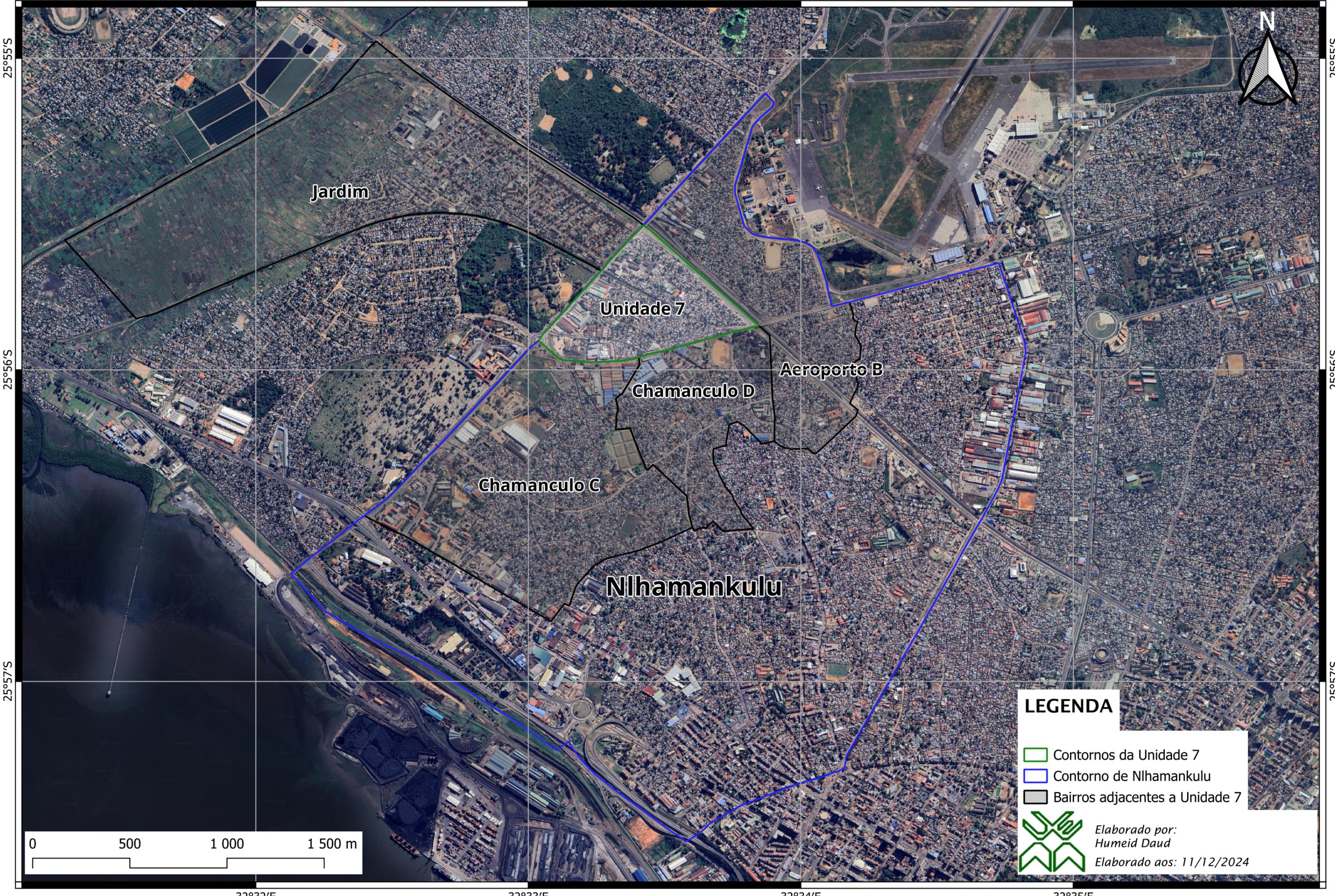
Anexo 5- Valores de Pressão Observados, por hora.

ANEXO 6

Caudais Observados, por hora- Ano 2022			
Hora	EN1	Nagi	Vulcano
	Caudal	Caudal	Caudal
	(l/s)	(l/s)	(l/s)
0:00	0.03	0.00	0.00
1:00	0.03	0.00	0.05
2:00	0.06	0.02	0.14
3:00	0.26	0.07	0.52
4:00	1.85	0.61	4.00
5:00	2.47	3.51	6.08
6:00	4.18	4.71	7.37
7:00	5.10	5.42	7.67
8:00	5.22	5.20	7.79
9:00	4.78	4.30	8.07
10:00	3.80	3.27	7.11
11:00	2.62	2.10	5.01
12:00	0.93	0.67	1.89
13:00	0.28	0.13	0.59
14:00	0.10	0.04	0.20
15:00	0.06	0.01	0.10
16:00	0.05	0.01	0.06
17:00	0.05	0.01	0.06
18:00	0.05	0.00	0.06
19:00	0.05	0.00	0.05
20:00	0.05	0.01	0.04
21:00	0.04	0.01	0.03
22:00	0.04	0.01	0.02
23:00	0.03	0.00	0.01

Anexo 6- Caudais medidos, por hora

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO
UNIDADE 7



Jardim

Unidade 7

Chamanculo D

Aeroporto B

Chamanculo C

Nihamankulu

LEGENDA

-  Contornos da Unidade 7
-  Contorno de Nihamankulu
-  Bairros adjacentes a Unidade 7



Elaborado por:
Humeid Daud
Elaborado aos: 11/12/2024



25°55'S

25°56'S

25°57'S

25°55'S

25°56'S

25°57'S

32°32'E

32°33'E

32°34'E

32°35'E

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DA UNIDADE 7

Elaborado aos: 11/12/2024

ANEXO 7.2

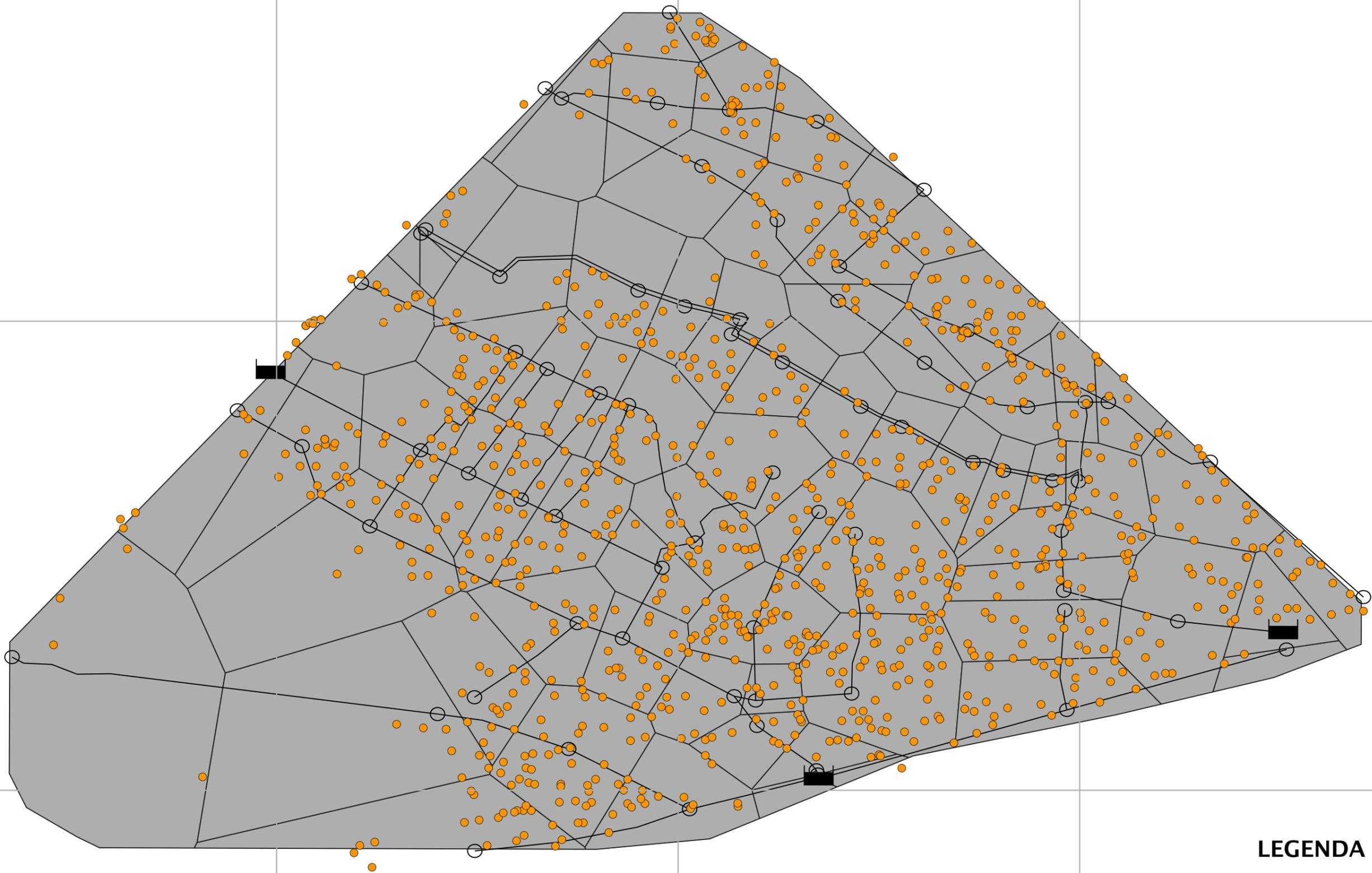


25°56'S

25°56'S

25°56'S

25°56'S



LEGENDA

- Clientes/Consumidores
- Área de Cobertura
- Reservatório
- Nós
- Rede de abastecimento de água



Elaborado por:
Humeid Daud

32°33'E

32°33'E

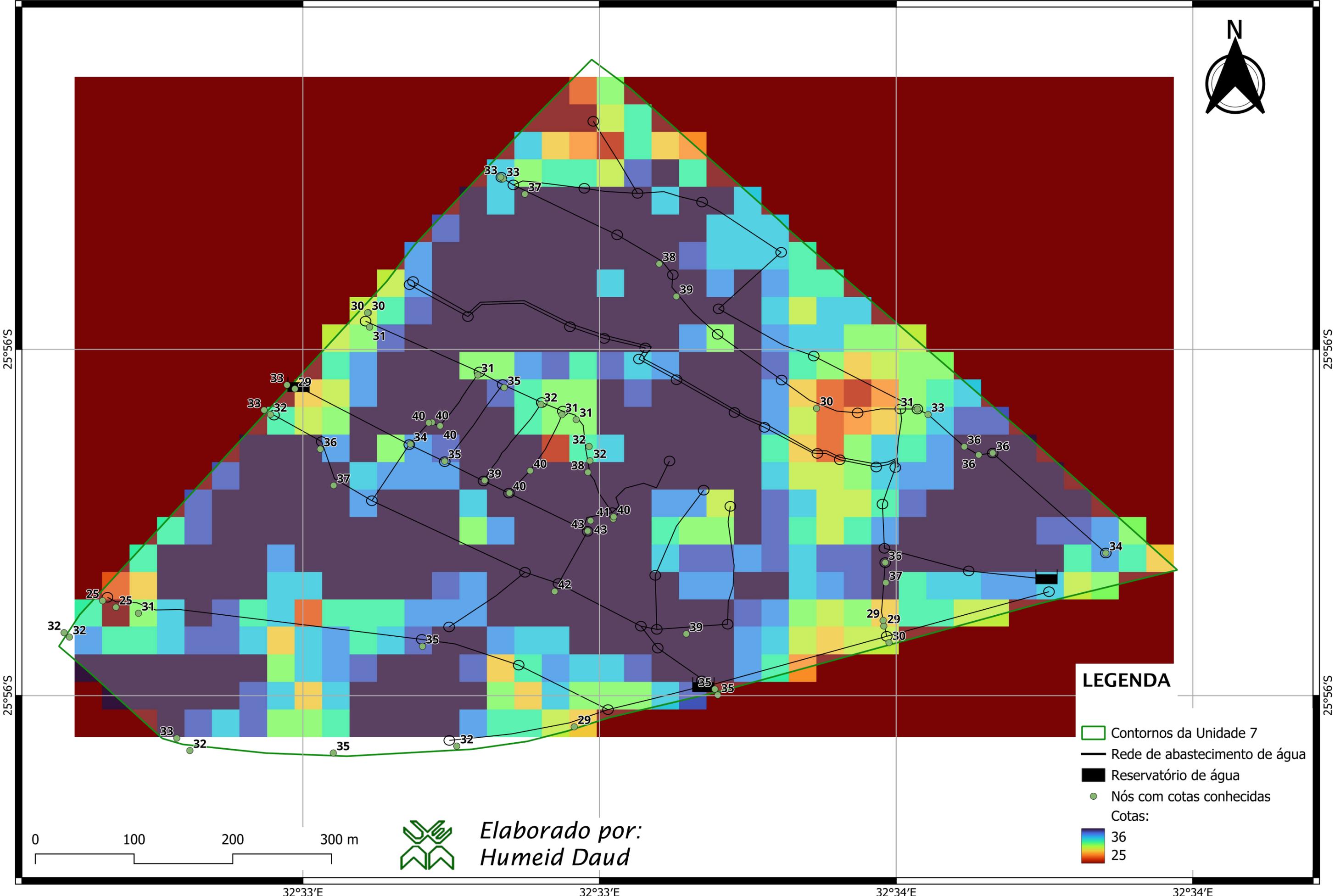
32°34'E

32°34'E

MAPA DE DEMONSTRAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO (DEM)

Elaborado aos: 11/12/2024

ANEXO 7.3



LEGENDA

- Contornos da Unidade 7
 - Rede de abastecimento de água
 - Reservatório de água
 - Nós com cotas conhecidas
- Cotas:
- 36
 - 25

0 100 200 300 m



Elaborado por:
Humeid Daud

32°33'E 32°33'E 32°34'E 32°34'E

25°56'S

25°56'S

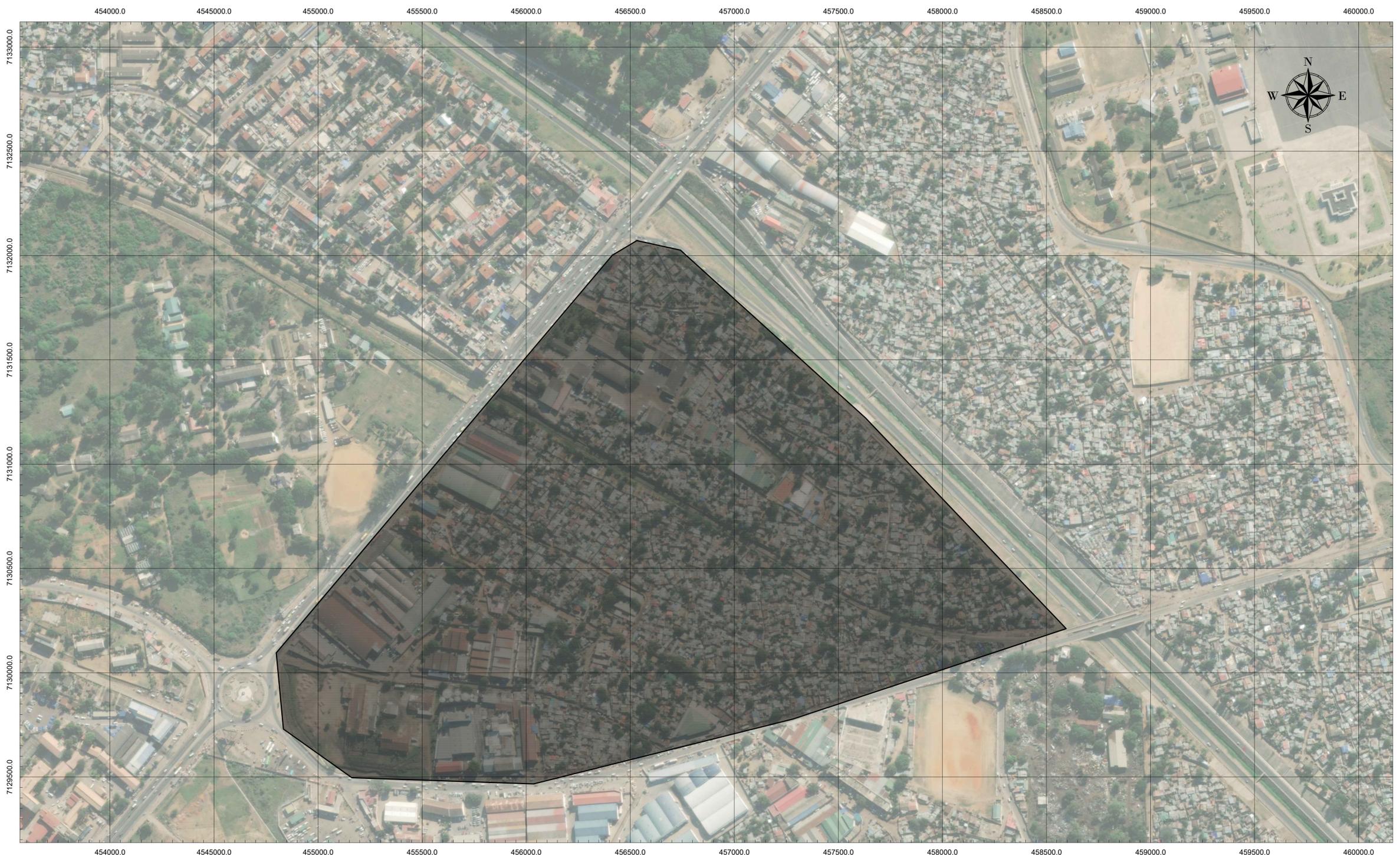
25°56'S

25°56'S

NOTAS:

Todas as dimensões estão em metros;

LEGENDA:



REFERÊNCIA DO DESENHO :
- ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, LOCALIZADA NA
ÁREA OPERACIONAL DE CHAMANCULO- CIDADE DE MAPUTO

REV.	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF.	APROV.

REVISION

CLIENT: **UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO: **LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL**

**TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO**

ESTUDANTE: **HUMEID ABDUL REHMANE DAUD**

SUPERVISORES:
PROF. DR. DINIS LUIS JUIZO
ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO: **ANEXO 8.1**
ÁREA SUPERFICIAL DA ZMC UNIDADE 7 + IMAG. DE FUNDO

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
-	Humeid	-	-	1:10000	12.12.24
PROJECT ID	FOLHA Nr.	DESENHO Nr.			
---	-	---			
REV	00	---			

455000.0

455500.0

456000.0

7132000.0

7132000.0

7131500.0

7131500.0

455000.0

455500.0

456000.0



NOTAS:

Todas as dimensões estão em metros;

LEGENDA:

-  Macromedidores
-  Nós de conexão
-  Conduitas
-  Indica o sentido do escoamento

REFERÊNCIA DO DESENHO :

- ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7
ESQUEMA DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

REV	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF.	APROV.

REVISÃO

CLIENT:

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO: **LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL**

TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO

ESTUDANTE:

HUMEID ABDUL REHMANE DAUD

SUPERVISORES:
PROF. DR. DINIS LUIS JUZO
ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO:

ANEXO 8.2
LAYOUT DA ZMC UNIDADE 7 + IMAGEM DE FUNDO

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
	Humeid			1:4500	15/10/2024

PROJECT ID	FOLHA Nr.	DESENHO Nr.

REV	

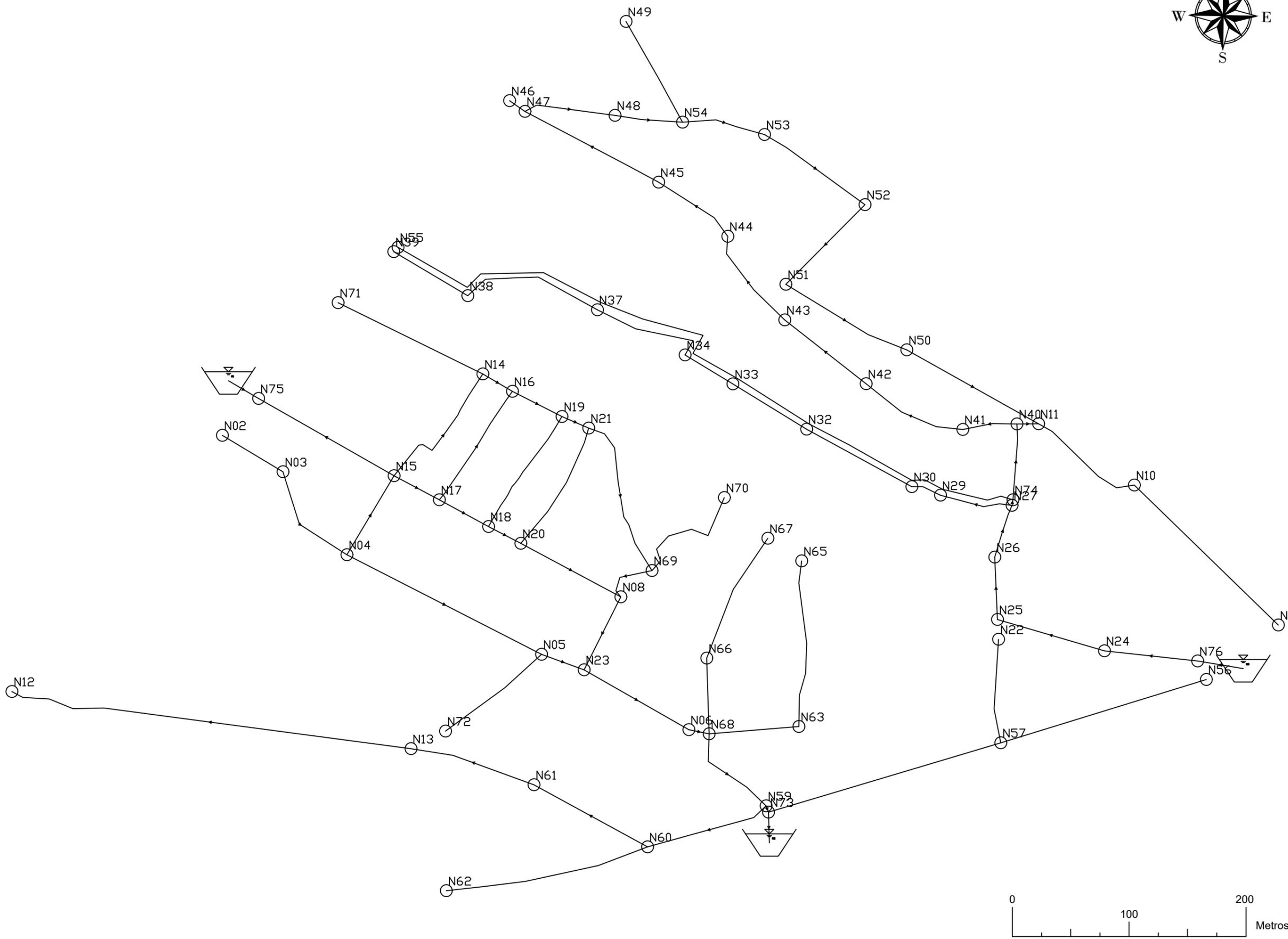
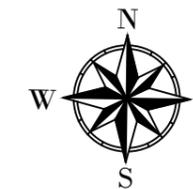


NOTAS:

Todas as dimensões estão em metros;

LEGENDA:

-  Macromedidores
-  Nós de conexão
-  Conduitas
-  Indica o sentido do escoamento
- N** i Nó i



REFERÊNCIA DO DESENHO :
 - ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, LOCALIZADA NA
 ÁREA OPERACIONAL DE CHAMANCULO- CIDADE DE MAPUTO

REV	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF.	APROV.

REVISÃO

INSTITUIÇÃO:
 **UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO:
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

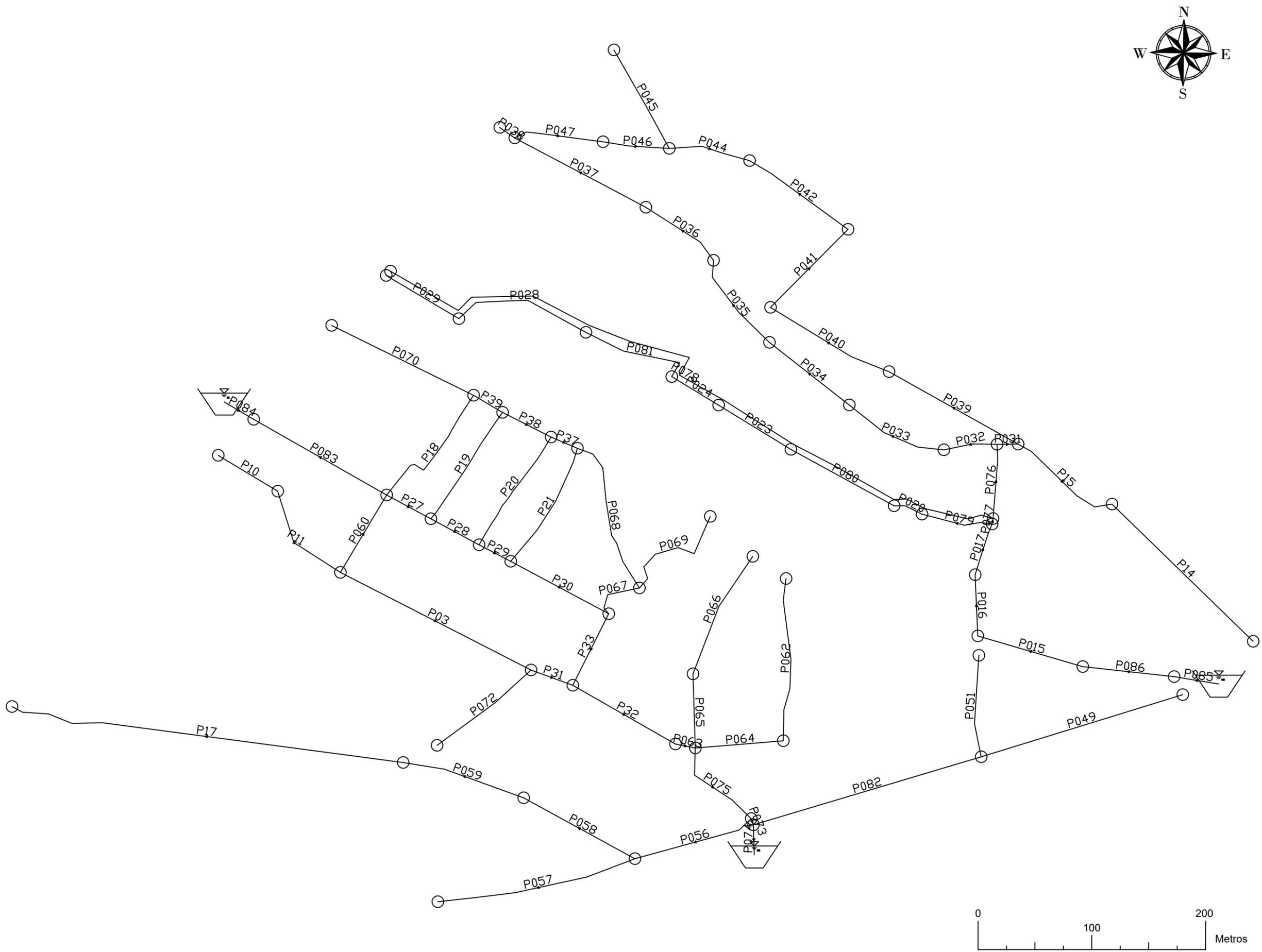
**TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO
 PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO**

ESTUDANTE:
HUMEID ABDUL REHMANE DAUD

SUPERVISORES:
 PROF. DR. DINIS LUIS JUIZO, ENG.
 ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO:
ANEXO 8.3
ZMC UNIDADE 7 - IDENTIFICAÇÃO DOS NÓS

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
---	Humeid			1:3200	12.12.2024
	FOLHA N.º	DESENHO N.º			
REV					



NOTAS:

Todas as dimensões estão em metros;

LEGENDA:

-  Macromedidores
-  Nós de conexão
-  Conduitas
-  Indica o sentido do escoamento

REFERÊNCIA DO DESENHO :
 - ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, LOCALIZADA NA
 ÁREA OPERACIONAL DE CHAMANCULO- CIDADE DE MAPUTO

REV	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF.	APROV.

REVISÃO

INSTITUIÇÃO:
 **UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO:
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

**TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO
 PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO**

ESTUDANTE:
HUMEID ABDUL REHMANE DAUD

SUPERVISORES:
 PROF. DR. DINIS LUIS JUIZO, ENG.
 ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO:
ANEXO 8.4
ZMC UNIDADE 7 - IDENTIFICAÇÃO DAS CONDUTAS

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
---	Humeid			1:3200	12.12.2024
	FOLHA N.º	DESENHO N.º			
REV					



AWWA Free Water Audit Software v6.0

FWAS v6.0

American Water Works Association Copyright © 2020, All Rights Reserved.

This spreadsheet-based water audit tool is designed to help quantify and track water losses associated with water distribution systems and identify areas for improved efficiency and cost recovery. It provides a "top-down" summary water audit format and is not meant to take the place of a full-scale, comprehensive water audit format. Auditors are strongly encouraged to refer to the most current edition of AWWA M36 Manual for Water Audits for detailed guidance on the water auditing process and targeting loss reduction levels. This tool contains several separate worksheets. Sheets can be accessed using the tabs at the bottom of the screen, or by clicking the TOC links below.

Table of Contents (TOC)

- Start Page** The current sheet. Enter contact information and basic audit details.
- Worksheet** Enter the required data on this worksheet to calculate the water balance and data grading.
- Interactive Data Grading** Answer questions about operational practices for each audit input, and the data validity grades will automatically populate.
- Dashboard** Review NRW components, performance indicators and graphical outputs to evaluate the results of the audit.
- Notes** Enter notes to explain how values were calculated, document data sources, and related information about data management practices.
- Blank Sheet** By popular demand! A blank sheet. The world is your canvas.
- Water Balance** The values entered in the Worksheet automatically populate the Water Balance.
- Loss Control Planning** Use this sheet to interpret the results of the audit validity score and performance indicators.
- Definitions** Use this sheet to understand the terms used in the audit process.
- Service Connection Diagram** Diagrams depicting possible customer service connection line configurations.
- Acknowledgements** Acknowledgements for development of the AWWA Free Water Audit Software v6.0.

AWWA Web Resources for Water Loss Control

<https://www.awwa.org/Resources-Tools/Resource-Topics/Water-Loss-Control>

Items referenced in the Free Water Audit Software v6.0 on the web:

- Data Grading Matrix v6.0
- Example Water Audit v6.0
- Water Audit Compiler v6.0
- AWWA Reports on Performance Indicators
- M36 Manual

If you have questions or comments regarding this software please contact us at: wlc@awwa.org

Enter Basic Information

Name of Utility:	Humeid Abdul Rehmane Daud	
Name of Contact Person:	Humed Abdul Rehmane Daud	
Email:	humeid_daud@outlook.com	
Telephone Ext.:	840135575	258
City/Town/Municipality:	Cidade de Maputo	
State / Province:	Other (enter custom value below)	
Other State/Province:	Cidade de Maputo	
Country:	Moçambique	
Audit Preparation Date:	Aug 27 2024	
Audit Year:	2022	
Audit Year Label:	Calendar	(Fiscal, Calendar, etc)
Audit Period Start Date:	Jan 01 2022	
Audit Period End Date:	Dec 31 2022	
Volume Reporting Units:	Megalitres (thousand cubic metres)	
Water System Structure:	Retail	
Water Type:	Potable Water	
System ID Number:		
Validator Name/ID:		
Validator Email:	humeid_daud@outlook.com	
Estimated Total Population Served by Water Utility:	6,595	

Key of Input Acronyms In order of appearance in the Worksheet

- VOS** Volume from Own Sources
- VOSEA** VOS Error Adjustment
- WI** Water Imported
- WIEA** WI Error Adjustment
- WE** Water Exported
- WEEA** WE Error Adjustment
- BMAC** Billed Metered Authorized Consumption
- BUAC** Billed Unmetered Authorized Consumption
- UMAC** Unbilled Metered Authorized Consumption
- UUAC** Unbilled Unmetered Authorized Consumption
- SDHE** Systematic Data Handling Errors
- CMI** Customer Metering Inaccuracies
- UC** Unauthorized Consumption
- Lm** Length of mains
- Nc** Number of service connections
- Lp** Average length of (private) customer service line
- AOP** Average Operating Pressure
- CRUC** Customer Retail Unit Charge
- VPC** Variable Production Cost

Color Key

User input Calculated Optional default

Guidance for the Worksheet

Choosing to enter unit of **percent** or **volume** (applies to VOSEA, WIEA, WEEA, CMI)

choose entry option:

1.00%	percent	or
	volume	25.000

Choosing to enter **default** or **custom input** (applies to UUAC, SDHE, UC)

choose entry option:

0.25%	default	or
	custom	75.000

Guidance for the Interactive Data Grading

Use acronym buttons in IDG header to navigate among inputs. Acronym Key above. White = needs answers, orange = complete, clear = not required. Example below.

VOS	VOSEA	WI	WIEA	WE	WEEA	BMAC	BUAC	UMAC	UUAC
SDHE	CMI	UC	Lm	Nc	Lp	AOP	CRUC	VPC	

After clicking an acronym button, answer all visible questions in the order they're presented, choosing best-fit answer

Grade will populate when all visible questions are complete for an input

<input type="text"/>
7

Limiting

The limiting criteria will be labeled along the right. If only 1 limiting criterion is shown, improving on that criterion will achieve a higher data grade. If multiple limiting criteria are shown, improving on *each* limiting criterion is necessary to achieve a higher data grade. A complete inventory of data grading criteria is available in the Data Grading Matrix v6.0 (see web resources)

NOTAS:

Todas as dimensões estão em metros;

LEGENDA:

REFERÊNCIA DO DESENHO:

- ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, LOCALIZADA NA ÁREA OPERACIONAL DE CHAMANCULO- CIDADE DE MAPUTO

REV	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF	APROV

REVISÃO

INSTITUIÇÃO: **UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO: **LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL**

TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO

ESTUDANTE: **HUMEID ABDUL REHMANE DAUD**

SUPERVISORES:
PROF. DR. DINIS LUIS JUIZO, ENG.
ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO: **ANEXO 8.5 FOLHA DE INÍCIO - AWWA FREE AUDIT SOFTWARE**

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
Humeid	Humeid	Humeid	Humeid	1:3200	12.12.2024
---	FOLHA N.º	DESENHO N.º			

REV	00				

AWWA Free Water Audit Software: Worksheet FWAS v6.0
American Water Works Association

Water Audit Report for: **Humeid Abdul Rehmane Daud**
 Audit Year: **2022** **Jan 01 2022 - Dec 31 2022** **Calendar**

To access definitions, click the input name
 Click 'n' to add notes
 Click 'g' to determine data validity grade
 To edit water system info: [go to start page](#)
 All volumes to be entered as: MEGALITRES (THOUSAND CUBIC METRES) PER YEAR
 Water Supplied Error Adjustments
 choose entry option:

WATER SUPPLIED

VOS	Volume from Own Sources:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="150.390"/>	ML/Yr	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="9"/>	<input type="text" value="percent"/>	VOSEA
WI	Water Imported:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="n/a"/>		ML/Yr			WIEA
WE	Water Exported:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="n/a"/>		ML/Yr			WEEA

WATER SUPPLIED: ML/Yr

AUTHORIZED CONSUMPTION

BMAC	Billed Metered:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="135.710"/>	ML/Yr			
BUAC	Billed Unmetered:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="n/a"/>		ML/Yr			
UMAC	Unbilled Metered:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="n/a"/>		ML/Yr			
UUAC	Unbilled Unmetered:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="0.339"/>	ML/Yr			

AUTHORIZED CONSUMPTION: ML/Yr

Default option selected for Unbilled Unmetered, with automatic data grading of 3
 choose entry option:

WATER LOSSES

WATER LOSSES: ML/Yr

Apparent Losses

Default option selected for Systematic Data Handling Errors, with automatic data grading of 3
 choose entry option:

SDHE	Systematic Data Handling Errors:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="0.339"/>	ML/Yr	<input type="text" value="0.25%"/> <input type="text" value="default"/>	
CMI	Customer Metering Inaccuracies:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="0.000"/>	ML/Yr	<input type="text" value="percent"/>	<input type="text" value="under-registration"/>
UC	Unauthorized Consumption:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="0.339"/>	ML/Yr	<input type="text" value="0.25%"/> <input type="text" value="default"/>	

Default option selected for Unauthorized Consumption, with automatic data grading of 3
Apparent Losses: ML/Yr

Real Losses

Real Losses: ML/Yr

WATER LOSSES: ML/Yr

NON-REVENUE WATER

NON-REVENUE WATER: ML/Yr

SYSTEM DATA

Lm	Length of mains:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="3.5"/>	kilometers	(including fire hydrant lead lengths)
Nc	Number of service connections:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="1,319"/>		(active and inactive)
	Service connection density:		<input type="text" value="378"/>	conn./km main	

Are customer meters typically located at the curbstop/property line?
 Average length of (private) customer service line: metres (average distance between property line and meter)

AOP Average Operating Pressure: metres (head)

COST DATA

CRUC	Customer Retail Unit Charge:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="9"/>	<input type="text" value="\$10.00"/>	\$/1000 litres	Total Annual Operating Cost
VPC	Variable Production Cost:	<input type="text" value="n"/> <input type="text" value="g"/> <input type="text" value="9"/>	<input type="text" value="\$10.00"/>	\$/Megalitre	

WATER AUDIT DATA VALIDITY TIER:

***** The Water Audit Data Validity Score is in Tier III (51-70). See Dashboard tab for additional outputs. ***** [go to dashboard](#)

A weighted scale for the components of supply, consumption and water loss is included in the calculation of the Water Audit Data Validity Score

PRIORITY AREAS FOR ATTENTION TO IMPROVE DATA VALIDITY:
 Based on the information provided, audit reliability can be most improved by addressing the following components:

1: Volume from Own Sources (VOS)
2: Billed Metered (BMAC)
3: Customer Metering Inaccuracies (CMI)

KEY PERFORMANCE INDICATOR TARGETS:
 OPTIONAL: If targets exist for the operational performance indicators, they can be input below:

Unit Total Losses:	<input type="text" value=""/>	litres/conn/day
Unit Apparent Losses:	<input type="text" value=""/>	litres/conn/day
Unit Real Losses ^A :	<input type="text" value=""/>	litres/conn/day
Unit Real Losses ^B :	<input type="text" value=""/>	litres/km/day

If entered above by user, targets will display on KPI gauges (see Dashboard)

NOTAS:

Todas as dimensões estão em metros;

LEGENDA:

REFERÊNCIA DO DESENHO :

PÁGINA INICIAL DO SOFTWARE AWWA FREE AUDIT
 INTRODUÇÃO DE DADOS TÉCNICOS E DE FACTURAÇÃO

REV	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF.	APROV.

REVISÃO

INSTITUIÇÃO: **UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO: **LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL**

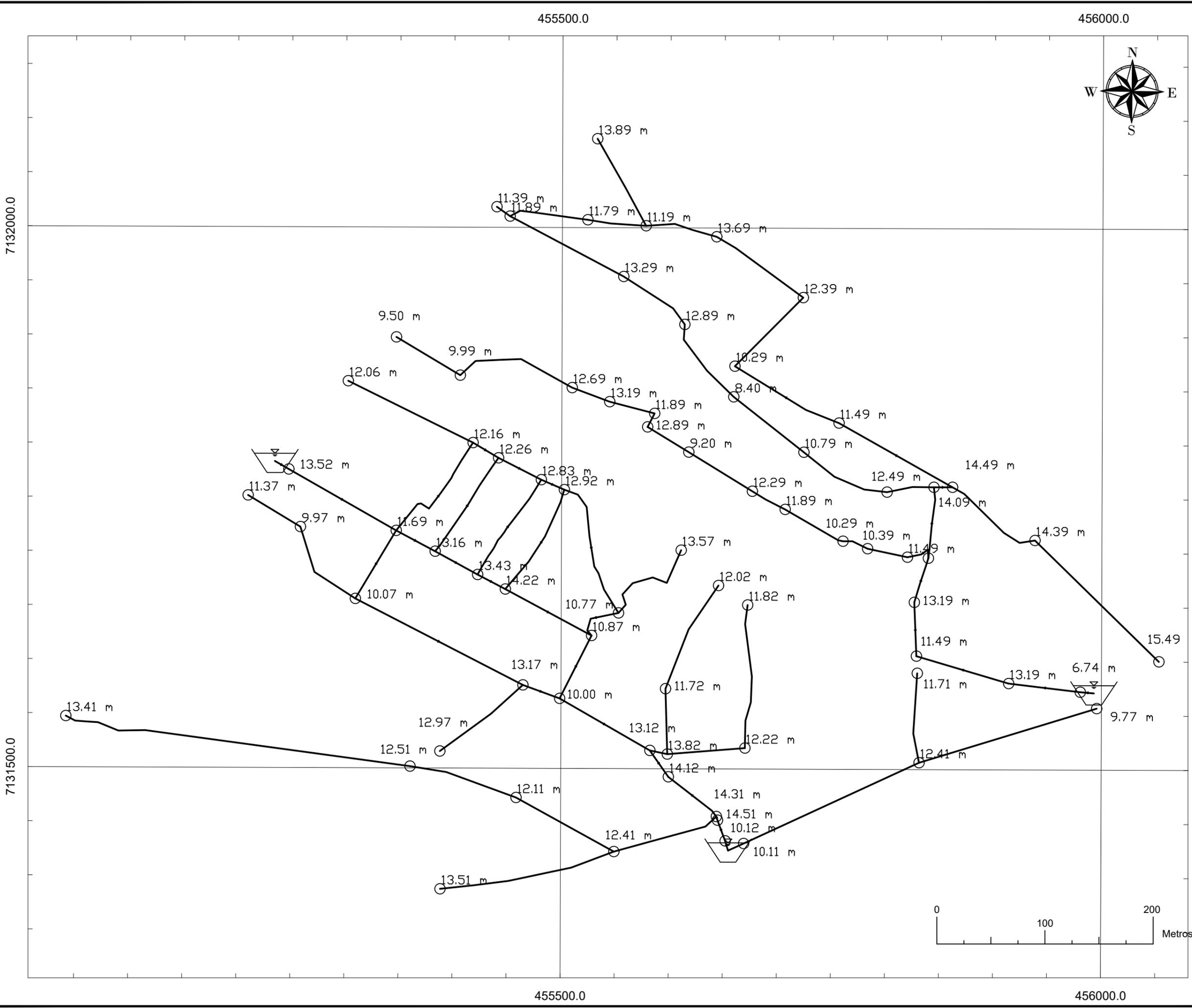
TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO

ESTUDANTE: **HUMEID ABDUL REHMANE DAUD**

SUPERVISORES:
 PROF. DR. DINIS LUIS JUIZO, ENG.
 ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO: **ANEXO 8.6**
PÁGINA- INTRODUÇÃO DE DADOS TÉCNICOS- AWWA FREE AUDIT SOFTWARE

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
---	Humeid			S/E	12.12.2024
	FOLHA N.º	DESENHO N.º			
REV	00				



NOTAS:

Todas as dimensões estão em metros;

LEGENDA:

-  Macromedidores
-  Nós de conexão
-  Conduitas
-  Indica o sentido do escoamento

REFERÊNCIA DO DESENHO:
 - ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, LOCALIZADA NA
 ÁREA OPERACIONAL DE CHAMANCULO- CIDADE DE MAPUTO

REV.	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF.	APROV.

INSTITUIÇÃO:
 **UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO:
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

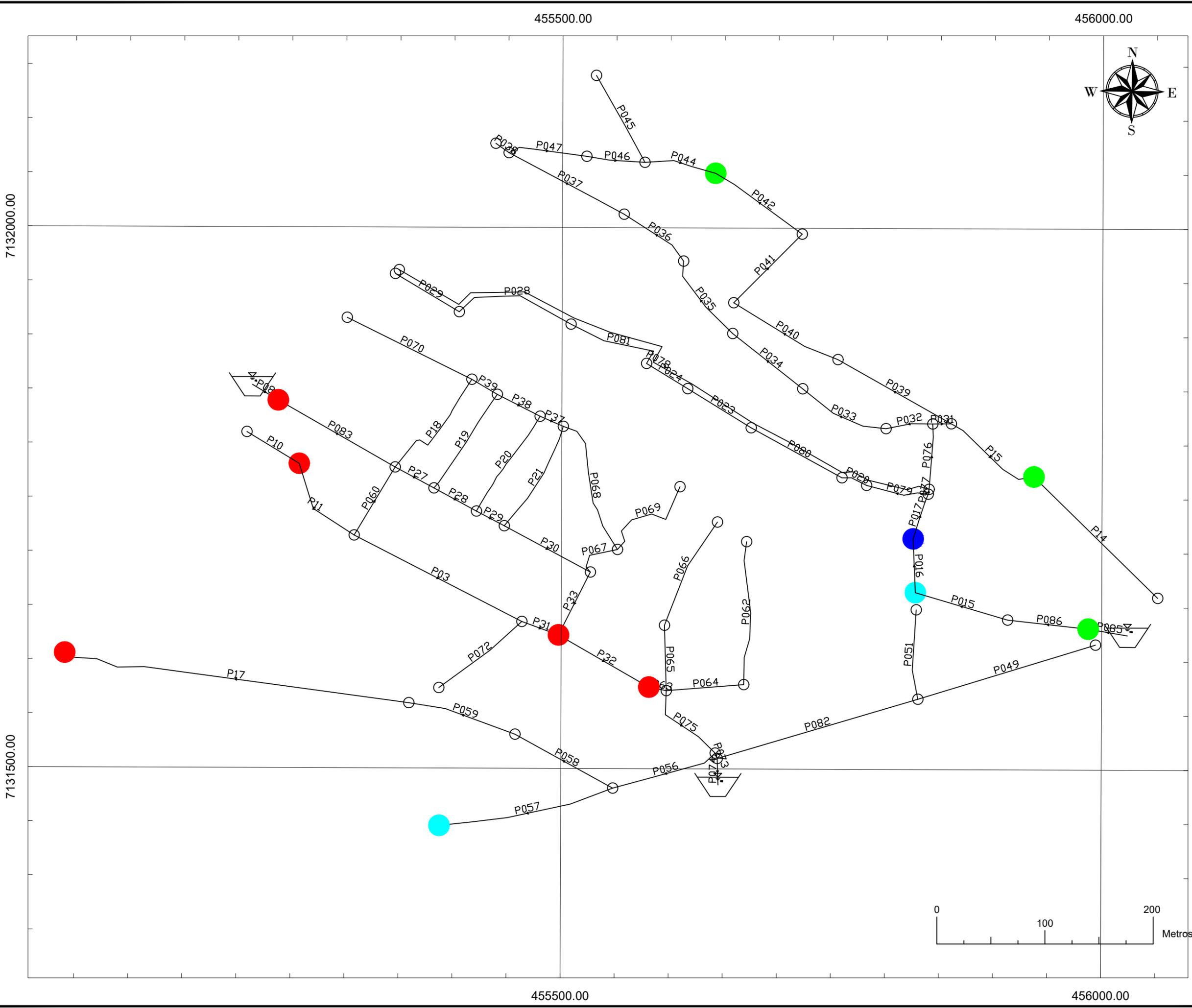
**TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO
 PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO**

ESTUDANTE:
HUMEID ABDUL REHMANE DAUD

SUPERVISORES:
 PROF. DR. DINIS LUIS JUIZO, ENG.
 ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO:
ANEXO 8.7
ZMC UNIDADE 7 - PRESSÕES MÉDIAS-2022

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
---	Humeid	---	---	1:3200	12.12.2024
---	FOLHA N.º	DESENHO N.º			
REV					



NOTAS:
 Todas as dimensões estão em metros;

- LEGENDA:**
- Macromedidores
 - Nós de conexão
 - Conduitas
 - Indica o sentido do escoamento
 - Nó i

- 0,50 < coeficiente de vazão < 1,50
- 1,50 < coeficiente de vazão < 2,50
- 2,50 < coeficiente de vazão < 3,50
- 3,50 < coeficiente de vazão < 4,50

REFERÊNCIA DO DESENHO:
 - ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, LOCALIZADA NA ÁREA OPERACIONAL DE CHAMANCULO- CIDADE DE MAPUTO

REV	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF.	APROV.

REVISÃO

INSTITUIÇÃO: **UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO: **LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL**

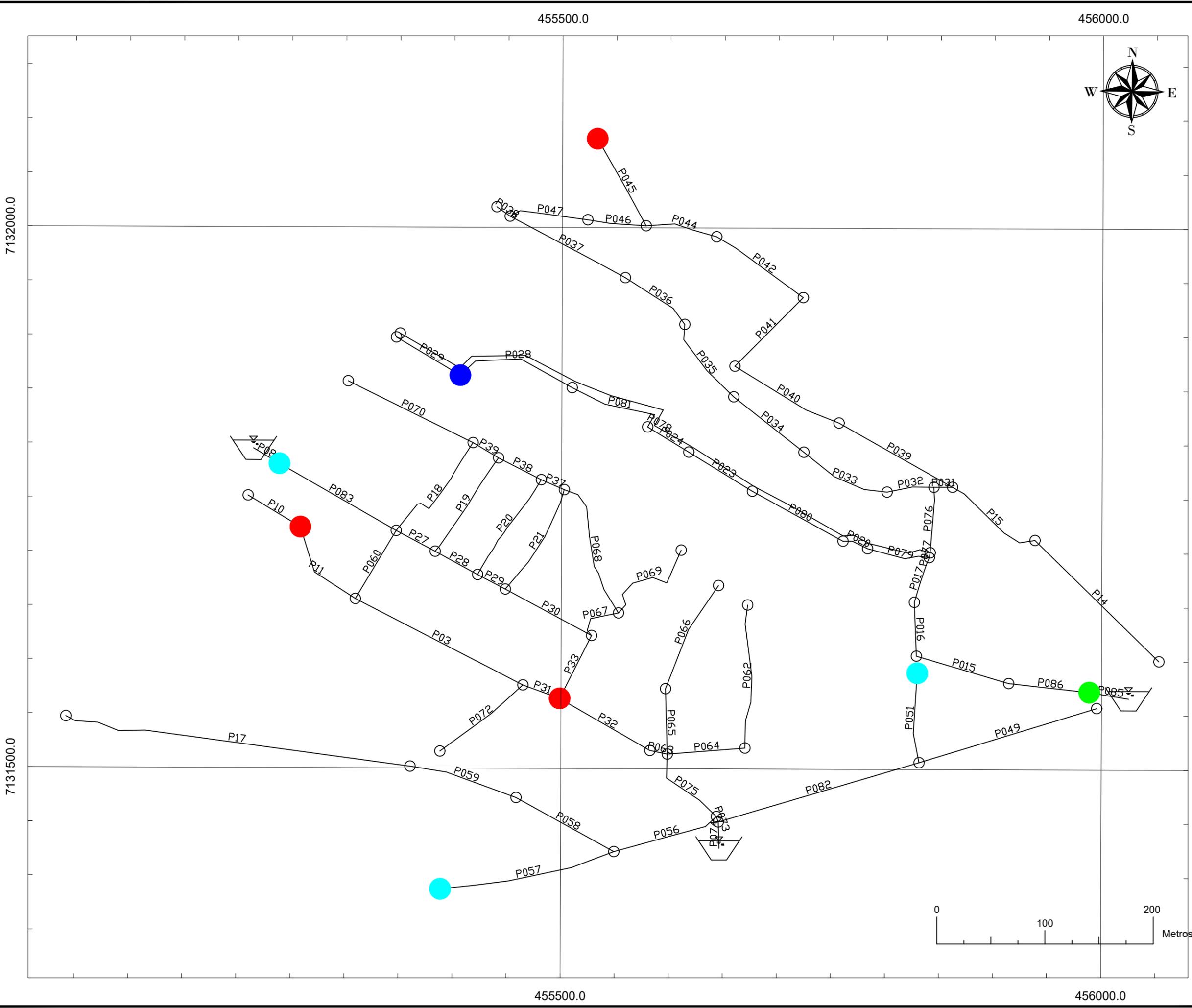
TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO

ESTUDANTE: **HUMEID ABDUL REHMANE DAUD**

SUPERVISORES:
 PROF. DR. DINIS LUIS JUIZO, ENG.
 ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO: **ANEXO 8.8**
ZMC UNIDADE 7 - FUGAS ENTRE 00:00-03:00

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
---	Humeid	---	---	1:3200	12.12.2024
---	FOLHA Nr.	DESENHO Nr.			
REV					



NOTAS:
 Todas as dimensões estão em metros;

- LEGENDA:**
- Macromedidores
 - Nós de conexão
 - Conduitas
 - Indica o sentido do escoamento
 - Nó i

- 0,50 < coeficiente de vazão < 1,50
- 1,50 < coeficiente de vazão < 2,50
- 2,50 < coeficiente de vazão < 3,50
- 3,50 < coeficiente de vazão < 4,50

REFERÊNCIA DO DESENHO:
 - ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, LOCALIZADA NA
 ÁREA OPERACIONAL DE CHAMANCULO- CIDADE DE MAPUTO

REV	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF.	APROV.

INSTITUIÇÃO:
UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO:
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

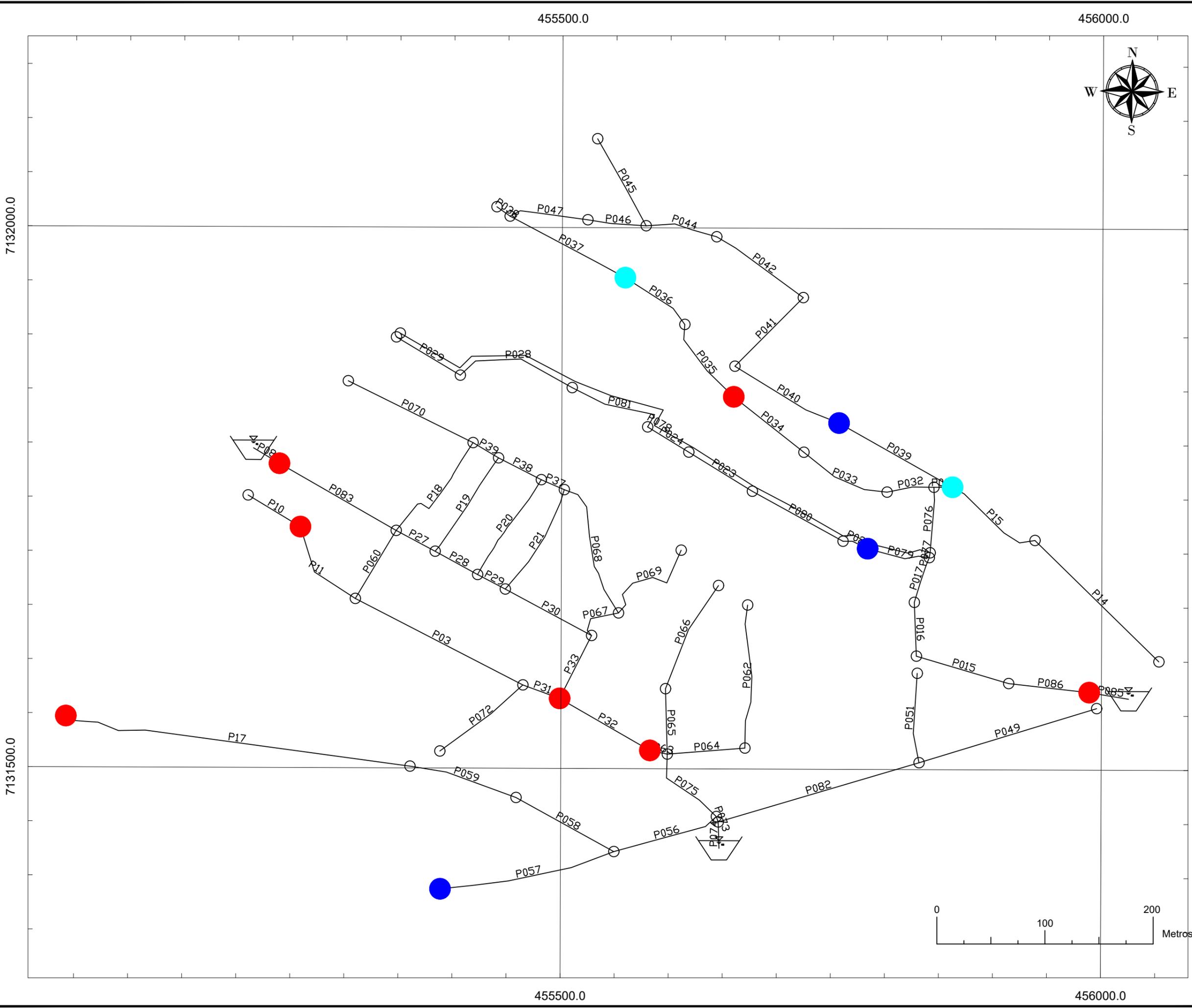
**TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO
 PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO**

ESTUDANTE:
HUMEID ABDUL REHMANE DAUD

SUPERVISORES:
 PROF. DR. DINIS LUIS JUIZO, ENG.
 ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO:
ANEXO 8.9
ZMC UNIDADE 7 - FUGAS ENTRE 13:00-15:00

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
---	Humeid	---	---	1:3200	12.12.2024
---	FOLHA Nr.	DESENHO Nr.			
REV					



NOTAS:
 Todas as dimensões estão em metros;

- LEGENDA:**
- Macromedidores
 - Nós de conexão
 - Conduitas
 - Indica o sentido do escoamento
 - Nó i

- 0,50 < coeficiente de vazão < 1,50
- 1,50 < coeficiente de vazão < 2,50
- 2,50 < coeficiente de vazão < 3,50
- 3,50 < coeficiente de vazão < 4,50

REFERÊNCIA DO DESENHO:
 - ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, LOCALIZADA NA
 ÁREA OPERACIONAL DE CHAMANCULO- CIDADE DE MAPUTO

REV	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF.	APROV.

INSTITUIÇÃO:
UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

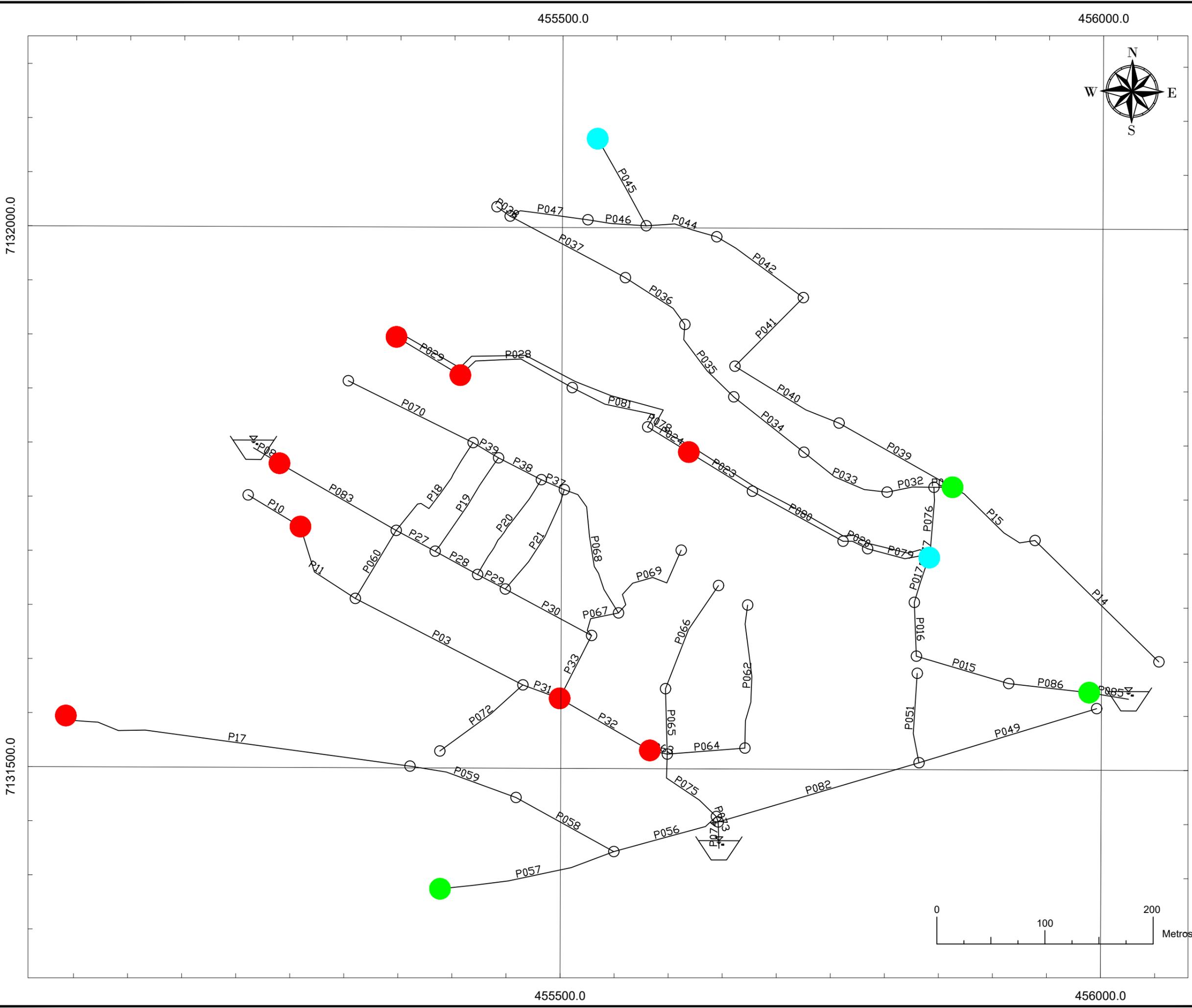
CURSO:
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

**TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO
 PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO**

ESTUDANTE:
HUMEID ABDUL REHMANE DAUD
SUPERVISORES:
 PROF. DR. DINIS LUIS JUIZO, ENG.
 ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO:
ANEXO 8.10
ZMC UNIDADE 7 - FUGAS ENTRE 16:00-19:00

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
---	Humeid	---	---	1:3200	12.12.2024
---	FOLHA N.º	DESENHO N.º			
REV					



NOTAS:
 Todas as dimensões estão em metros;

- LEGENDA:**
- Macromedidores
 - Nós de conexão
 - Conduitas
 - Indica o sentido do escoamento
 - Nó i

- 0,50 < coeficiente de vazão < 1,50
- 1,50 < coeficiente de vazão < 2,50
- 2,50 < coeficiente de vazão < 3,50
- 3,50 < coeficiente de vazão < 4,50

REFERÊNCIA DO DESENHO:
 - ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO UNIDADE 7, LOCALIZADA NA
 ÁREA OPERACIONAL DE CHAMANCULO- CIDADE DE MAPUTO

REV	DATA	DESCRIÇÃO	DES.	VERIF.	APROV.

INSTITUIÇÃO:
UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO:
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

**TRABALHO DE LICENCIATURA COMO REQUISITO
 PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO**

ESTUDANTE:
HUMEID ABDUL REHMANE DAUD
SUPERVISORES:
 PROF. DR. DINIS LUIS JUIZO, ENG.
 ENG. JOAQUIM SAMUEL BIÉ, MSc

TÍTULO DO DESENHO:
ANEXO 8.11
ZMC UNIDADE 7 - FUGAS ENTRE 20:00-23:00

PROJECTOU	DES.	VERIF.	APROV.	ESCALA	DATA
---	Humeid			1:3200	12.12.2024
	FOLHA N.º				
	DESENHO N.º				