



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

MESTRADO EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

**Optimização Operacional de Sistemas Hidráulicos para redução de perdas –
Aplicação ao Sistema de Abastecimento de Água da Cidade de Xai-Xai**

Joaquim Samuel Bié

Maputo, Outubro de 2021

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

MESTRADO EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

**Optimização Operacional de Sistemas Hidráulicos para redução de perdas –
Aplicação ao Sistema de Abastecimento de Água da Cidade de Xai-Xai**

Joaquim Samuel Bie

Estudante nr: 20176455

Dissertação Científica a ser apresentado á Universidade Eduardo Mondlhane – Faculdade de Engenharia para obtenção do Grau Académico de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Doutor Dinis Juizo, Eng^o.

Maputo, Outubro de 2021

Índice	
DECLARAÇÃO DE HONRA	IV
DEDICATÓRIA	V
AGRADECIMENTOS	VI
EPÍGRAFE	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE GRÁFICOS	IX
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMECLATURAS e ABREVIATURAS	X
RESUMO	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Formulação do Problema	3
1.2 Justificativa	4
1.3 Objectivos	5
1.3.1 Geral	5
1.3.2 Específicos	6
1.4 Hipóteses de pesquisa	6
2 CAPITULO II. METODOLOGIA	7
2.1 Caracterização da Pesquisa	7
2.2 Métodos de Abordagem	7
2.3 Métodos de procedimentos	7
3 CAPÍTULO III. ESTADO DE ARTE SOBRE A REDUÇÃO DE PERDAS, OPTIMIZAÇÃO OPERACIONAL E MODELAÇÃO HIDRÁULICA	10
3.1 Conceitualização	10
3.2 Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento de Água	11
3.3 Optimização Operacional de SAA	14
3.4 Modelação Hidráulica	16
3.4.1 Calibração de modelos hidráulicos	19
3.4.2 Ferramentas de Modelação Aplicadas na Pesquisa	22
3.4.2.1 Visão geral do EPANET 2.0	22
3.4.2.2 Visão geral do WATERGEMS V8.i	23
3.4.2.2.1 Formulação da detecção de Fugas no Darwin Calibrator da WATERGEMS	25
4 CAPÍTULO IV. ÁREA DE ESTUDO	27
4.1 Generalidades	27

4.1.1	Contexto Histórico da Cidade de Xai-Xai.....	27
4.1.2	Aspectos físicos Naturais da Cidade de Xai-Xai.....	28
4.2	Localização da Área de Estudo.....	29
4.3	Sistema de Abastecimento de Água da Cidade de Xai-Xai	30
4.3.1	Subsistema Do Bairro 13	32
4.4	Delimitação da Área de estudo	33
4.5	Recolha e Tratamento da Informação para o Modelo da Área do Estudo.....	35
4.5.1	Levantamento de valores observados.....	35
5	CAPÍTULO V. MODELAÇÃO HIDRÁULICA DA REDE DO BAIRRO 13	40
5.1	Modelo hidráulico Inicial.	40
5.2	Simulação Hidráulica do Modelo da Rede Do BAIRRO 13.....	42
5.2.1	Análise comparativa dos resultados do Modelo Vs Observados.....	44
5.2.1.1	Registo de Pressão.....	44
5.2.1.2	Registo de caudal.....	46
5.3	Calibração do Modelo Hidráulico da Rede de Distribuição do Sistema do BAIRRO 13... 47	
5.3.1	Registo de Pressão.....	47
5.3.2	Registo de caudal.....	48
5.4	Resultados da Simulação Hidráulica Do Modelo Calibrado.....	50
6	CAPÍTULO VI. OPTIMIZAÇÃO DO MODELO DA REDE DO BAIRRO 13.....	53
6.1	Nível de perdas de água na rede do Subsistema do BAIRRO 13.....	53
6.2	Potenciais locais como fontes de fugas de água na rede do BAIRRO 13	54
7	CAPÍTULO VII. ACÇÕES PROPOSTAS PARA O CONTROLE ACTIVO DE PERDAS NA REDE DO BAIRRO 13.....	60
7.1	Acções gerais.....	60
7.2	Acções associadas a redução de Perdas Físicas	61
7.3	Acções associadas a redução de Perdas aparentes (comerciais)	62
8	CAPÍTULO VIII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	64
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
10	APÊNDICES	68

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Joaquim Samuel Bié, 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.

Autor

(Joaquim Samuel Bié)

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra aos meus filhos Sarinha, Vanito, Kim e o novinho Shai que veio mesmo pregar este momento para mim. Destaque especial para a minha esposa e companheira de sempre e de longa data Marta Bié pelo amor, carinho, força, e dedicação prestada em todos momentos bons e maus, pela paciência e espera nas noites longas, pelo Sacrifício, Incentivo e Apoio na materialização deste sonho. Meus Amores, amo vocês, são a razão da minha vida, por isso, este trabalho e o curso é dedicado a vocês. Deus é pai!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Eduardo Mondlane – Faculdade de Engenharia e todo corpo docente do Pós Graduação na Especialidade de Hidráulica e Recursos Hídricos pela oportunidade do aprendizado tido durante a formação. Destaque Especial vai ao Prof. Doutor Dinis Juízo que com alto grau de profissionalismo e paciência, soube dedicar seu tempo e conhecimento, orientando me para o alcance dos objectivos deste trabalho de culminação do curso.

Aos meus pais Samuel Magumane Bié e Sara Joaquim Gumbane pela vida, por terem me dado a oportunidade de pisar pela primeira vez este mundo maravilhoso e controverso, pelos ensinamentos da vida que me tem dado até hoje e sobretudo pelo carinho e força para poder encerrar o dia-a-dia da vida.

Agradeço a toda minha família, meus irmãos Zacarias, Samuel, Maravatsi, Clara, Rosta, Ezequiel, Salomão, Carlitos, Flora e Nanda, as minhas cunhadas Catita, Sofia, Palmira, meus tios, primos, sobrinhos, e netos pela companhia e ternura em todos convívios familiares. Especial destaque para o Mano Zaca pelo constante empurrão no gosto pela escola e acompanhamento minucioso em todo meu perfil estudantil.

Aos Colegas do FIPAG, Dr. Pedro Paulino (Antigo Director Geral do FIPAG), Dr. Elidio Khossa – Director dos Serviços Centrais de Operações por terem permitido e dado força que fosse frequentar o mestrado, mesmo com o elevado índice das demandas profissionais, ao Eng. Jaime Matsinhe pela assistência, aos colegas da Área Operacional de Xai-Xai pelo acolhimento, apoio prestado e contributo na materialização do trabalho de campo, especial destaque ao Director Operacional de Xai-Xai - dr. Francisco Tamele, aos colegas, Joaquim Cuna, Joaquim Nhancume, Sérgio Malembane e todos aqueles que dedicaram seu tempo para tornar realidade cada actividade prevista no âmbito da pesquisa..

A todos colegas do curso pela contribuição na formação e convívio dentro e fora do contexto estudantil.

A todos vocês vai o meu muito KHANIMAMBO!

EPÍGRAFE

“Tudo o que a mente humana pode conceber e acreditar, poderá alcançar” - Napoleon Hill

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Balanço Hidrico de acordo com a definição da IWA. (Fonte : Sardinha et al, 2017)	12
Figura 2: Fluxograma das principais influências no SAA. Fonte : Sardinha et al, 2017	14
Figura 3: Mapa de localização da cidade de Xai-Xai	30
Figura 4: Layout geral do SAA de Xai-Xai Fonte: (Fonte: FIPAG Região Sul- Cadastro Técnico 2017) 31	
Figura 5: Representação Esquemática do Subsistema do Bairro 13 (Fonte: FIPAG Região Sul- Cadastro Técnico 2017)	33
Figura 6- Representação gráfica fugas/Km de Rede do SAA de Xai-Xai. (Fonte: Autor)	34
Figura 7: Pontos de observação de dados. Fonte: Autor, adaptado do Google earth.....	36
Figura 8: Princípio de funcionamento do Fluxus F601 para a medição de caudal	37
Figura 9: Fluxos 601 durante o processo de medição de caudal nos trechos na rede do BAIRRO 13 – Cidade de Xai-Xai.....	38
Figura 10: Manómetro analógico instalado	39
Figura 11: Equipa envolvida no processo de medição.....	39
Figura 12: Modelo Hidráulico da Rede do BAIRRO 13 – SAA Xai-Xai. Fonte EPANET 2.0	41
Figura 13: Resultado da simulação do modelo da rede do BAIRRO 13. Fonte:Modelo criado no WATERGEMS da Bentley	42
Figura 14: Pontos de verificação dos dados Fonte:: Extraído do Modelo do B13 no Software WATERGEMS	44
Figura 15: Layout da pressão e caudal da rede do Sistema do BAIRRO 13 - (Fonte.WATERGEMS- Modelo calibrado).....	50
Figura 16: Layout da rede do BAIRRO 13 com Valores de pressão às 2h de Madrugada. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo.....	52
Figura 17: Layout da rede do BAIRRO 13 com Valores de pressão às 11h da manhã. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo.....	52
Figura 18: Nós com probabilidade de ocorrência de fugas às 02h. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo	56
Figura 19: Nós com probabilidade de ocorrência de fugas às 03h. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo	56
Figura 20: Nós com probabilidade de ocorrência de fugas às 0h. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo	57
Figura 21: Nós com probabilidade de ocorrência de fugas às 22 h. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo	58
Figura 22: Nós com probabilidade de ocorrência de fugas das 06h às 18h. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução das perdas 2015/2019 SAA Xai-Xai. (Fonte: FIPAG Região Sul - Relatório Anual 2019)	32
Gráfico 2: Balanço da água no sistema. Fonte: Software WATERGEMS	43
Gráfico 3: Gráfico de correlação de pressão modelo vs observados (Fonte.WATERGEMS-Modelo hidráulico do Bairro 13).....	45
Gráfico 4: Gráfico de correlação dos valores de caudal do modelo vs observados (Fonte.WATERGEMS-Modelo hidráulico do Bairro 13)	46
Gráfico 5: Representação do gráfico de correção da pressão (Fonte.WATERGEMS-Modelo calibrado do Bairro 13).....	48
Gráfico 6: Gráfico ilustrativo de correlação da calibração do Caudal. (Fonte.WATERGEMS-Modelo calibrado do Bairro 13)	49
Gráfico 7: Balanço da água modelo calibrado. (Fonte.WATERGEMS-Modelo calibrado).....	51
Gráfico 8: Gráfico do Caudal modelo vs caudal observado na saída de depósito do BAIRRO 13. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Softwares comerciais de Modelagem Hidráulica: Fonte: ASCE (2004) apud Rodrigues (2013)	17
Tabela 2: Indicadores Operacionais SAA Xai-Xai: (Fonte: FIPAG Região Sul - Relatório Anual 2019) .	31
Tabela 3: Histórico de fugas 2º semestre 2019 - SAA de Xai-Xai. (Fonte: FIPAG Xai-Xai – 2019)	34
Tabela 4: Características do medidor portátil Fluxus F601 usada para medições de caudal no campo.....	37
Tabela 5: Características técnicas do Manómetro de Pressão usado para medição dos dados de campo ...	38
Tabela 6: Elementos constituintes do Modelo Hidráulico da Rede do BAIRRO 13 da cidade de Xai-Xai (Fonte: EPANET 2.0)	40
Tabela 7: Tabela de correlação de pressão modelo vs observados (Fonte.WATERGEMS-Modelo hidráulico do Bairro 13).....	45
Tabela 8: Dados comparativos de caudal do modelo vs Observado (Fonte.WATERGEMS-Modelo hidráulico do Bairro 13).....	46
Tabela 9: Valores calibrados de pressão. (Fonte.WATERGEMS-Modelo calibrado do Bairro 13)	48
Tabela 10: Dados comparativos da calibração de caudal nos troços de verificação. (Fonte.WATERGEMS-Modelo calibrado do Bairro 13).....	49

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMECLATURAS e ABREVIATURAS

AG – Algoritmo Genético

ANF – Água não facturada

ASCE – American Society of Civil Engineers

AUTOCAD – Software do tipo CAD para desenho auxiliado por computador

AWWA - American Water Works Association

CD – Centro Distribuidor

CMCXX – Conselho Municipal da Cidade de Xai-Xai

ETA – Estação de Tratamento de Água

IWA – Institute of Water Association

EPANET – Simulador Hidráulico desenvolvido pela EPA

FIPAG – Fundo de Investimento e Património de Abastecimento de Água

GIS – Sistema de informação Geográfica

GPS - Global positioning system

HDPE – High Density Polyethylene

PhC – Software de Gestão

PVC – Poly Vinyl Chloride

RNV – Reservatório de Nível Variável

RNF – Reservatório de Nível Fixo

SCADA – Supervision and Control and Data Acquisition

USEPA – United State Environmental Protection Association

WATERCAD – Software de Modelação Hidráulica

WTG – WATERGEMS Simulador Hidráulico

WWAP – World Water Assessment Program – Unesco

ZMC – Zonas de Medição de Caudal

RESUMO

Nos últimos anos tem sido notória a escassez de água nas grandes cidades, facto que impulsiona o aumento da consciência e preocupação pela preservação dos recursos hídricos. A optimização de sistemas de abastecimento de água (SAA) surge como necessidade imperiosa de resposta, das entidades gestoras para garantir a continuidade de fornecimento deste recurso, com qualidade face a situação de aumento da demanda sem ou com poucos investimentos de expansão dos sistemas. A presente pesquisa apresenta um estudo de optimização da rede de distribuição do SAA da Cidade de Xai-Xai para a redução de perdas, através da aplicação de ferramentas de modelação hidráulica “O EPANET” para a construção do modelo hidráulico inicial e o “WATERGEMS” da Bentley para a optimização hidráulica da rede do subsistema do BAIRRO 13. Com a utilização da ferramenta DARWIN CALIBRATOR – LEAKEGE DETECTION do WATERGEMS foi possível identificar pontos críticos de rede com ocorrências de perdas de água em diferentes períodos de consumo e que orientam acções de intervenção imediata para a redução de uma parte das perdas. A cidade em estudo tem actualmente cerca de 30.000 clientes dos quais mais de 90% são domésticas. A qualidade do serviço tende a degradar-se devido ao aumento exponencial da população sem no entanto ser acompanhado com a expansão do serviço, as perdas de água tendem a aumentar estando acima de 50%. O sistema necessita de financiamentos para investimentos de reabilitação, expansão e aumento da eficiência operacional com vista a melhoria da qualidade do serviço prestado. O modelo desenvolvido revela que a Área de estudo apresenta dois diferentes períodos de consumo, um compreendido entre as 21h às 04h cujos consumos são baixos e as pressões são elevadas e variam entre 20 a 30 mca e o segundo período entre as 04h às 21h com consumos elevados e pressões baixas que variam entre 0 a 10mca. As perdas físicas de água são elevadas nas horas mortas, de baixo consumo quando a pressão na rede tende a aumentar daí que foi possível notar que existem muitos nós com indicação de maior probabilidade de ocorrências de fugas das 22h às 04h da manhã. A zona do Bairro Switinine na baixa da cidade revelou-se a que mais água perde segundo os resultados de simulação do modelo.

PALAVRAS CHAVES: Modelação, Optimização, redução de perdas, rede de distribuição, sistema de abastecimento de água

ABSTRACT

In recent years, water scarcity in large cities has been notorious, a fact that drives increased awareness and concern for the preservation of water resources. The optimization of water supply systems, emerges as an urgent need for a response from the management entities to guarantee the continuity of supply of this resource, with quality in view of the situation of increased demand without or with little investments to expand the systems. This research presents a study of optimization of the distribution network for Xai-Xai City water supply system for the reduction of losses, through the application of hydraulic modeling tools, the “EPANET” for the construction of the initial hydraulic model and the “WATERGEMS” for hydraulic optimization of the BAIRRO 13 subsystem network. Using the DARWIN CALIBRATOR - LEAKEGE DETECTION tool from WATERGEMS it was possible to identify critical network points with water losses occurrence at different consumption periods, becoming easy to guide the operational teams for timely intervention or repair. The city under this study has currently about 30.000 customers of which more than 90% are domestic. The quality of the service tends to deteriorate due to the exponential increase in the population without, however, being accompanied by the expansion of the service on one hand, and on the other water losses tend to increase, being currently above 50%. The system requires financing for investments in rehabilitation, expansion and increased operational efficiency in order to improve the quality of the service provided. The model developed reveals that the study area has two different consumption periods, one between 09pm to 04am whose consumptions are low and the pressures are high and are between 2 to 3 bars and the second period between 04am to 09pm with high consumptions and low pressures ranging from 0 to 1bar. The physical losses of water are high in the period of low consumption when the pressure in the network tends to increase. It was possible to notice that there are many nodes with an indication of a greater potencial of leakage from 10pm to 04am in the morning. The neighborhood of the Switinine district in the downtown area revealed to be the one that loses the most water according to the model's simulation results.

KEY WORDS: Modeling, Optimization, loss reduction, distribution network, water supply system

1. INTRODUÇÃO

“O crescimento exponencial da população que se estima evoluir dos actuais 7 mil milhões para 11 mil milhões de habitantes em todo mundo até ao final do século XXI, conjugado com a concentração populacional em grandes cidades sobretudo nas zonas costeiras, tenderá a aumentar o stresse hídrico em diversas áreas do globo, tornando a água doce um recurso cada vez mais escasso, que importa preservar e gerir com a máxima eficiência. Estima-se que, em 2050, cerca de metade da população mundial possa vir a sofrer com falta de água, pelo que esta temática revela se crucial, sendo objecto da preocupação dos governos e das mais importantes organizações internacionais.” (SARDINHA et all, 2017, p.9).

A redução das perdas de água nos sistemas urbanos de abastecimento de água constitui um factor determinante para melhoria de eficiência, implicando a adopção de uma atitude mais sustentável, através do recurso a novos métodos de gestão e a novas tecnologias que, tendencialmente, devem ser implementados pelas entidades gestoras de SAA, bem como pelos diversos stakeholders do sector da água para reduzir o desperdício da água.

Conforme RIGUETTO (2010), um sistema de abastecimento de água eficiente deve ser operado com menos custos de operação e manutenção, e com maior fiabilidade do serviço a toda carteira de clientes. Igualmente deve ser confiável no sentido de assegurar o abastecimento de água mesmo em condições adversas decorrentes de anomalias de funcionamento em diferentes órgãos do sistema.

No entanto, mudanças na bem estabelecida prática de engenharia, referente aos processos de gestão técnica de redes de distribuição de água vêm ocorrendo de forma surpreendente, influenciadas pelos sistemas modernos de gestão e facilidades tecnológicas. Durante a operação do sistema de distribuição de água, duas preocupações chamam atenção dos operadores e estudiosos do assunto: (i) as perdas de água na distribuição, e (ii) o custo de transporte na adução, representado principalmente pelo consumo de energia eléctrica.

É neste contexto que se desenvolveu o presente trabalho de pesquisa científica com objectivo de otimizar a rede de distribuição para a identificação de fontes de perdas de água no sistema de abastecimento de água da cidade de Xai-Xai, através da aplicação de softwares de modelação e optimização hidráulica, cuja estrutura da apresentação resume se nos seguintes capítulos:

- **CAPÍTULO I**, descreve os *aspectos introdutórios* compostos pela identificação e formulação do problema, definição de objectivos, justificativa e hipóteses de pesquisa.
- **O CAPÍTULO II** descreve a abordagem metodológica usada;
- Seguidamente **o CAPÍTULO III** debruça sobre a *revisão da literatura* na qual estabelece - se a discussão sobre a abordagem teórica relativa a modelação hidráulica, optimização operacional de sistema de abastecimento de água e redução de perdas tendo como base de apoio a aplicação das diferentes obras existentes na comunidade científica sobre o tema;
- Mais adiante, **o CAPÍTULO IV** é referente a descrição da **Área de Estudo**, sobretudo os aspectos associados a cidade de Xai-Xai, nomeadamente a **localização**, histórico e aspectos físico naturais da cidade incluindo a caracterização do sistema de abastecimento de água. Igualmente é feita a descrição dos critérios que nortearam a delimitação da área de estudo, escolha dos locais para levantamento dos dados de campo bem como a relação dos equipamentos usados para colecta da informação técnico operacional aplicada na pesquisa;
- No **CAPÍTULO V** apresentam - se os resultados do processo de *modelação* do SAA da área de estudo através da aplicação dos softwares de modelação que inclui a apresentação do modelo inicial, calibração automatizada pelo WATERGEMS e simulação do modelo calibrado;
- O **CAPÍTULO VI** apresenta os resultados do modelo calibrado e *optimizado* para identificação dos nós potenciais como fontes de perdas de água na rede do BAIRRO 13 do SAA de Xai-Xai, onde através da ferramenta *Leakege Detection* do Darwin Calibrator foi possível identificar no modelo os nós com alta probabilidade de ocorrência de perdas de água na rede do BAIRRO 13 do SAA Xai-Xai, o que de certa forma poderá facilitar o trabalho das equipas técnicas operacionais no combate ás perdas físicas em direccionar os locais a visitar para reparação de fugas em diferentes períodos de distribuição.
- O **CAPÍTULO VII**, apresenta as acções propostas para a redução de perdas na área de estudo. Sugere se a implementação de várias acções subdivididas em 03 principais grupos, nomeadamente: (i) acções gerais, (ii) acções associadas a redução de perdas físicas e (iii) acções para a redução de perdas aparentes.
- Por fim, **o CAPÍTULO VIII**, que descreve em síntese as principais conclusões e recomendações do estudo.

1.1 Formulação do Problema

A água é um recurso natural fundamental para a sobrevivência. O planeta Terra é coberto por aproximadamente 1,4 bilhão de km³ de água, sendo 97,5% de água salgada e 2,5% de água doce. Dessa pequena parte, quase 70% estão em geleiras e calotas polares.

A distribuição de água no mundo é um desafio existencial do Homem. Vários países travam disputas pelo acesso a água, enquanto outros sofrem as consequências da falta de abastecimento.

De acordo com MIQUELIN & SOLLER (2016), os sistemas de Abastecimento de água têm a função de fornecer água em quantidade e qualidade desejada a toda população para que as suas necessidades sejam atendidas.

SÍLVIA & MENDES (2015) referem que a escassez hídrica pela qual passam as grandes cidades, impulsionou o aumento da preocupação com a otimização de sistemas de abastecimento de água, por forma a assegurar a continuidade do fornecimento deste recurso para o consumidor em face ao exponencial crescimento das necessidades da água.

A constante e crescente preocupação pela necessidade de melhoria contínua do serviço de abastecimento de água prestado aos consumidores, com base nos sistemas existentes e sem envolvimento de investimentos em grande escala, tem de forma generalizada criado motivação para o desenvolvimento e implementação de estudos sobre a otimização dos sistemas de abastecimento de água, aplicando diversos métodos e técnicas adequadas para o efeito. Para as empresas gestoras de distribuição de água, um dos maiores desafios é a redução de perdas de água.

Em grande medida, na comunidade científica tem sido recorrente a aplicação e adopção de técnicas inovadoras a fim de obtenção da melhoria de desempenho da operação dos sistemas com recurso a otimização dos órgãos hidráulicos nela contidas aplicando ferramentas de modelação hidráulica.

O principal problema da presente pesquisa está relacionada com a necessidade de redução de perdas de água e consequente melhoria do serviço de abastecimento de água no sistema da cidade de Xai-Xai, objecto deste trabalho. Este sistema abastece cerca de 160 mil habitantes e é caracterizado pelo contínuo aumento da demanda devido ao crescimento exponencial da população associada a mudança de hábitos de vida saindo de uma característica tipicamente rural para urbano.

Diante deste cenário, no SAA de Xai-Xai é notório o registo de degradação gradual do serviço de fornecimento de água saindo de uma distribuição média de 24h/dia em 2016 para 15h/dia em 2020, registo de constantes interrupções de fornecimento em zonas topograficamente altas e nas extremidades da rede, surgimento de novas áreas com problemas de baixas pressões e ou de falta de água.

Atendendo a limitação de recursos financeiros para novos investimentos em infraestruturas para reabilitação e expansão dos sistemas, aliada a necessidade de garantir a continuidade e melhoria do serviço prestado aos consumidores face ao elevado crescimento da demanda impõe o desafio de implementar soluções inovadoras de engenharia que permitam a optimização do desempenho e melhoria da eficiência operacional do sistema, através da redução de perdas contribuindo assim para a melhoria da fiabilidade hidráulica do sistema. É neste contexto que se desenvolve a presente pesquisa traduzida na seguinte pergunta de pesquisa: *até que ponto a modelação hidráulica para optimização operacional pode ajudar na redução de perdas de água e melhorar o desempenho do sistema de abastecimento de água de Xai-Xai?*

1.2 Justificativa

“Os sistemas de abastecimento de água desempenham um papel fundamental na gestão do ciclo urbano da água, pelo que, há uma necessidade de se considerar este recurso escasso a cada dia no planeta terra, sendo que a sua conservação e uso racional é um imperativo para todos.” (CARDOSO et al, 2013, p.78).

A abordagem da WWAP (2015) apud Viera (2016), que é válida para o actual contexto, clarifica o quão é imprescindível que se considere o papel da água ao abordar qualquer dos grandes objectivos da sustentabilidade, uma vez que o progresso em cada uma das suas esferas – ambiental, económica e social, está vinculado aos limites impostos pela disponibilidade de água e a forma como o recurso é gerido pelos operadores de Sistemas de Abastecimento de Água, revelando assim a pertinência deste tema no contexto da sustentabilidade dos sistemas de abastecimento de água.

A necessidade de mudança de consciência no que refere a questões reactivas a racionalização e gestão sustentável da água, a aplicação de ferramentas e técnicas de engenharia hidráulica para a

redução de perdas e otimização do uso da água, sendo este um recurso escasso, dotam deste tema uma capital relevância e a necessidade de seu desenvolvimento.

Os investimentos em infraestruturas de abastecimento de água em Moçambique têm impactado na melhoria da qualidade de vida da população nos principais centros urbanos. No entanto, tem sido notório e de forma recorrente por um lado os investimentos em infraestruturas de expansão dos sistemas, mas por outro lado a ineficiência operacional dos sistemas existentes devido ao elevado índice de perdas de água até níveis iguais ou superiores a 50%, tal como o caso do SAA de Xai-Xai. No entanto, a presente pesquisa surge como resposta na medida em que irá contribuir na identificação e melhor interpretação de fenómenos técnicos que constituem um desafio na redução de perdas de água e consequente melhoria de serviço de AA nos principais centros urbanos no País.

A temática de otimização operacional dos sistemas para a redução de perdas de água é levantada e estudada na comunidade científica internacional, e tem sido vista como solução para a melhoria de eficiência operacional dos sistemas, com custos baixos, tal como o exemplo da aplicação de modelação hidráulica para redução de perdas na rede de distribuição.

No contexto moçambicano, sobretudo no local que é desenvolvida a presente pesquisa, este tema é relevante e fundamental dado que se trata de uma abordagem nova que servirá de base para a tomada de medida e decisões inerentes a redução de perdas e gestão operacional eficiente e sustentável dos sistemas de abastecimento de água, contribuindo assim para a melhoria do serviço prestado.

1.3 Objectivos

1.3.1 Geral

O presente trabalho tem como objectivo otimizar a rede de distribuição do SAA de Xai-Xai para identificação de locais críticos como fonte de perdas de água através da aplicação de ferramentas de modelação hidráulica.

1.3.2 Específicos

A melhor abordagem para a materialização do objectivo geral acima descrito será o desenvolvimento da pesquisa orientada, com base nos seguintes objectivos específicos:

- Desenvolver e simular o modelo hidráulico da rede de distribuição do Bairro 13 do sistema de abastecimento de água da cidade de Xai-Xai.
- Identificar locais críticos na rede de distribuição da Área de Estudo como potenciais fonte de perdas de água com recurso ao software de modelação e optimização hidráulica – WATERGEMS da Bentley.
- Desenhar propostas de acções para a redução de perdas e melhoria de eficiência operacional na Área de estudo.

1.4 Hipóteses de pesquisa

A hipótese é a fase do método de pesquisa que consiste em enunciar e verificar as prováveis respostas da pergunta de pesquisa. No entanto, face ao problema da presente pesquisa, foram consideradas as seguintes hipóteses a serem falseadas ou confirmadas com o desenvolvimento do trabalho:

- As perdas de água podem levar a uma alteração no funcionamento hidráulico de um sistema.
- A modelação hidráulica pode ajudar na identificação de locais críticos da rede como potenciais fontes de perdas de água.
- As elevadas perdas físicas de água na rede de distribuição do sistema de Xai-Xai podem ser resultantes de presença de zonas com pressões altas, existência de tubagem antiga e obsoleta e ou erros de medição.
- O deficiente funcionamento do sistema pode estar associado a crescente demanda pela água e pressão sobre o sistema de abastecimento de água de Xai-Xai.
- As ferramentas de modelação hidráulica podem apoiar na definição de acções para optimização operacional e reduzir as perdas nos sistemas de abastecimento de água.

2 CAPITULO II. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da Pesquisa

A pesquisa foi conduzida com base em uma abordagem quantitativa positivista, dado que tem por se verificar a hipótese de otimização de um sistema hidráulico a partir da colecta e análise de dados estatísticos com auxílio de instrumentos padronizados e neutros, aplicando a modelação como método de investigação. Foram utilizadas duas ferramentas de modelação hidráulica, nomeadamente o EPANET 2.0 para criação do modelo hidráulico inicial e de experimentação da metodologia do trabalho e o WATERGEMS da Bentley para a simulação e otimização para a identificação de locais críticos como fonte de perdas de água na rede.

2.2 Métodos de Abordagem

“Método é o conjunto de actividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objectivo – conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista”. (LAKATOS & MARCONI, 2000, p.83)

A abordagem metodológica da presente pesquisa foi Hipotético Dedutivo, na medida em que consistiu na definição e formulação do problema, levantamento das hipóteses as quais foram objecto de análise de forma a serem confirmadas ou infirmadas no decorrer da pesquisa para responder o problema. O trabalho escolhe a aplicação do Caso de Estudo para testar as hipóteses previstas.

2.3 Métodos de procedimentos

Conforme a abordagem de ACHINSTEIN, (2005), os métodos de procedimento consideram se as fases ou etapas mais específicas e concretas da pesquisa, descrevendo objectos menos abstratos. No geral, foram empregues os seguintes métodos de procedimentos:

- i. **Pesquisa Bibliográfica**, que consistiu em realização de consultas bibliográficas sobre estudos e pesquisas de diferentes autores ligados ao tema. Permitiu buscar melhor entendimento sobre a modelação hidráulica, optimização operacional de sistemas de abastecimento de água e redução de perdas. Este Método ajudou na efectivação de análises

comparativas das diferentes abordagens de modelação hidráulica para a redução de perdas em sistemas de abastecimento de água desenvolvidos em contextos similares e ou equiparáveis aplicando ferramentas de modelação tais como o EPANET 2.0, WaterCad, WATERGEMS e outros, permitindo assim, clarificar os passos, desafios e os elementos a ter em consideração durante a pesquisa. A pesquisa bibliográfica permitiu a obtenção da informação histórica comercial e técnico operacional para alimentar o modelo hidráulico, através de consultas aos documentos disponíveis da área de estudo tais como relatórios, cadastro da rede, cadastro dos clientes e outros documentos associados.

- ii. **Caso de estudo:** o trabalho baseou – se na aplicação dos métodos a um caso específico de estudo em Moçambique. O sistema de abastecimento de água de Xai-Xai foi escolhido para a aplicação dos métodos de estudo por ser representativo da situação geral no país. Aplicou-se a amostragem para a definição de pontos de colecta de dados operacionais a ser objecto de calibração e optimização pelo modelo. A modelação hidráulica requer a identificação dos parâmetros do modelo, para que este melhor simule a rede em estudo durante a calibração e validação dos resultados. Assim um conjunto de pontos é escolhido de forma aleatória e com uma boa representatividade geográfica, para se proceder à observação do comportamento da rede na realidade. Estes valores são posteriormente usados para comparação com os resultados do modelo. Havendo, divergência entre os valores observados e os resultados do modelo, são efectuados ajustamentos ao modelo hidráulico até que se encontre uma reposta do modelo próxima à realidade.
- iii. **Pesquisa de Campo:** Este procedimento consistiu em: (a) levantamento da localização exacta dos clientes com GPS para permitir a inserção destes no modelo de rede em construção, facilitando assim a sua conexão com os nós de demanda e o histórico de consumo existente no cadastro comercial; (b) recolha de valores de pressão, caudal e velocidade a serem usados como base comparativa com os resultados do modelo durante a simulação e objecto de calibração; (c) aferição da fiabilidade do cadastro técnico (sobretudo nas infraestruturas subterrâneas) através de escavação para confrontação das características com a informação da base de dados; (d) levantamento do estado de conservação das instalações domésticas permitindo assim ter uma indicação de outras

fontes de perdas. Por seu turno, o trabalho de campo permitiu ter o contacto com a realidade do sistema contribuindo para obtenção de melhor sensibilidade e propriedade sobre a área de estudo.

- iv. **Avaliação dos resultados do modelo:** O Processamento e pré-análise de dados operacionais, informação técnica e comercial usada no modelo hidráulico da área de estudo foi efectuada em planilhas do programa Excell e posterior inserção nos softwares de modelação para a construção do modelo hidráulico.
- v. **Método estatístico:** As ferramentas de modelação e optimização hidráulica permitiram aplicar elementos matemáticos que forneceram uma análise analítica e gráfica do comportamento das principais variáveis hidráulicas (caudal, pressão e velocidade) do estudo, a serem objecto de avaliação e tomada de decisão.
- vi. **Método comparativo:** Aplicado para aferição dos dados observados e os resultados do modelo permitindo assim a indicação das diferenças existentes a serem objecto de calibração do modelo.

3 CAPÍTULO III. ESTADO DE ARTE SOBRE A REDUÇÃO DE PERDAS, OPTIMIZAÇÃO OPERACIONAL E MODELAÇÃO HIDRÁULICA

A melhoria de eficiência operacional com enfoque para a redução de perdas através da aplicação de ferramentas de modelação é uma abordagem levantada e analisada por vários autores em diferentes realidades do mundo. É nesta perspectiva que o presente capítulo irá compulsar sobre os trabalhos desenvolvidos por outros autores e estabelecer uma ponte com o objecto do estudo, com enfoque na definição dos principais conceitos, modelação, optimização de órgãos hidráulicos e redução de perdas.

3.1 Conceitualização

Para uma melhor interação sobre a abordagem levantada no presente trabalho, é feita a descrição dos conceitos chaves inerentes ao tema da pesquisa.

Sistema de Abastecimento de Água

“O SAA é um conjunto de infraestruturas, instalações e serviços, destinados a produzir, distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros”. (www.fiocruz.br, cessado em 29/10/2019).

“Sistema de abastecimento de Água como um conjunto de equipamentos, infraestruturas e serviços voltados para o fornecimento de água, em condutas sob pressão, às comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público”. (CARDOSO, 2013, p.6)

Quer o Cardoso assim como o conceito do site www.fiocruz.br são convergentes, apontando o conjunto de infraestruturas associadas ao serviço público de fornecimento de água aos diferentes extractos de consumidores, pelo que ambos conceitos enquadram se na linha da presente pesquisa, na qual se pretende optimizar o desempenho dos órgãos de um SAA.

Rede de distribuição

A rede de distribuição é um órgão do SAA que assegura que a água seja entregue ao consumidor, em condições para ser consumida de forma contínua, em quantidade, qualidade e pressão adequadas para o sistema e para o consumidor, MARCHI, et al, (2017).

Modelo Hidráulico

COELHO, S., *et al.*, (2006) apud CARDOSO (2013) refere que os modelos de simulação hidráulica representam um conjunto de “*software*” que analisa e faz previsões sobre o comportamento hidráulico e os parâmetros de qualidade da água de um sistema com uma margem de erro estimável, a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos solicitados. Logo, consegue-se uma rápida e eficaz realização de análises de sensibilidade e a simulação de vários cenários, com ausência de interferências com o sistema.

Optimização

é o processo de otimizar, de tornar óptimo. É a busca da excelência. É o emprego de técnicas para seleção das melhores alternativas, com o propósito de alcançar os objectivos determinados. A optimização consiste na elaboração de um planeamento estratégico e adequado para uma gestão eficiente, visando obter um retorno dentro dos padrões de excelência. O processo de optimização busca tornar óptimo os rendimentos nos mais diversos campos de actividades. www.significados.com.br, cessado em 29/10/19.

(Surco et al, 2015), considera que otimizar consiste em selecionar, dentre um conjunto de possíveis resultados, um que seja óptimo, de acordo com determinados critérios.

Analisando as duas abordagens considera-mo-las correctas, na medida em que o objectivo principal dos diversos métodos de optimização de SAA é encontrar o modelo de menor custo, que atenda aos requisitos hidráulicos de caudal e pressão nos pontos de consumo. No entanto, atendendo a temática do presente trabalho e estabelecendo uma combinação com os dois conceitos, podemos definir otimizar como sendo um processo de capacitação dos sistemas existentes através de técnicas e metodologias adequadas para a melhoria da eficiência operacional.

3.2 Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento de Água

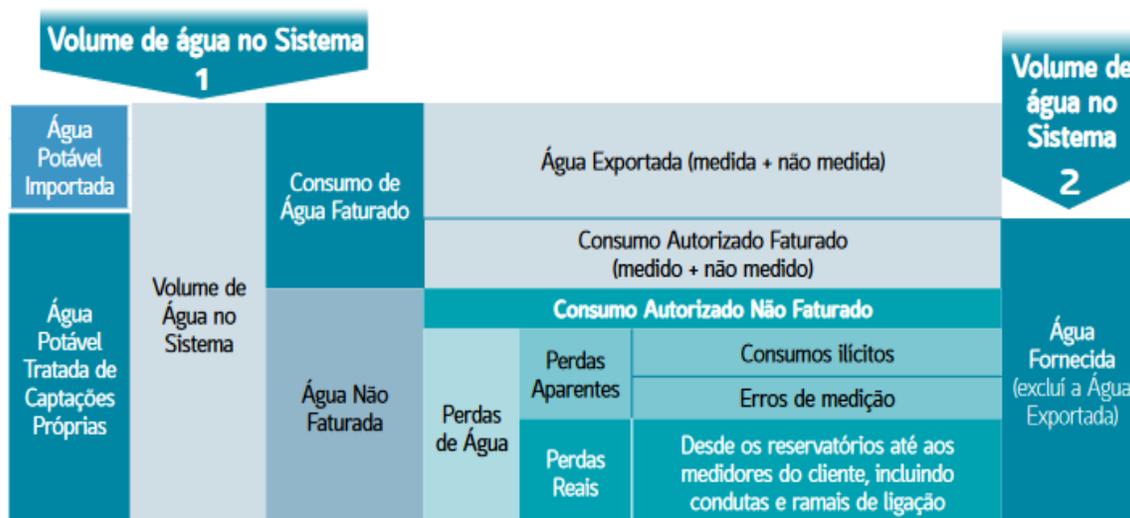
O conceito de perdas de água emergiu com a implantação dos primeiros sistemas, associado, à garantia da eficácia do SAA, uma vez que as rupturas na tubagem, apesar de representar uma perda de água impactam negativamente no serviço devido as restrições impostas no fornecimento, criando prejuízos para os consumidores. Nesta sequência, do sentido de eficácia passou, progressivamente, para uma lógica de eficiência, originada pelas perdas de água que, assim, não estava disponível para gerar receita, apesar de gerar custos. (SARDINHA et all, 2017, p.15)

A ocorrência de perdas de água é inerente a todos os sistemas de distribuição. O volume perdido traduz a quantidade de água que, tendo sido introduzida no sistema, não chega, por diversas razões, a ser entregue ou facturada ao cliente final. Considera-se que o volume de perdas depende das especificidades de cada sistema, em particular da condição das infraestruturas e da sua operação e manutenção, apresentando-se a sua determinação como um desafio, só superado pelo desafio ainda maior, que é reduzir as perdas de água.

A IWA, confrontada com a necessidade de avaliar o volume das perdas de água e os seus componentes e, assim, permitir uma comparação internacional entre os desempenhos de diferentes entidades gestoras, desenvolveu uma série de estudos neste sentido, no âmbito do grupo Water Loss Task Force. Em 2000 apresentou a ferramenta que veio a constituir-se como base de toda a análise que se efectua em torno desta temática – o balanço hídrico.

Agregado ao conceito de balanço hídrico surge um conjunto de definições das componentes relativas aos consumos e perdas de água nos sistemas, que são articuladas e esquematizadas no respetivo quadro do balanço. A metodologia de cálculo estabelecida ajuda a subdividir o volume de água que entra no sistema em componentes que podem ser individualmente medidos ou estimados para se completar o quadro do balanço hídrico, conforme ilustrado na Figura abaixo:

Figura 1: Balanço Hídrico de acordo com a definição da IWA. (Fonte : Sardinha et al, 2017)



O significado de cada um dos componentes do balanço hídrico é o seguinte:

- **Volume de água no sistema** - volume anual de água que entra no sistema de distribuição.

- **Consumo autorizado** - volume anual de água medido ou não medido mas que foi efectivamente consumido pelos clientes, pelo próprio fornecedor ou por aqueles que estão autorizados implícita ou explicitamente a consumir, tais como compromissos sociais assumidos e a utilização legítima do serviço de incêndios. Inclui-se ainda o volume de água que é exportada e as fugas existentes após o ponto de medição dos clientes.
- **Água não facturada (ANF)** - é a diferença entre o volume de água introduzido no sistema e o consumo autorizado que é efectivamente facturado. Assim, a ANF representa as perdas de água acrescidas de uma fatia que traduz o consumo autorizado não facturado.
- **Perdas de água** – a diferença entre o volume de água introduzido no sistema e o consumo autorizado, representando o conjunto das perdas reais e aparentes.
- **Perdas aparentes** – também designado por perdas comerciais corresponde a consumos ilícitos e furtos. Pode ser estimado verificando o número de ligações ilícitas, o número de contadores avariados e utilizando estimativas de consumo percapita para calcular o volume usado.
- **Perdas reais** – igualmente designado por perdas técnicas ou físicas, corresponde ao volume que anualmente se perde através de todo o tipo de fugas, ropturas e extravasamentos das condutas, reservatórios e ramais, até ao ponto de medição do cliente.

A estimativa das perdas é obtida através da comparação entre o volume produzido ou transferido, a partir de um ponto do sistema, e o consumo autorizado ou recebido num ou mais pontos do mesmo sistema. A água não facturada inclui todas as perdas, reais e aparentes.

Água Não Facturada (ANF) = Perdas Totais + Consumo Autorizado Não Facturado

Perdas Totais = Perdas Reais + Perdas Aparentes

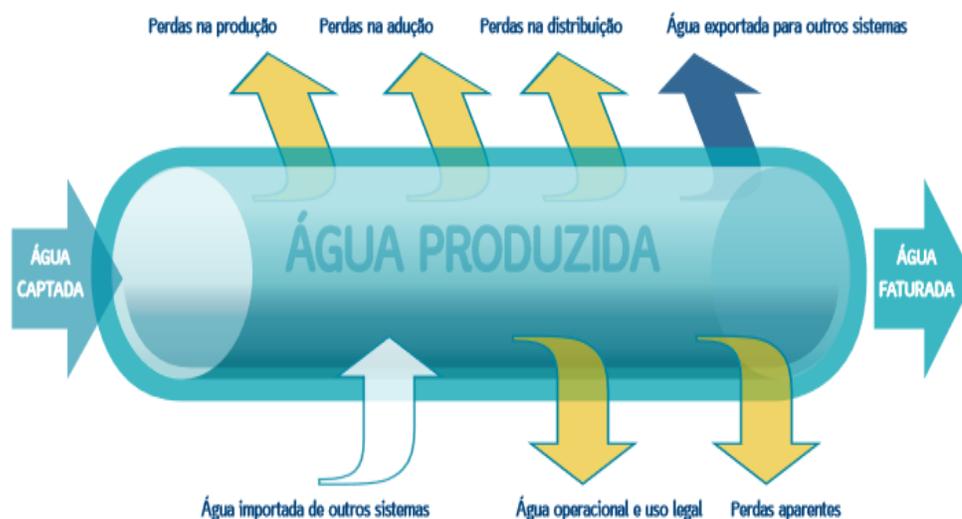
O cálculo de ANF pode ser apresentado em volume, como anteriormente indicado, ou, como sucede frequentemente, em percentagem:

% Água Não Facturada = (Volume Não Facturado / Volume de Água entrado no sistema) x

100

A noção de perdas é ilustrada graficamente na Figura 8 . O balanço hídrico e as definições das suas componentes constituem a solução de cálculo e avaliação das perdas mais unânime, tendo vindo assumir-se como a base para a comparação nacional e internacional do desempenho das redes de abastecimento.

Figura 2: Fluxograma das principais influências no SAA. Fonte : Sardinha et al, 2017



3.3 Otimização Operacional de SAA

SOUSA & SOARES (2014), consideram que a operação óptima de um sistema de distribuição consiste na determinação de regras operacionais que forneçam a maior eficiência hidroenergética do sistema. A busca de operação óptima do sistema de distribuição de água é um problema bastante complexo por incluir um grande número de variáveis de decisão e muitas restrições impostas ao sistema.

(CARRIJO, 2004), refere que a complexidade da otimização de um sistema de distribuição de água reside na dinâmica e quantidade de parâmetros e variáveis envolvidos. Vários estudos têm sido desenvolvidos nas últimas décadas visando adequar estas dificuldades á realidade operacional dos sistemas. Para facilidade de aplicação do processo, vários pesquisadores têm implementado modelos de otimização para componentes isolados do sistema (estações de bombagem, redes de distribuição, válvulas e reservatórios), considerando a variação das demandas ao longo do dia e os diferentes custos de energia eléctrica, buscando uma confiabilidade adequada, em termos de atendimento ao consumidor.

Existem diversas metodologias apresentadas pela comunidade acadêmica para a otimização de sistemas de distribuição de água para a redução de perdas e melhoria de eficiência operacional. Carrijo (2004) em seu trabalho sobre regras operacionais ótimas de sistema de distribuição, propôs a utilização dos algoritmos genéticos para a otimização de regras operacionais para um sistema de distribuição de água composto por reservatórios, estações de bombagem, válvulas e rede de distribuição. O autor sugeriu a adoção de parâmetros de performance ótimos relacionados com o consumo mínimo de energia elétrica, máxima confiabilidade, máximo atendimento a demanda e a minimização das perdas do sistema através da adoção de pressões adequadas nos nós de demanda. Para a implementação do método e atendimento dos objectivos propostos, o autor sugeriu um modelo hidráulico e de otimização combinados baseado no método das características, nos algoritmos genéticos com a utilização de branqueamento para a seleção das soluções e na definição de parâmetros da regra operacional mais adequada para operação do sistema hipotético proposto.

Marchi et al, (2017), efectuou um estudo de otimização operacional do SAA do distrito do rio vermelho para a redução de perdas, onde por meio de software de modelagem hidráulica WATERGEMS da Bentley, foi possível elaborar um plano de actualização da rede de distribuição e modificações operacionais para os próximos 20 anos, com foco para a redução de perdas. Igualmente, neste trabalho com a utilização da ferramenta Darwin Calibrator da WATERGEMS foi possível mapear regiões críticas do sistema, que merecem acções imediatas para a redução de perdas de água.

Por seu turno, Cardoso et al (2013), desenvolveu uma pesquisa sobre redução de perdas em SAA através de otimização de pressões na rede de distribuição de um subsistema da cidade de porto, onde com recurso ao programa de modelação hidráulica da WATERGEMS foi possível efectuar um estudo intensivo e comparativo das várias soluções de controle de pressão através das válvulas redutoras de pressão, cujo resultado foi satisfatório na redução de perdas físicas (fugas) em determinadas zonas críticas.

Gutiérrez, (2016), na sua pesquisa denominada detecção de perdas com WATERGEMS usando AG - caso de sucesso, aplicando a metodologia modelamento hidráulico + otimização via A.G. foi possível comprovar com sucesso um método unificado de otimização que permite simultaneamente: calibração hidráulica do modelo e localização de pontos de fugas. A metodologia oferece uma ferramenta poderosa e prática para ajudar as empresas gestoras de água

em suas estratégias de controle activo de perdas, onde a formulação pode ser aplicada a sistemas reais e especialmente a distritos/sectores hidráulicos. A metodologia permitiu delimitar com maior certeza as zonas com maior probabilidade de presença de fugas e tornar mais eficientes os programas de redução de perdas.

As abordagens acima levantadas pelos autores enquadram se na presente pesquisa, onde pretende se otimizar a rede de distribuição do BAIRRO 13 da cidade de Xai-Xai para identificação de potenciais focos de perdas água através da aplicação do algoritmo de optimização automatizada via AG incorporado ao software de modelação WATERGEMS da Bentley. Este processo irá permitir identificar claramente os potenciais locais de ocorrências de fugas na rede da área de estudo, permitindo assim efectuar uma análise comparativa entre os nós indicados pelo modelo e a tendência de ocorrência de fugas na rede em estudo. Prevê-se que com esta abordagem facilmente serão direccionados e melhores propostos as acções de melhoria para a redução de perdas e fiabilidade hidráulica do sistema.

3.4 Modelação Hidráulica

Segundo MARCHI, et al, (2017), a modelação hidráulica é uma abordagem eficaz de gestão de SAA uma vez que permite ao usuário simular diversos cenários reais e testar possibilidades visando orientar as intervenções físicas no sistema através das melhorias dadas pelo software, economizando recursos e otimizando os serviços prestados.

Por seu turno, CARRIJÓ (2004), refere que os modelos de simulação de sistemas de distribuição de água consistem em equacionar as principais variáveis envolvidas no processo: caudal nos troços de uma rede e pressão nos nós, entre troços consecutivos, podendo ser usados na operação em tempo real, associados ou não a modelos de optimização de forma a fornecer uma resposta sistemática a uma dada manobra.

A aplicação de modelos de simulação hidráulica tem sido uma prática recorrente na perspectiva de melhor orientar os gestores de SAA, a tomada de melhores decisões para a optimização tendo em conta os desafios existentes na sustentabilidade operacional dos sistemas.

Do ponto de vista conceitual, a modelagem hidráulica pode ser explicada como se processa a variação do caudal, num período de tempo, no interior da conduta.

Existem vários pacotes comerciais de softwares de modelagem matemática para auxílio na análise hidráulica e de qualidade. Com exceção do EPANET, todos softwares são pagos. Na tabela abaixo são apresentados alguns deles:

Tabela 1: Softwares comerciais de Modelagem Hidráulica: Fonte: ASCE (2004) apud Rodrigues (2013)

Software de modelagem de rede	Corporação	Análise hidráulica e de qualidade de água
AQUIS	Seven Technologies	Idade da água; análise de rede
EPANET	EPA (Environmental Protect Agency)	Idade da água, analisador de traçador e análise do constituinte.
Infowater H20NET/H2OMAP	MWHSoft	Idade da água, análise de traçador e análise constituinte
Infor=Works WS	Wallingford software	Idade da água, análise de traçador e análise constituinte
Mike Net	DHI, Boss international	Idade da água, tempo de viagem e acompanhamento da fonte do constituinte. Rastreia o escoamento e o destino dos constituintes de qualidade de água. Permite coeficientes de reação diferentes
Pipe 2000	University of Kentucky	Envelhecimento automáticos dos tubos (rugosidade)
PipelineNet	SAIC, TSWG	Idade da água, análise de traçador e análise constituinte
SynerGEE Water	Advantica	Idade da água, análise de traçador e análise constituinte
WaterCad/WATERGEMS	Bentley Systems	Idade da água, análise de traçador e análise constituinte
STANET	Fisher-Uring Engineering	Mistura estacionaria/monitoria de concentração (carga de pressão, qualidade de água e idade de água)
Wadiso	GLS Software	Idade da água, análise de traçador e análise constituinte

Mota (2010) apud Rodrigues (2013), refere que os programas mais utilizados possuem recursos bastante avançados de entrada de dados e simulam o comportamento desde centros distribuidores até 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 de campo que estão sendo medidos, como é o caso do WATERGEMS da Bentley Systems, ferramenta que foi aplicada no presente trabalho para otimização do modelo de rede para detecção de fugas na cidade de Xai-Xai.

A modelagem hidráulica exige o conhecimento dos componentes físicos e não físicos da rede de distribuição. Para Silva (2002) apud Rodrigues (2013) os dados de entrada para o modelo hidráulico incluem:

- **Trechos e nós da rede:** são necessárias informações numéricas como diâmetro, comprimento, rugosidade, material de cada tubagem e as coordenadas dos pontos de conexão entre as condutas. Essas informações são obtidas em mapas e projetos executivos ou em intervenções de sondagens quando houver dúvida no cadastro das redes existentes;
- **Acessórios hidráulicos da rede:** válvulas de controle, válvulas redutoras de pressão e elevatórias de recalque, instalados na rede de distribuição, devem ser identificadas e incluídas no arquivo base;
- **Dados das bombas:** as bombas devem ser modeladas, pois suprem a pressão necessária para distribuição da água ao sistema. São necessárias suas características operacionais, além das coordenadas das mesmas;
- **Dados sobre os reservatórios:** tanto os reservatórios elevados, como os apoiados ou enterrados, são elementos para armazenamento e distribuem água por gravidade ou servem de tanque de sucção para estações elevatórias. Os volumes de armazenamento, dimensões, níveis de operação, válvulas de controle, nível de automatização e as áreas a serem abastecidas são elementos importantes a serem definidos para a entrada no modelo hidráulico;
- **Dados de campo:** As medições de campo fazem parte da colecta de dados, onde de entre elas incluem os valores de pressão nos nós, o caudal e velocidade nas condutas. Os dados de campo são fundamentais para a calibração e otimização do modelo.

- **Condições de demanda:** os dados referentes ao uso da água devem ser colectados e devem constar no modelo base. As demandas de água precisam ser alocadas geograficamente e de acordo com suas variações diúrnas e não diurnas permitindo assim o desenho dos padrões de consumo e sua alocação na respectiva zona de consumo. Relativamente ao modelo de rede do subsistema do BAIRRO 13, foi usado o histórico dos volumes da saída do reservatório de distribuição para definir os padrões de consumo usados no modelo.

De acordo SILVA & MENDES (2015), um dos grandes desafios encontrados pelos gestores dos SAA, é desenhar e dispor de um cadastro técnico digital fiável, devido a existência de rede antiga que foi cadastrada apenas em meio físico e pela não actualização regular das alterações do sistema originadas pelas intervenções na infraestrutura pelo pessoal técnico operacional que não são reportadas às equipas de cadastro, tornando assim um grande desafio para a optimização de SAA.

3.4.1 Calibração de modelos hidráulicos

Um modelo de simulação hidráulica é desenvolvido para reproduzir o comportamento e prever a resposta de um sistema existente ou de um novo, perante um conjunto de solicitações actuais ou futuras, diferentes modos de operação e alterações da topologia e das características físicas dos componentes. Sempre que o modelo 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, e determinar até que ponto tal é conseguido. Para tal, há que proceder a ajustamento dos parâmetros do modelo para que os resultados reproduzam com aproximação aceitável as medições efectuadas no sistema.

Neste sentido, Cesário (1995) apud Alves (2012) define calibração como o “processo de ajuste fino de um modelo até este ser capaz de simular as condições verificadas no sistema para um determinado horizonte temporal (por exemplo, o cenário de ponta horária de consumo), com um grau de exactidão pré-estabelecido”.

COELHO et al. (2006) definiram por “calibração de um modelo de qualquer sistema físico o processo de aferição e validação do modelo para diversas condições de funcionamento criteriosamente seleccionadas, de modo a permitir que a sua utilização possa ser feita com confiança suficiente no âmbito da análise pretendida”.

A calibração é feita com base na comparação dos dados simulados com os resultados medidos e recolhidos na rede em funcionamento, assim, quanto maior for o número de observações dos parâmetros que retratam o comportamento do sistema a que correspondem, mais o processo de calibração beneficiará.

Em termos hidráulicos um modelo calibrado deverá simular adequadamente tanto os valores do caudal (o que entra ou sai do sistema e o que circula na rede) como os valores de pressão (ou o nível nos reservatórios), não sendo suficiente obter bons resultados em apenas uma destas variáveis.

Os pontos de interesse fundamentais para a medição de caudal são as entradas e saídas dos principais órgãos do sistema. Os pontos de consumo constituem as solicitações do sistema e são a principal incerteza associada ao seu funcionamento, sendo assim um tipo muito particular de caudal. Na calibração do modelo devem ser utilizadas as medições de caudal e de pressão (incluindo de nível) instaladas numa rede de modo contínuo, funcionando isoladamente ou como parte integrante de um sistema de telemedição. Para além destas medições é necessário proceder a uma campanha de medições específicas para a calibração do modelo.

O modelo calibrado deverá obedecer a um determinado grau de exatidão ou precisão, portanto a diferença entre os valores das grandezas calculados pelo modelo e os valores medidos das grandezas em função dos objectivos de utilização do modelo. Importa referir que, o grau de exatidão obtido poderá resultar do próprio processo de calibração e das limitações de tempo ou de recursos disponíveis. O grau de exatidão final é uma característica própria de cada modelo e de cada processo de calibração, influenciando diretamente a fiabilidade dos seus resultados.

Os autores Alegre, (1986); Cesário, (1995) e Walski et al., (2003) apud Alves (2012) referem que a fase de calibração permite satisfazer os seguintes objectivos:

- Estabelecer o grau de fiabilidade do modelo;
- Adquirir ou aprofundar o conhecimento sobre o funcionamento do sistema, a sua operação e o seu desempenho;
- Descobrir e eliminar erros nos dados ou falhas no conhecimento do sistema.

Para além destes objectivos, a fase de calibração permite muitas vezes identificar problemas no próprio sistema. Nunca deve ser desvalorizado um conjunto de dados de modelação racionalmente construídos sem colocar a hipótese de algo imprevisto ou desconhecido poder ter ocorrido.

Os erros da calibração são as discrepâncias entre os resultados do modelo e a realidade observada, os quais podem ter diversas origens, como os dados físicos do sistema, as suas solicitações e as suas condições operacionais.

Refira-se que, a calibração hidráulica de um modelo trata do ajustamento dos valores das grandes fontes de incerteza (rugosidade das condutas e consumos nominais nos nós de junção) nos dados iniciais, até ser obtida a concordância de valores de pressão e caudal.

Para além destas, podem existir outras fontes de erro ou de incerteza nos dados de entrada de um modelo, que também contribuem para as maiores discrepâncias entre resultados do modelo e medições na rede, as quais constituem um potencial parâmetro de calibração, tal como o diâmetro nominal e interno, registo de cadastro, erros de conectividade, simplificação da rede, níveis e condições de operação de reservatórios e instalações elevatórias.

A realização de medições de campo deverá obedecer a uma planificação, no sentido de se determinar o que medir, quando, onde e sob que condições. Tendo custos de equipamento e de mão de obra, podendo ainda obrigar a cortes do abastecimento ou alterações temporárias na rede, para tal devem-se minimizar as perturbações aos consumidores e ao normal funcionamento da rede.

A calibração de um modelo é um processo interactivo de comparação dos resultados da simulação com os dados observados, cujos passos principais são repetidos até determinadas condições de aceitabilidade serem verificadas. O número de interações varia de caso para caso com a topologia do sistema, o grau de exatidão requerido, da complexidade da rede, da qualidade dos dados descritivos do sistema e da modelação dos consumos.

A comparação dos resultados do modelo calibrado com os observados deverá ser orientada para objectivos específicos. É muito improvável que os valores modelados e os valores medidos no sistema coincidam em todos os pontos do sistema e para todos os instantes de tempo.

Várias são as abordagens referentes a critérios de validação dos resultados de calibração. Por exemplo, os critérios propostos por Walski et. al. (2003) apud Coelho et. al. (2006) consideram o seguinte:

- Para aceitação dos valores de pressão:
 - Diferença entre a cota piezométrica modelada e medida, inferior a $\pm 1,5$ m;
 - Diferença entre o nível de água modelado e medido no reservatório, inferior a $\pm 1,0$ m.
- Critérios de aceitação dos valores de caudal:
 - Diferença entre o caudal modelado e medido, inferior a $\pm 10\%$.

Por seu turno, AWWA (1989) apud Rodrigues (2013), indica que em geral, um modelo pode ser considerado aceitavelmente calibrado se a diferença entre os valores preditos e observado forem inferiores a 10%.

No entanto, para o presente estudo e tendo em conta o objectivo da presente pesquisa, será considerada a abordagem de AWWA citado por Rodrigues como critério de validação da calibração do modelo.

3.4.2 Ferramentas de Modelação Aplicadas na Pesquisa

A construção e desenvolvimento do modelo, foram utilizadas duas ferramentas computacionais de modelação hidráulica, nomeadamente o EPANET 2.0 para criação do modelo hidráulico inicial e de experimentação da metodologia do trabalho e o WATERGEMS da Bentley para a optimização operacional do modelo com vista a identificação de fontes de perdas água na rede.

3.4.2.1 Visão geral do EPANET 2.0

O EPANET teve sua primeira versão desenvolvida em 1993 pela Associação Norte-Americana de Proteção Ambiental (USEPA). É um software de distribuição gratuita e de código aberto, possibilitando que qualquer usuário o modifique de acordo com suas necessidades e conhecimentos. Trata-se de um simulador amplamente testado e credível, que beneficia uma alargada comunidade de utilizadores em todo o mundo e tem a larga vantagem de ser uma ferramenta de acesso livre e disponível no mercado.

O EPANET permite obter os valores do caudal em cada trecho, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos passos de cálculo.

O EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição de água, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. Pode ser utilizado em diversas situações onde seja necessário efectuar simulações de sistemas de distribuição. O estabelecimento de cenários de projeto (p.ex., expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos constituem alguns exemplos.

Em ambiente Windows, o EPANET fornece um ambiente integrado para editar dados de entrada da rede, executar simulações hidráulicas e de qualidade da água e visualizar os resultados em vários formatos.

3.4.2.2 Visão geral do WATERGEMS V8.i

O software WATERGEMS foi originalmente desenvolvido pela Empresa Haestad Methods, Inc. sediada em Watertown, CT (EUA). Esta empresa foi adquirida pela Bentley Systems em meados de 2004. Foi a partir da aquisição que o produto começou a ser conhecido comercialmente como Bentley WATERGEMS V8i. É um produto cujo lançamento foi dado no início do século XX e mais tarde produto de software WATERCAD a mesma casa de software lançada nos anos 90.

Para muitos especialistas, WATERGEMS V8i mais do que uma evolução da WATERCAD é essencialmente uma super aplicação (que já está incluído na WATERCAD), adiciona integração perfeita com ambientes GIS e inclui numa única versão comercial todos os módulos de análise avançada que só podem adquirir separadamente em WATERCAD. Neste sentido, é o software cujo utilizador-alvo é a empresa que opera fornecimentos, reguladores e/ou importantes projetos de consultoria.

Em termos de tarefas básicas e intermédias, a modelação hidráulica, a WATERCAD e a WATERGEMS são produtos semelhantes (na verdade partilham o mesmo cálculo hidráulico do motor) e o mesmo modelo de dados de estrutura, pelo que um modelo criado em WATERCAD pode ser lido em WATERGEMS V8i e vice-versa. Enquanto a WATERCAD, suporta uma plataforma autónoma (Stand Alone) e Micro Station e AutoCAD (como um acréscimo ao produto).

WATERGEMS V8i adiciona suporte para ArcGIS a ambientes anteriores. Nos últimos anos, o software tem tido uma grande evolução especialmente em funcionalidades como interoperabilidade, facilidade de utilização, ferramentas de produtividade, ligação a dados externos; processos de consulta multi-critérios, operações de análise espacial, capacidades gráficas, integração com informações geográficas dos sistemas (SIG), entre outros.

Dentro dos desenvolvimentos mais recentes incluem-se as seguintes funcionalidades como: troca de dados com outros sistemas de informação, dispositivos electrónicos e/ou outros programas de gestão, utilização de AG para fins automatizados de calibração hidráulica, optimização de design e energia ideais, deteção de fugas analíticas, planos de vulnerabilidade para eventos de poluição, integração de sistemas com SCADA, análise de qualidade multi-parâmetros, planeamento de renovação de redes, integração com análise de transientes hidráulicos.

WATERGEMS V8i é uma aplicação de modelação hidráulica para sistemas de distribuição de água com interoperabilidade avançada, construção de modelos geoespaciais, optimização e ferramentas de gestão de activos. Desde o fluxo de incêndios e análises de concentração constituinte, ao consumo de energia e à gestão dos custos de capital, o WATERGEMS V8i proporciona um ambiente fácil de utilizar para os engenheiros analisarem, conceberem e optimizarem os sistemas de distribuição de água.

WATERGEMS V8i é útil para gerir os dados do sistema de água, resultados hidráulicos da série de tempo, cenários actuais e futuros e outros dados de infraestrutura de base todos dentro do mesmo ambiente GIS. Mehta et al. (2017), apud Calvin et al. (1996).

A optimização para a identificação de perdas de água na rede da área de estudo foi usada a ferramenta LEAKEGE DETECTION incorporado no módulo DARWIN CALIBRATOR da WATERGEMS, que com base na tecnologia de optimização que usa Algoritmos Genéticos (AG) baseados nos princípios da evolução natural, prediz a localização e a dimensão das perdas de água na rede.

O Darwin Calibrator é um módulo acoplado na licença do Bentley WATERGEMS V8i. que permite ao usuário calibrar um modelo manualmente ou, automaticamente com algoritmos genéticos eficientes, de forma mais automatizada. Ele permite que várias opções de resultados da calibração sejam apresentados para que a melhor solução possível para um determinado sistema

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, demanda e ou estado dos elementos. 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 antepadamente realizado no presente trabalho.

3.4.2.2.1 Formulação da detecção de Fugas no Darwin Calibrador da WATERGEMS

É bem conhecido que as perdas são dependentes da pressão (quanto maior a pressão maiores as perdas). A formulação para a detecção do volume de perdas pode ser modelado mediante a equação de um emissor: $Q_i = K_i \cdot P_i^\alpha$

Onde:

Q_i : Valor da vazão das perdas que se agrega ao nó i

P_i : Valor da Pressão presente no nó i

K_i : Coeficiente do emissor no nó i

α : Expoente do emissor (0.5 valor que se usa como padrão para fugas)

O modelo (Darwin Calibrador – Leakege detection) tem sido formulado para identificar os valores do coeficiente do emissor (K) num dado número de possíveis nós com fugas:

Sistema: $x^{\rightarrow} = (LN_1^n, K_1^n); LN_1^n \in J^n; n = 1, \dots, N_{(Group)}; i = 1, \dots, N_{(Leak)}^n$

Objectivo - Minimizar : $F(x^{\rightarrow})$;

Sujeito a: $0 \leq K_i^n \leq K_{Max}^n$

Pontos de fuga: $nL = \sum_{n=1}^N (n-1)^{N_{Group}} \cdot N_{Leak}^n$

Onde:

LN_1^n : Indice para nó de fuga i no grupo n

K_1^n : Coeficiente do emissor no nó de fuga i para o grupo n ;

J^n : Conjunto de nós no grupo n ;

N_{Group} ; : *Número de Grupos de Demanda;*

N_{Leak}^n ; : *Número de nós com fugas no grupo N;*

4 CAPÍTULO IV. ÁREA DE ESTUDO

O presente capítulo reserva-se a descrição da área de estudo, apresenta-se os aspectos associados a contextualização, localização, histórico da cidade de Xai-Xai, caracterização do sistema de abastecimento de água em referência, aspectos que nortearam a delimitação e a recolha e tratamento da informação técnico operacional do objecto de pesquisa.

4.1 Generalidades

4.1.1 Contexto Histórico da Cidade de Xai-Xai

Xai-Xai, é uma urbe com um legado histórico que nos honra como munícipes, pois foi em 1897 após a ocupação colonial Portuguesa, designada Cabeça de Distrito, uma medida que tinha como objectivo a abertura de estabelecimentos comerciais, de acordo com a Portaria nº263 de 11 de Dezembro, como forma de os colonos aproveitarem o seu potencial produtivo. (CONSELHO MUNICIPAL DA CIDADE DE XAI-XAI, 2009)

Volvidos 14 anos a então povoação de Chai-Chai foi elevada à categoria de Vila por Decreto de 27 de Outubro de 1911.

No entanto, o regime colonial insatisfeito com a designação de Chai-Chai, a qual invocava a memória dum dos régulos que se notabilizou pela resistência à dominação estrangeira, esta, passou a ser designada Vila Nova de Gaza.

Inconformado ainda com o facto de o novo nome incluir “Gaza”, a 2 de Fevereiro de 1928 o regime colonial impôs a designação de Vila de João Belo.

Aos 7 de Outubro de 1961 por ocasião da visita do então Ministro do Ultramar, Dr. Adriano Morreira, a Vila de João Belo foi elevada à categoria de cidade e manteve o nome colonial até à Independência, altura em que o Governo da Frelimo decidiu resgatar o nome Xai-Xai, símbolo da insubmissão ao colonialismo.

Em 1998 Xai-Xai conhece o seu primeiro Governo eleito com a introdução das autarquias locais no País.

4.1.2 Aspectos físicos Naturais da Cidade de Xai-Xai

Xai-Xai possui duas zonas distintas, uma considerada zona alta e outra zona baixa. Todas, elas, enfrentam problemas de índole ambiental. Na zona alta, a ocupação espontânea para a construção de habitação e abertura de machambas nas dunas costeiras interiores acelera os processos de erosão e deslizamento de terras. Na zona baixa, onde os solos têm fraca capacidade de absorção de águas e onde a altitude está ao nível das águas do Rio Limpopo as inundações são frequentes. Os diques de defesa por vezes são insuficientes. Cerca de 60% do território de Xai-Xai não possui condições para o desenvolvimento de habitação nem infra-estruturas ou equipamentos. (CONSELHO MUNICIPAL DA CIDADE DE XAI-XAI, 2009)

Vegetação

Há uma predominância de vegetação arbórea e arbustiva recomposta de espécies fruteiras com maior incidência de mangueiras, coqueiros, mafureiras, e as de sombra como é o caso de casuarinas e acácias. Há que realçar a tendência de manutenção das espécies fruteiras por parte da comunidade sendo estas, fonte de alimentação, para além do importante papel que desempenham no equilíbrio ecológico. Nota-se também a presença de muita vegetação herbácea ao longo das ruas, este recurso usado pela comunidade na prevenção da erosão, dado estas zonas serem muito susceptíveis a este fenómeno.

Solos

O distrito de Xai-Xai estende-se por dois grandes tipos fisiográficos que são a planície aluvionar do rio Limpopo e um planalto circundante arenoso (serra) de origem eólica. A transição entre os dois tipos é feita por encostas declivosas, onde muitas vezes ocorre a formação de solos hidromórficos. Os tipos de solos mais predominantes são argilosos nas baixas e os arenosos nas serras. Os solos da serra são predominantemente arenosos, grosseiros muito profundos. As cores variam de alaranjada á acastanhadas. As areias vermelhas têm uma melhor retenção de água.

Clima

Xai-Xai é influenciado pelos anticiclones dos oceanos indico e atlântico, pela célula continental de alta pressão durante a época fresca e pela depressão continental de origem térmica durante a época quente. Ainda pela sua posição geográfica, o distrito encontra-se na zona de influência de sistemas frontais que transportam massas de ar polar marítima que podem originar chuvas e

aguaceiros na época fresca, aguaceiros e trovoadas na época quente. A precipitação média anual varia de 825mm á 1145mm, decrescendo muito rapidamente da costa para o interior. Os valores da evopotranspiração mensal são ligeiramente mais elevados no interior e na costa, devido a baixa precipitação e as elevadas temperaturas.

Hidrografia

O Limpopo é o principal rio “perene”. A qualidade da água varia com a precipitação recebida a norte da bacia hidrográfica na estação seca, a sua água é salgada devido a intrusão salina. Ocorre igualmente a predominancia de águas subterrâneas alojadas em aquíferos dunares típicas das zonas costeiras, sendo que estes são a principal fonte de abastecimento de água para urbe através de furos construídos nas dunas espalhadas ao longo da cidade.

Relevo

O distrito de Xai-Xai está dividido em duas unidades morfológicas: o planalto arenoso (serra) e o Vale. A serra é caracterizada por dunas arenosas muito onduladas, de altitude regular em direcção ao norte e interrompidas por lagos fechados permanentes de 3 a 5km em direcção ao mar. o vasto vale do Limpopo é, em geral, plano, descendo gradualmente de 11m no norte para o nível do mar. A cidade de Xai-Xai é predominantemente composta por planícies aluvionares e planalto arenoso.

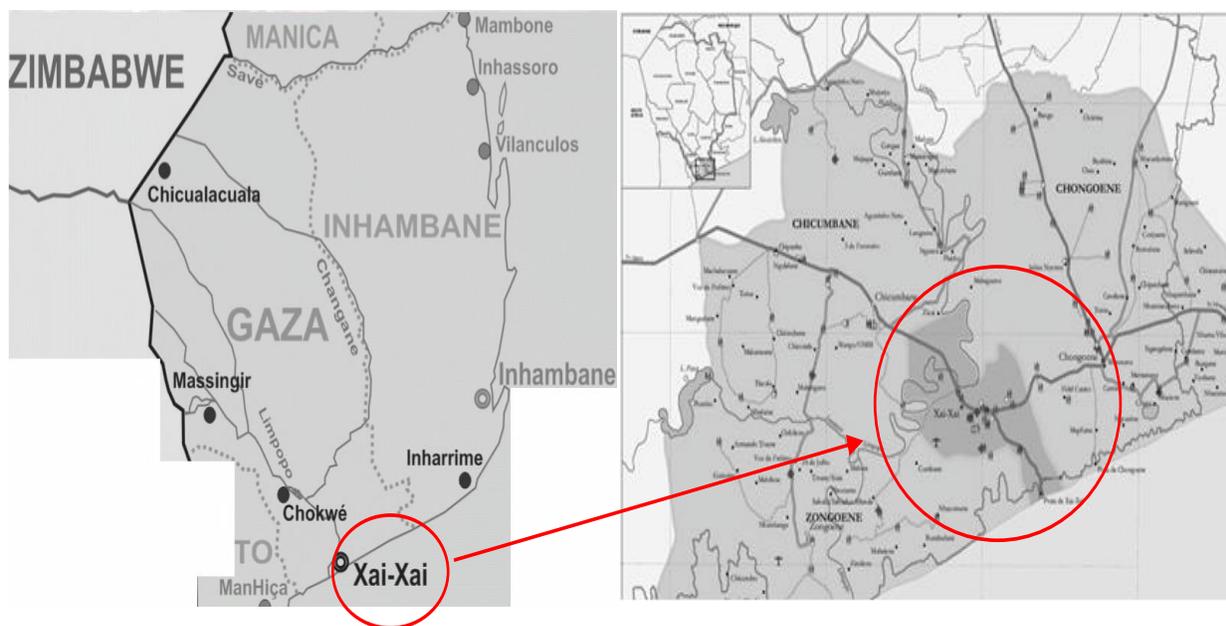
4.2 Localização da Área de Estudo

A cidade de Xai-Xai está localizada na Região Sul de Moçambique constituindo a capital da Província de Gaza, se estende em cerca de 131 km² e localiza-se a 210 km a **Norte** da cidade de Maputo, capital da República de Moçambique, limitando-se a **Sul** pela localidade de Chilaulene e pelo oceano Indico; a **Este** pelo posto administrativo de Chonguene, a **Oeste** pelo posto administrativo de Chicumbane e a Norte pelos rios Limpopo e Ponela. Cidade definida como centro de organização e apoio as actividades económicas do complexo Agro-Industrial do Limpopo, por se encontrar numa posição privilegiada quanto ao tráfego rodoviário. (CONSELHO MUNICIPAL DA CIDADE DE XAI-XAI, 2009)

Com uma população actualmente estimada em 284 000 habitantes, distribuída por uma superfície de cerca de 131 km². Cidade de Xai-Xai com características marcadamente urbanas, possui um padrão e tecido rico e diversificado, constituído por uma estrutura de cerca de 12 Bairros.

A figura abaixo indica o mapa de localização geográfica da cidade de Xai-Xai.

Figura 3: Mapa de localização da cidade de Xai-Xai



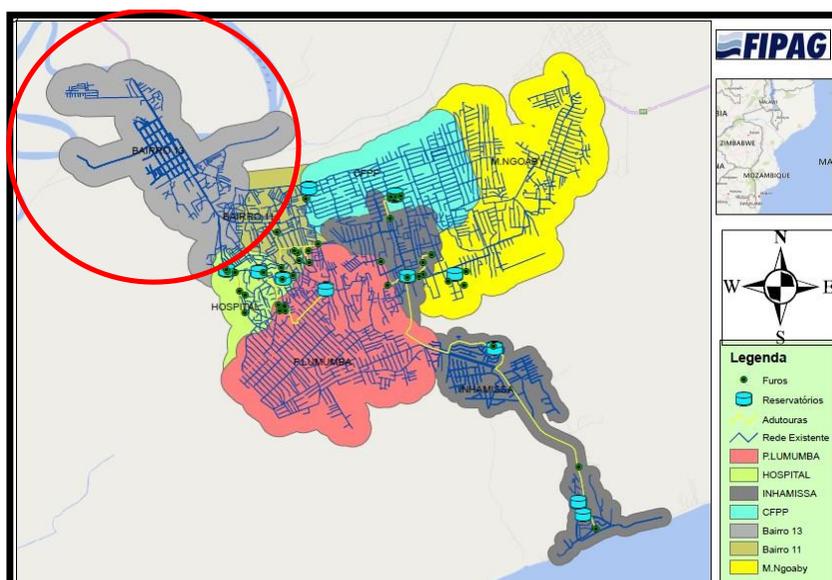
4.3 Sistema de Abastecimento de Água da Cidade de Xai-Xai

O SAA da Cidade de Xai-Xai foi integrado no Quadro de Gestão Delegada em 2004. Tem a sua fonte, a água subterrânea, captada através de furos construídos ao longo dos aquíferos localizados nas dunas costeiras na zona alta da cidade.

Este sistema tem a capacidade instalada de produção na ordem de $1.300\text{m}^3/\text{h}$, é constituído por um conjunto de 13 subsistemas que abastecem água à cidade, nomeadamente: Bairro 11, Bairro 13, Hospital, Patrice Lumumba, Inhamissa 6, CFPP, Marien Ngouaby, Chinunguine, Praia e ainda 04 Pequenos Sistemas que abastecem povoações satélites de Chicumbane, Julius Nyerere, Muhetane e Chongoene. Cada subsistema é composto por um campo de furos, conduta adutora, Centro distribuidor e uma rede de distribuição. O sistema dispõe de um total de 52km de condutas adutoras e 498km rede de distribuição, beneficiando cerca de 153.700 pessoas através de 30.000 ligações domiciliárias activas e 23 fontanários.

O mapa da figura 4 abaixo ilustra a extensão da rede de distribuição e localização dos principais centros distribuidores que compõem os subsistemas do SAA de Xai-Xai. A região de rede circundada com a linha vermelha representa o subsistema da área de estudo.

Figura 4: Layout geral do SAA de Xai-Xai Fonte: (Fonte: FIPAG Região Sul- Cadastro Técnico 2017)



Os principais indicadores de desempenho operacional do sistema apresentam-se na tabela, abaixo.

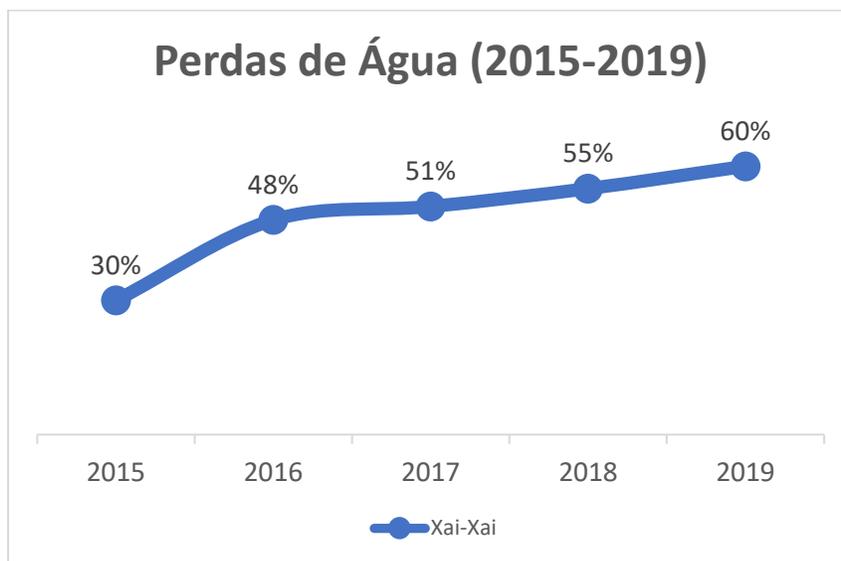
Tabela 2: Indicadores Operacionais SAA Xai-Xai: (Fonte: FIPAG Região Sul - Relatório Anual 2019)

Indicador	Unid.	Valor
Capacidade Produção Instalada	m3/h	1.300
Volume Produzido	m3/h	1.208
Volume Facturado	m3/h	532
Valor Facturado	Mt/mês	14.000.000
Racio De Cobranças	%	80
Perdas de Água (NRW)	%	60%
Tempo Médio de Distribuição	hr/dia	14
Taxa de Cobertura	%	77

As perdas de água no sistema de Xai-Xai são elevadas constituindo assim um desafio para melhorar o desempenho operacional, o que de alguma forma justifica a escolha deste sistema para o desenvolvimento do presente estudo. O gráfico abaixo ilustra a tendência de crescimento deste indicador no intervalo de 2015 a 2019 mercê da crescente degradação da rede de distribuição, existência de instalações sem contadores e ou avariados e baixa pressão em determinados pontos

de rede do sistema devido a crescente demanda propiciando desta forma o surgimento de ligações clandestinas bem como a vandalização da rede de distribuição em áreas com limitação de serviço.

Gráfico 1: Evolução das perdas 2015/2019 SAA Xai-Xai. (Fonte: FIPAG Região Sul - Relatório Anual 2019)



4.3.1 Subsistema Do Bairro 13

O subsistema do BAIRRO 13 tem como fonte de captação a água subterrânea constituído por um campo de 06 furos com capacidade de produção instalada na ordem de 226 m³/h e explorada em cerca de 120 m³/h, um centro distribuidor composto por um depósito semi-enterrado com capacidade de reserva de 1.100m³. A rede de distribuição foi instalada há cerca de 20 anos no âmbito da reconstrução das infraestruturas pós cheias de 2000 que assolaram a região sul de Moçambique com maior incidência nas cidades de Xai-Xai e Chókwe em Gaza e cidades de Maputo e Matola na Província de Maputo.

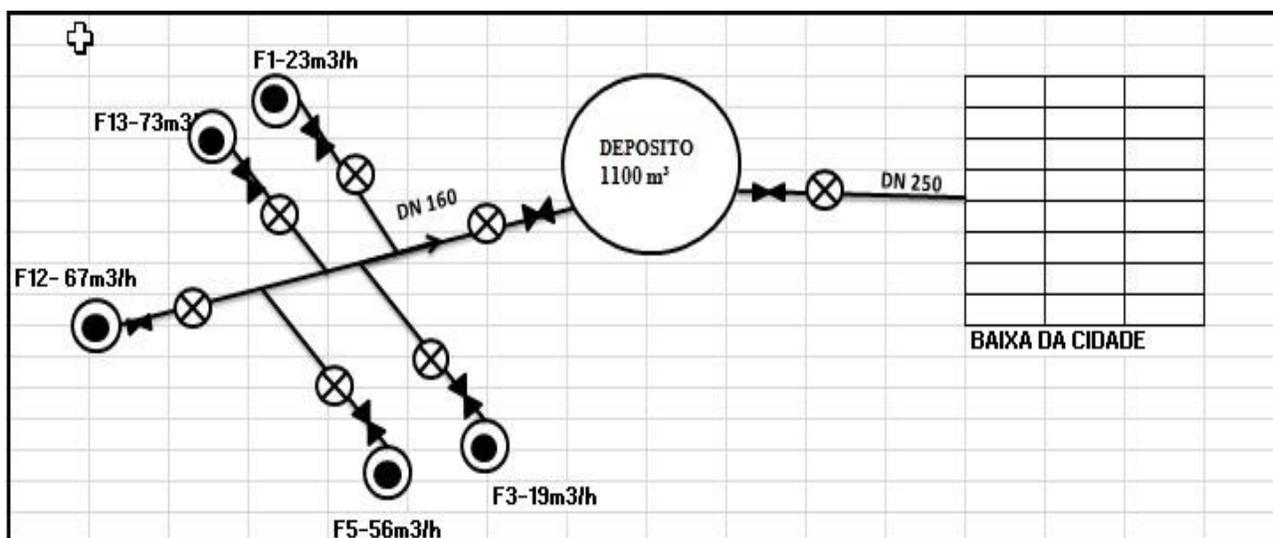
A rede de distribuição é de aproximadamente 32km, sendo maioritariamente composta em condutas de material PVC e HDPE com diâmetros que variam de DN50 a DN250. A conduta de transporte (do depósito á rede) tem um extensão de 8.9km em PVC DN200.

O subsistema do BAIRRO 13 abastece cerca de 4.000 clientes localizados na zona cimento que coincidentemente é a zona baixa da cidade de Xai-Xai onde se desenvolve a actividade comercial, e estão concentradas maior parte das infraestruturas e serviços da cidade. Em termos de categoria de clientes, maioritariamente são domésticos representando perto de 90%, os restantes 10% são

de categoria comercial e serviços. Existe igualmente um total de 18 fontanários que abastecem água a população de baixa renda, dos quais apenas 06 estão operacionais.

A figura abaixo apresentada, ilustra a composição esquemática do subsistema do BAIRRO 13, o qual será objecto de modelação e simulação hidráulica para optimização operacional e redução de perdas físicas de água.

Figura 5: Representação Esquemática do Subsistema do Bairro 13 (Fonte: FIPAG Região Sul- Cadastro Técnico 2017)



Os indicadores operacionais do subsistema do BAIRRO 13 apresentam em média 50% de perdas, contribuindo assim, com cerca de 9.2% de perdas totais no sistema geral. A carteira de clientes abastecida por este sistema representa uma cobertura de serviço na ordem de 14%.

A zona baixa da cidade de Xai-Xai tem uma cobertura de asfalto nas principais vias e passeios revestidos de betão, facto que por vezes torna difícil a identificação de pontos com perdas de água devido a fugas, revelando-se assim de capital importância a abordagem analítica de detecção de fugas debruçada na presente pesquisa.

O apêndice 9 ilustra as imagens representativas do CD e campo de furos do subsistema do BAIRRO 13 e apêndice 10 a zona baixa da cidade de Xai-Xai (área de estudo).

4.4 Delimitação da Área de estudo

Dada a dimensão e complexidade para efectuar o estudo em todo sistema da cidade, o critério usado para a delimitação da área de estudo é o rácio de fugas/km de rede. No entanto, foi escolhido

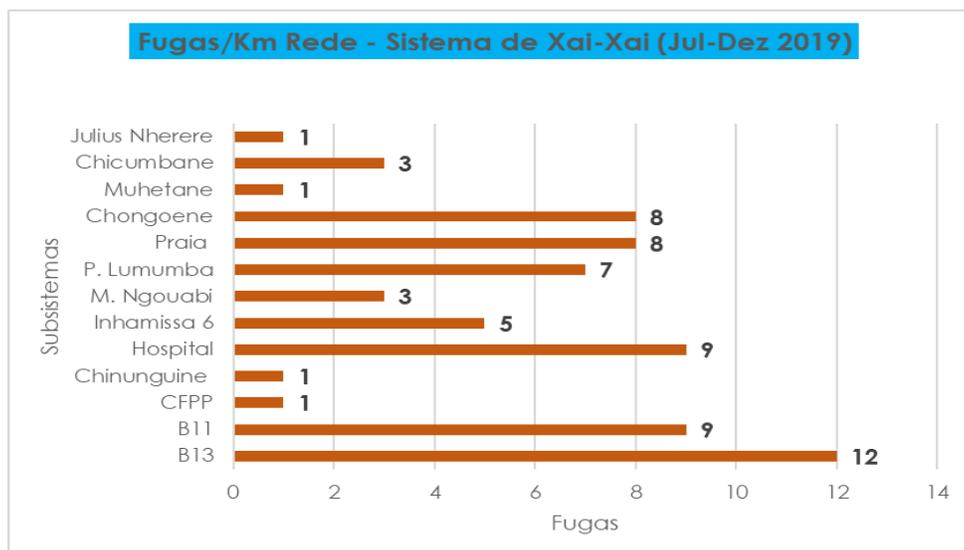
o subsistema do Bairro 13, por ter maior rácio de fugas/km de rede, conforme análise do histórico de fugas no período compreendido entre Julho a Dezembro de 2019. A escolha deste período para análise do histórico de fugas deveu-se a disponibilidade e consistência da informação operacional existente no FIPAG Xai-Xai, durante este período foi possível ter os registos de fugas em todos subsistemas.

A tabela abaixo e o gráfico da figura 6, apresentam o histórico de fugas e o cálculo do rácio fugas/Km de rede por subsistema.

Tabela 3: Histórico de fugas 2º semestre 2019 - SAA de Xai-Xai. (Fonte: FIPAG Xai-Xai – 2019)

Item	local	Fugas registadas 2019 (Julho - Dezembro)								Extensão de Tubagem (Km)	Rácio Fugas/Km rede
		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total	Peso		
1	B13	53	66	32	40	146	39	376	12,30%	32	12
2	B11	87	137	126	136	110	91	687	22,50%	73	9
3	CFPP	3	16	2	3	10	6	40	1,30%	53	1
4	Chinunguine	6	29	14	20	0	7	76	2,50%	54	1
5	Hospital	21	43	17	57	15	12	165	5,40%	18	9
6	Inhamissa 6	44	60	69	48	31	42	294	9,60%	62	5
7	M. Ngouabi	40	88	49	59	54	42	332	10,80%	103	3
8	P. Lumumba	48	148	149	133	104	85	667	21,80%	94	7
9	Praia	3	26	20	13	151	134	347	11,30%	44	8
10	Chongoene	0	22	3	4	11	17	57	1,90%	7	8
11	Muhetane	0	0	2	0	0	0	2	0,10%	2	1
12	Chicumbane	4	3	3	4	0	0	14	0,50%	5	3
13	Julius Nherere	0	0	0	0	3	0	3	0,10%	4	1
Total		309	638	486	517	635	475	3060	100,00%	551	6

Figura 6- Representação gráfica fugas/Km de Rede do SAA de Xai-Xai. (Fonte: Autor)



Observando os dados acima apresentados, os subsistemas do B11 e de Patrice Lumumba são os que tiveram maior número de fugas registadas no período em análise. Porém o subsistema do BAIRRO 13 é que representa o maior rácio de fugas de água por extensão de tubagem existente totalizando 12 fugas/km de rede contra 9 dos subsistemas do Hospital e BAIRRO 11.

4.5 Recolha e Tratamento da Informação para o Modelo da Área do Estudo

Por forma a construir o modelo hidráulico da rede do BAIRRO 13 do sistema de Xai-Xai foram recolhidas e analisadas informações técnicas do cadastro do sistema contidas na base de dados de gestão técnica e comercial em uso no FIPAG Xai-Xai, nomeadamente o Geographic information system Software (GIS), para dados técnicos, e o PhC - software de gestão comercial para dados dos consumos de clientes.

A localização dos clientes dos clientes e sua associação aos nós de demanda incluindo a verificação e validação do cadastro de rede em uso no modelo foi efectuada através do processo de georreferenciamento usando o GPS de Marca Trimble.

Com base no histórico de registo de informação técnico operacional existente (volumes e caudais produzidos e distribuídos nos centros de captação e de distribuição do subsistema do BAIRRO 13) determinou-se os padrões de consumo usados no modelo. O apêndice 3, apresenta os dados de entrada e saída da captação e dos CD usados para criação dos padrões de consumo.

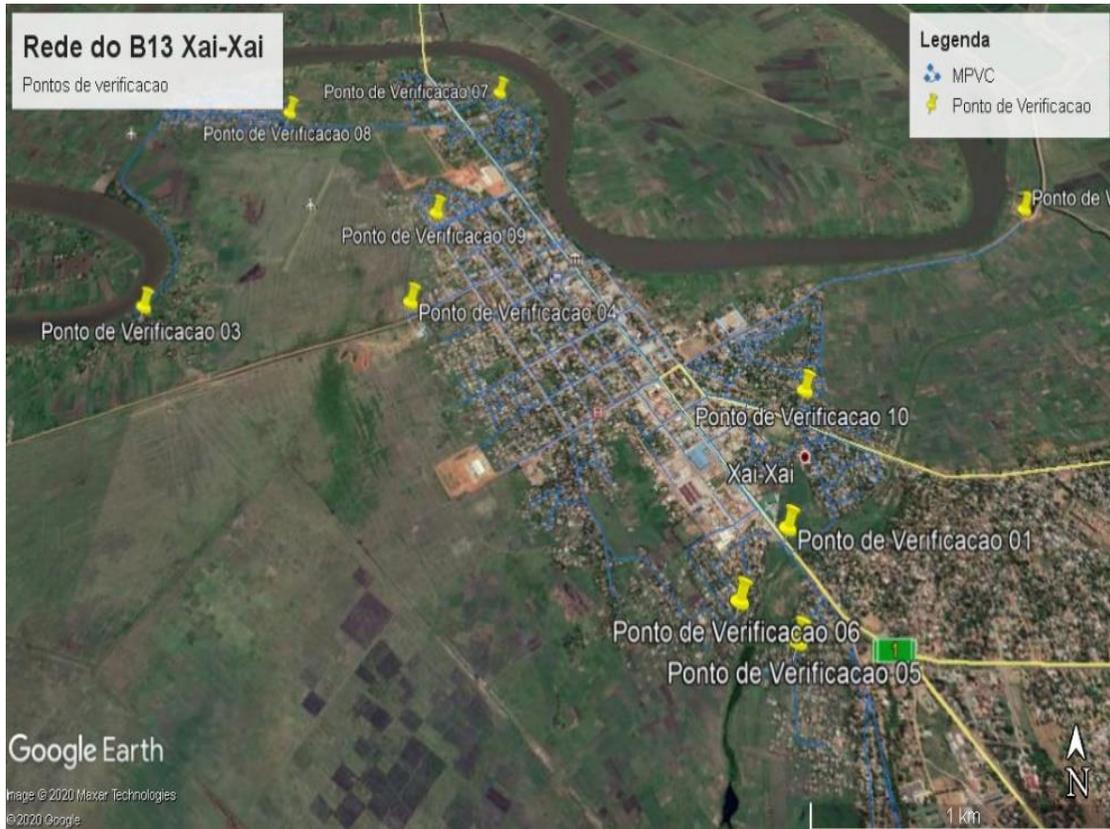
A determinação dos consumos nos nós foi com base no desenho de polígonos que representam um conjunto de clientes e associa – los a um nó de demanda. Ou seja, após criar um polígono com um conjunto de clientes, depois foi associado todos clientes dentro do polígono ao nó no interior do polígono. Para o caso de clientes grandes, dada a sua dimensão foram considerados o seu consumo para um unico nó/polígono. Vide o Apêndice 5. *Mapa de nós de consumo com os polígonos associados.*

4.5.1 Levantamento de valores observados

Para a colecta da informação técnica a ser objecto de calibração e optimização do modelo foram identificados aleatoriamente 10 pontos na rede da área de estudo para registo dos valores de caudal e pressão.

A figura abaixo indica os pontos de amostragem definidos para a recolha dos dados na rede do subsistema do BAIRRO 13 em Xai-Xai.

Figura 7: Pontos de observação de dados. Fonte: Autor, adaptado do Google earth



Após o processo de identificação dos locais para colecta dos dados de campo foram instalados aparelhos para a medição de caudal e velocidade nos trechos de condutas e para medição de valores de pressão nos nós.

A medição, registo e recolha de dados técnicos operacionais, nomeadamente a pressão, caudal, velocidade, localização e consumo de clientes, para alimentar o modelo da área de estudo foi efectuado com recurso aos aparelhos disponíveis no FIPAG Xai-Xai.

- **Medição de Valores de Caudal e Velocidade na Rede**

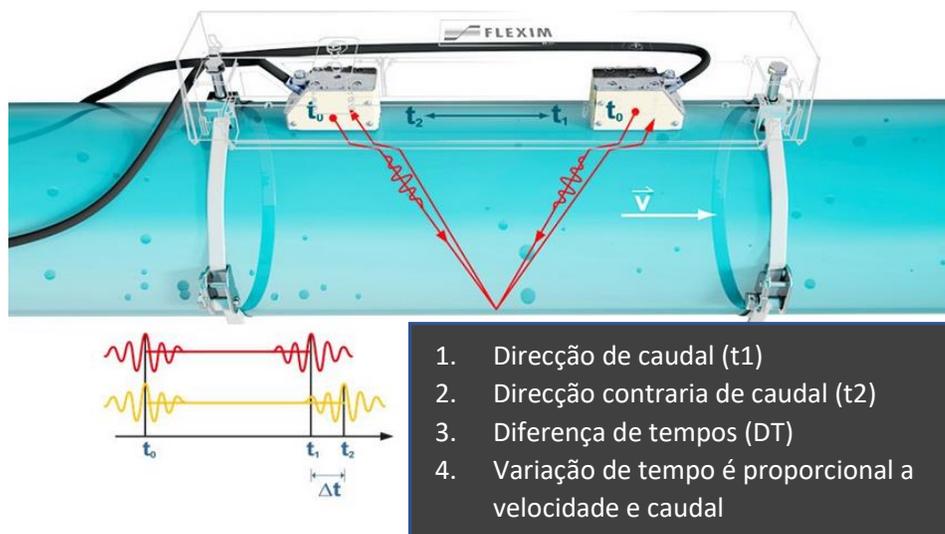
Os valores de caudal foram medidos pelo medidor ultrassónico, de Marca Flexim, modelo FLUXUS F601 cujas características resumem se na tabela a seguir.

Tabela 4: Características do medidor portátil Fluxus F601 usada para medições de caudal no campo

Tecnologia	ultrassônico
Fluído	Para líquidos
Outras Características	4-20 mA, de precisão, bidirecional, contador de energia, com abraçadeira, portátil, robusto, ATEX, IP65, IP67
Aplicações	Industrial
Temperaturas de processo	MÍN: -200 °C (-328 °F) MÁX: 600 °C (1.112 °F)

Os medidores FLUXUS F601 são medidores de caudal ultrassônicos não invasivos que emitem pulsos ultrassônicos a montante e a jusante. A diferença de tempo entre a favor e contra é proporcional à velocidade do fluxo. Conhecendo o diâmetro interno do tubo e portanto a área, obteremos a caudal ($Q = v.A$). A figura a seguir ilustra o princípio de funcionamento do medidor ultrassónico fluxus 601 usado durante o trabalho de campo.

Figura 8: Princípio de funcionamento do Fluxus F601 para a medição de caudal



O Fluxus F601 é o medidor de caudal portátil “clamp-on” com maior aplicação em actividades de manutenção, controle e auditoria dos pontos de medição não abrangidos pelos medidores permanentes, ou mesmo para substituição temporária de medidores de caudal instalados permanentemente. Permite ter a medição pronta em menos de 5 minutos, incluindo a medição da espessura do tubo de parede, a conexão dos transdutores no transmissor, a parametrização do medidor de caudal e, finalmente, a montagem dos transdutores.

A figura 9 ilustra um dos locais de medição dos dados de campo com o medidor de caudal instalado na rede do BAIRRO 13.

Figura 9: Fluxos 601 durante o processo de medição de caudal nos trechos na rede do BAIRRO 13 – Cidade de Xai-Xai



- **Medição de valores de Pressão**

Os valores de pressão foram medidos com base em manómetros analógicos de marca WIKA instalados nos diversos pontos previamente definidos. A tabela a seguir apresenta em síntese a caracterização dos manómetros usados na área de estudo.

Tabela 5: Características técnicas do Manómetro de Pressão usado para medição dos dados de campo

Visor	Analógico
Tipo de Tecnologia	Com tubo de Bourdon com enchimento de líquido
Outras Características	Em aço inoxidável, IP65, com rosca
Aplicações	De processo, para gás, para líquidos, para aplicações hidráulicas
Pressão	MÍN: 0 bar MÁX: 16 bar

Para casos similares o mais ideal seria aplicar manómetros digitais ou dataloggers cujo registo é mais fiável e conseguem registar todos valores instantaneos, no entanto, dada a indisponibilidade destes na empresa, foram aplicados os manómetros analógicos que para além da baixa fiabilidade necessitam de mão de obra adicional. Com o apoio do FIPAG Xai-Xai foi possível ter o registo dos valores de pressão em todos pontos previamente indicados uma vez ter sido alocado para este

fim uma equipa de trabalho dedicada para fazer o registo das leituras instantâneas nos manómetros bem como a disponibilização de um agente para velar pela segurança do equipamento durante os dias de medição.

As figuras abaixo ilustram um dos pontos de medição com o manómetro instalado e a equipa envolvida no registo dos dados.

<i>Figura 10: Manómetro analógico instalado</i>	<i>Figura 11: Equipa envolvida no processo de medição</i>
 A close-up photograph of an analog pressure gauge mounted on a vertical metal pipe. The gauge has a white face with black markings and a needle. The pipe is situated in a shallow, earthen well or pit. The background shows a concrete wall and some vegetation.	 A photograph showing three people at an outdoor measurement site. One person in a blue shirt and cap is bent over, working with equipment in a shallow pit. Two other people, one in a dark shirt and one in a red shirt, are standing nearby, observing. A green metal fence is in the background, and a white and red traffic cone is visible in the foreground.

5 CAPÍTULO V. MODELAÇÃO HIDRÁULICA DA REDE DO BAIRRO 13

No presente capítulo é apresentado o processo de construção e simulação hidráulica do modelo da rede de distribuição da área de estudo.

5.1 Modelo hidráulico Inicial.

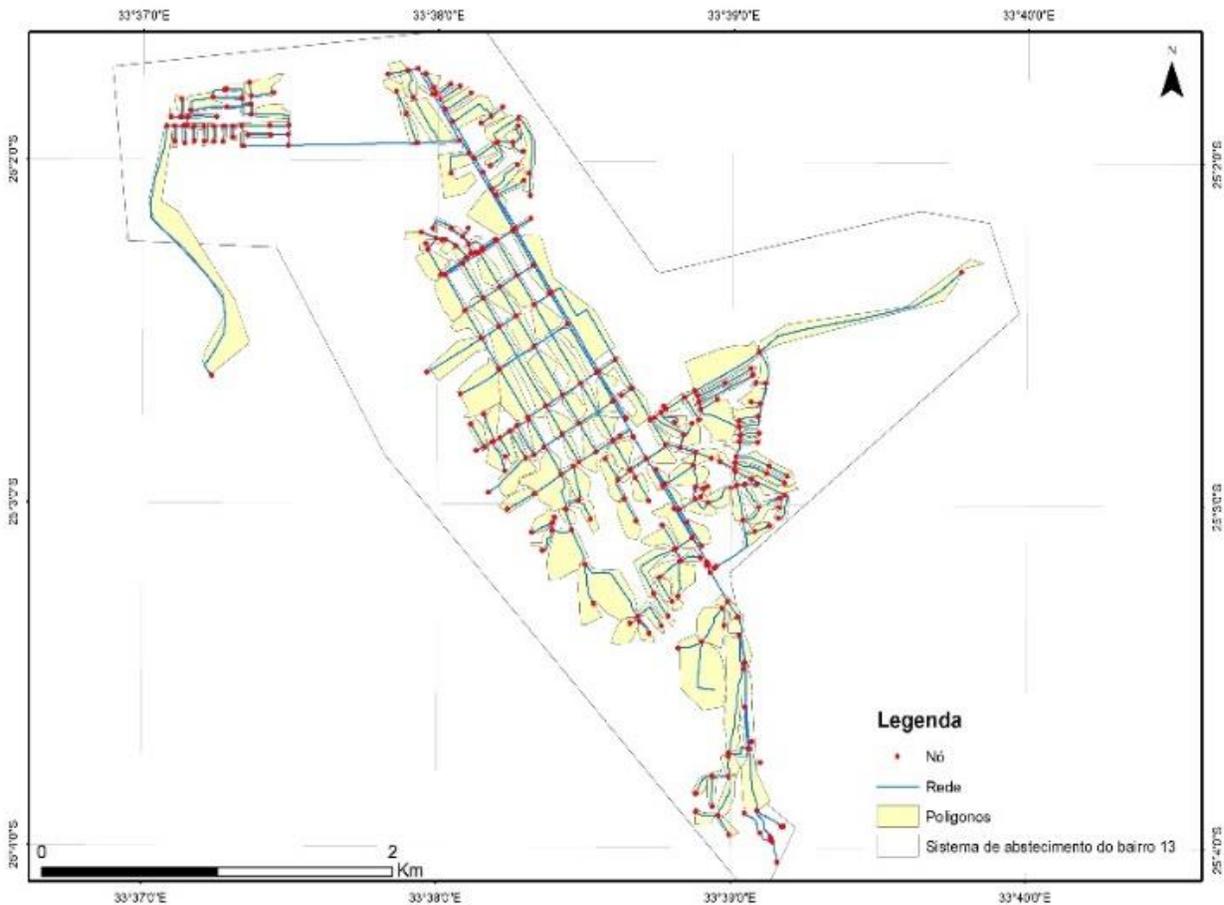
Conforme referido anteriormente o EPANET 2.0 é uma ferramenta aberta, de acesso livre e disponível no mercado sem custos e, dada a esta facilidade, foi usada para a criação do modelo inicial e de experimentação metodológica para aferir e validar a abordagem da pesquisa. A tabela abaixo apresenta o resumo dos elementos que compõem o modelo hidráulico da rede na área de estudo criado no EPANET 2.0.

Tabela 6: Elementos constituintes do Modelo Hidráulico da Rede do BAIRRO 13 da cidade de Xai-Xai (Fonte: EPANET 2.0)

Elementos	Valor
RNF	6
RNV	1
Tubagem	358
Nós	318
Nr de Bombas	6
Nr de Válvulas	0
Unidades de Caudal	CMH
headloss Formula	D-W
Parâmetros de qualidade	Nenhum

Os elementos descritos na tabela 7 acima, são graficamente representados no mapa abaixo – Layout do modelo hidráulico da área de estudo criado.

Figura 12: Modelo Hidráulico da Rede do BAIRRO 13 – SAA Xai-Xai. Fonte EPANET 2.0



A figura acima indica o modelo hidráulico da rede do sistema do BAIRRO 13 criado no EPANET 2.0, onde os polígonos em amarelo representam o conjunto de demandas dos clientes que foram associados aos nós localizados no interior do respectivo polígono, ou seja cada polígono está associado a um único nó contendo o somatório dos consumidores dentro polígono.

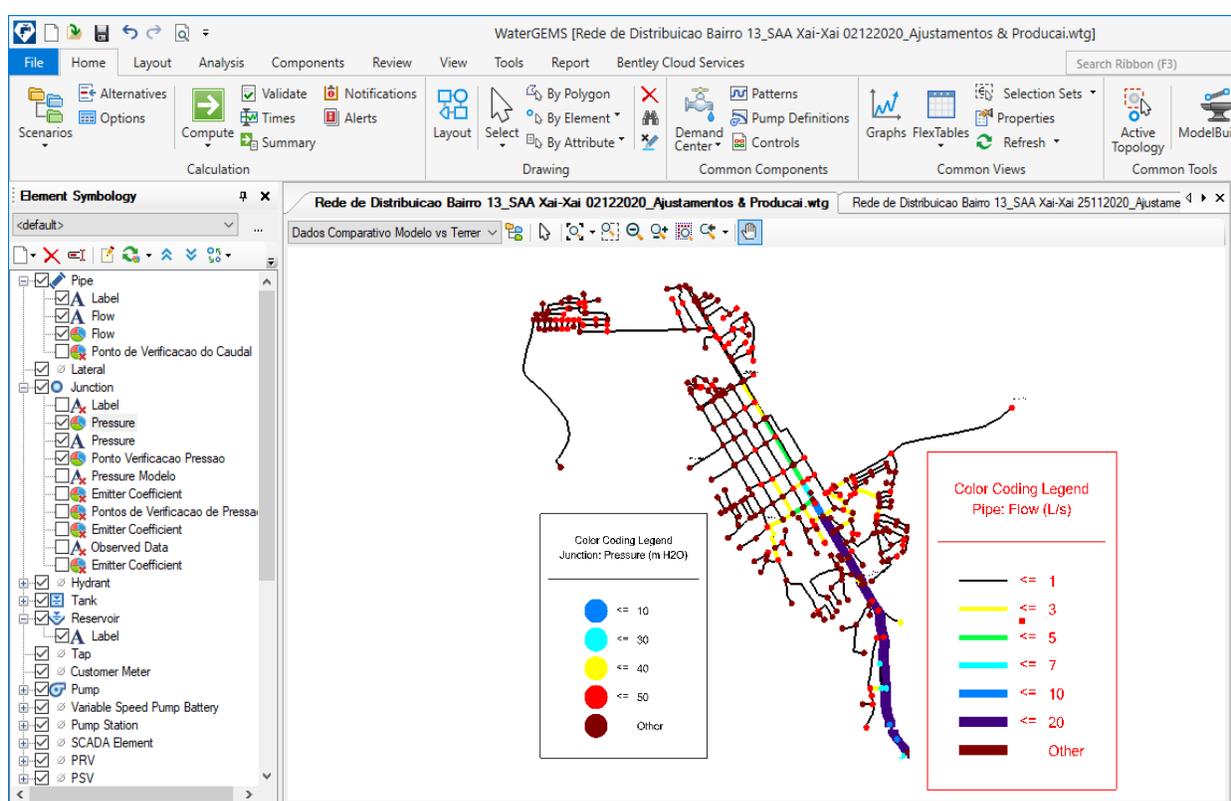
Atendendo a dimensão da rede de distribuição em estudo e o objectivo da pesquisa encontramos no EPANET 2.0, algumas limitações para melhor desenvolver o trabalho e apresentar resultados fiáveis em menos tempo. Nesta sequência, por forma a responder a esta necessidade, após a criação e validação do modelo hidráulico inicial recorreu se ao software comercial WATERGEMS da Bentley para desenvolvimento das fases subsequentes da pesquisa (simulação, calibração e optimização da rede da área de estudo). Refira-se que o software WATERGEMS, tem incorporado o AG para o processo de calibração automática e dispõe de um algoritmo acoplado ao Darwin Calibrator – Leakege detection para identificação de fugas e perdas de água no modelo de rede.

5.2 Simulação Hidráulica do Modelo da Rede Do BAIRRO 13

De forma a avaliar o actual estado do modelo de rede da área de estudo efectuou-se a importação deste, do EPANET 2.0 para o software comercial WATERGEMS V8 da Bentley para efeitos de simulação hidráulica do modelo.

Da simulação de partida e com base na versão do modelo importado do EPANET 2.0, os resultados apresentam-se conforme ilustra-se no mapa da figura13, abaixo.

Figura 13: Resultado da simulação do modelo da rede do BAIRRO 13. Fonte: Modelo criado no WATERGEMS da Bentley



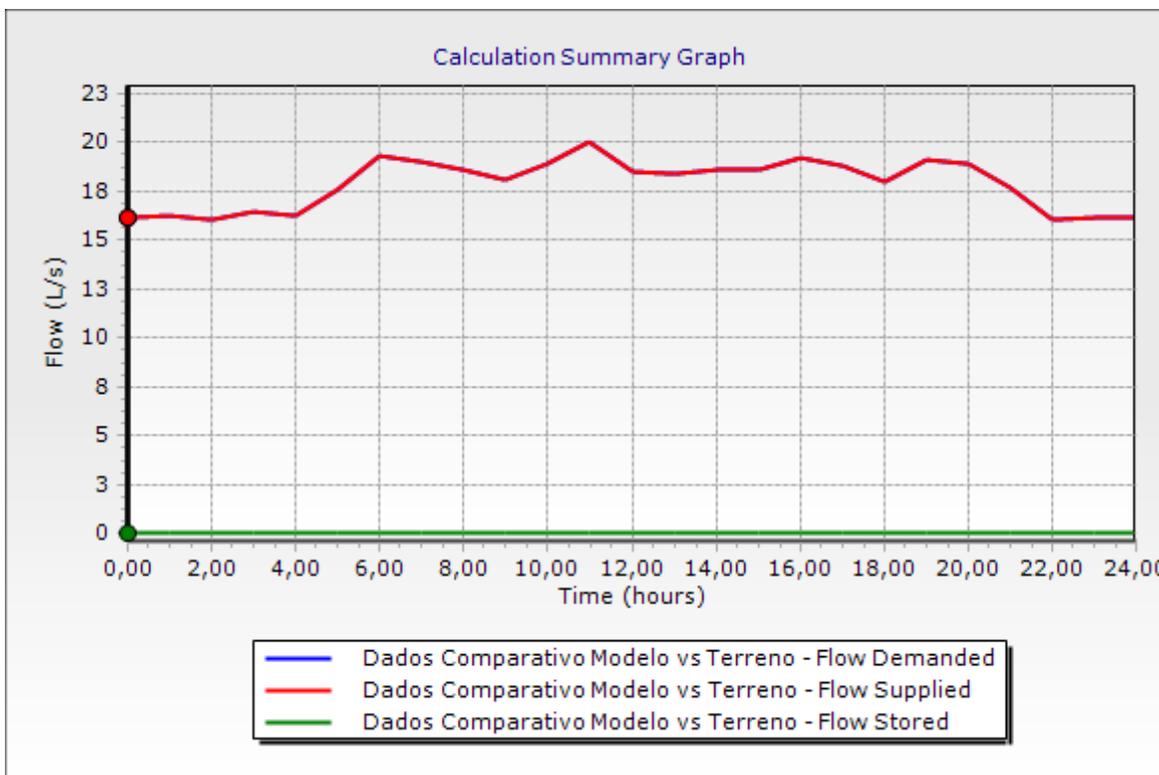
Da análise efectuada na simulação de partida e como pode-se observar na figura acima, em quase toda rede o modelo revela pressões elevadas acima de 50 mca (cor vermelha e castanha escuro) e caudal médio na ordem de 17,8 l/s.

O valor de caudal tendo em conta a realidade do sistema representa apenas metade da capacidade de produção actualmente praticada que está na ordem de 35l/s, revelando assim uma diferença na ordem de 50%. A demanda de 17,8 l/s é resultante dos dados comerciais da média de consumos dos clientes facturados e registados no sistema de gestão comercial do FIPAG Xai-Xai.

Os valores de pressão, também apresentam uma diferença significativa na ordem de 30 mca, dado que na realidade do sistema (conforme os valores observados) as pressões praticadas actualmente estão na ordem de 10 a 30 mca em média.

O gráfico abaixo apresenta o balanço da água do modelo da rede do BAIRRO 13 entre a demanda e a produção na simulação inicial com aplicação do WATERGEMS.

Gráfico 2: Balanço da água no sistema. Fonte: Software WATERGEMS



O gráfico 2 indica que existe uma sobreposição entre as duas variáveis (Demanda e Produção), isto é, a demanda é igual a produção. Portanto, este resultado indicado na representação gráfica acima é que devia ser ideal se estivessemos em uma situação do sistema sem perdas de água, mas a realidade é diferente.

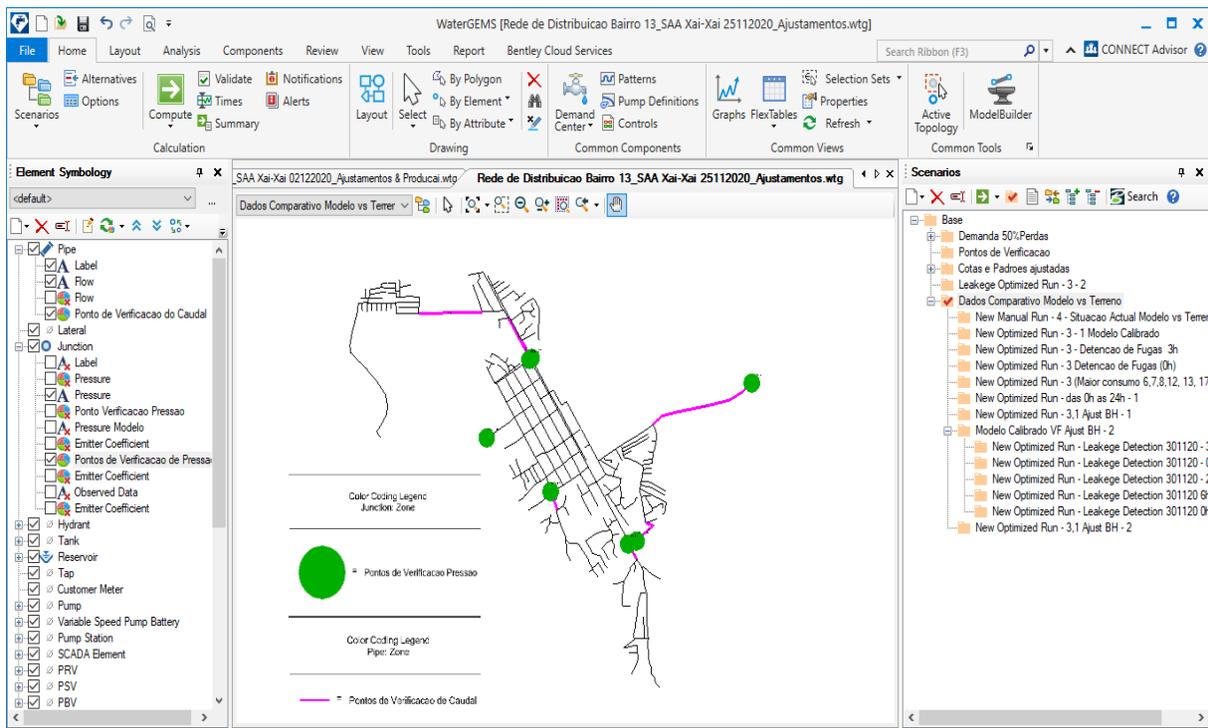
A captação do sistema do BAIRRO 13 da cidade de Xai-Xai tem uma produção média horária na ordem de 35l/s, portanto a actual demanda resultante dos dados comerciais representa cerca da metade do que realmente é captado e distribuído neste sistema, o que significa que quer a variável demanda assim como produção apresentados acima não conferem a realidade verificada no terreno.

5.2.1 Análise comparativa dos resultados do Modelo Vs Observados

De forma a validar os resultados do modelo desenhado foram identificados aleatoriamente 10 pontos a nível da rede da área de estudo para medição dos valores de pressão nos nós e caudal nas condutas.

O mapa abaixo indica a localização dos pontos de colecta dos dados observados (de campo), onde os troços a cor de rosa representam os locais de medição de caudal e os pontos verde são nós usados para medição de pressão.

Figura 14: Pontos de verificação dos dados Fonte:: Extraído do Modelo do B13 no Software WATERGEMS



A medição dos valores de campo teve lugar nos meses de Julho e Agosto de 2020, em diferentes dias de semana tendo como referência os dias de meio de semana sobretudo terças, quartas e quintas feiras uma vez serem representativos para a realidade de consumos e produção no SAA da cidade de Xai-Xai.

5.2.1.1 Registo de Pressão

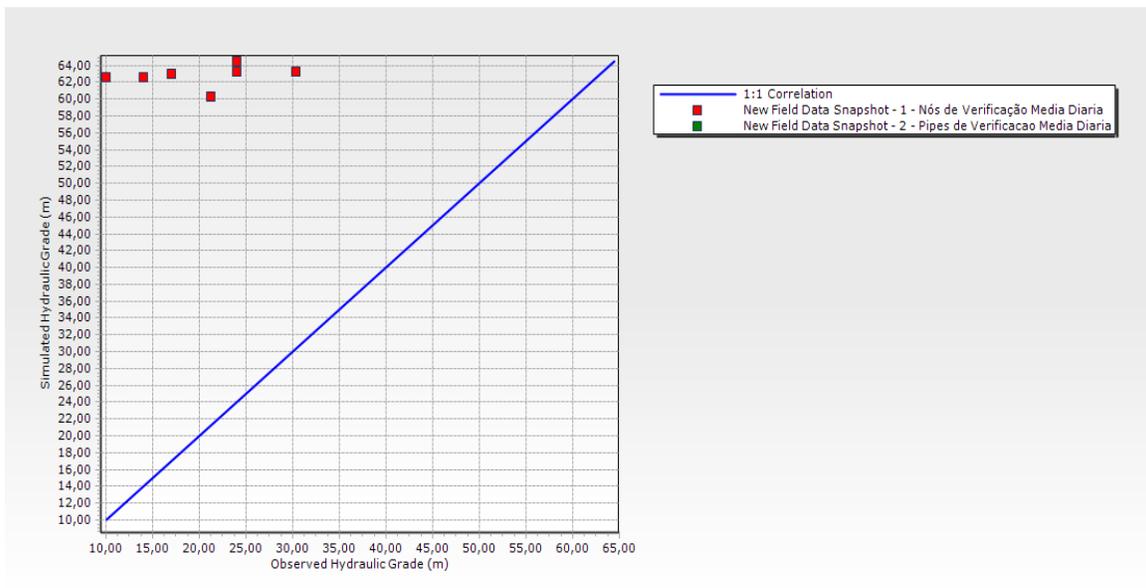
Após o levantamento do campo foi efectuada o processamento da informação e inserida no sistema para efeitos de comparação. A tabela 8 apresenta os resultados da análise comparativa dos dados

de pressão e caudal levantados no terreno vs modelo, e o gráfico 3 representa a respectiva correlação entre os valores gerados pelo modelo e observados.

Tabela 7: Tabela de correlação de pressão modelo vs observados (Fonte.WATERGEMS-Modelo hidráulico do Bairro 13)

Simulated Results					
	Field Data Snapshot	Junction	Observed Hydraulic Grade (m)	Simulated Hydraulic Grade (m)	Difference (m)
1	901: New Field Data Snapsl	165: n249	30,30	63,33	33,03
2	901: New Field Data Snapsl	164: n250	24,00	63,33	39,33
3	901: New Field Data Snapsl	185: n227	10,00	62,65	52,65
4	901: New Field Data Snapsl	294: n103	17,04	63,00	45,96
5	901: New Field Data Snapsl	349: n44	24,00	64,50	40,50
6	901: New Field Data Snapsl	335: n58	21,25	60,31	39,06
7	901: New Field Data Snapsl	204: n203	14,00	62,65	48,65

Gráfico 3: Gráfico de correlação de pressão modelo vs observados (Fonte.WATERGEMS-Modelo hidráulico do Bairro 13)



De como pode-se observar na tabela e gráfico acima, temos diferenças significativas dos valores da pressão observada e gerada pelo modelo, portanto, a pressão do modelo é bastante elevada que a pressão no terreno. Os valores de pressão no modelo são iguais ou superiores a 50 mca em quase maior parte dos nós e os observados variam entre 10 a 30 mca. Esta diferença dos valores de

pressão é muito significativa, revelando assim a necessidade de calibração do modelo para aproximar a situação real.

5.2.1.2 Registo de caudal

Por outro lado, a análise comparativa foi efectuada nos valores de caudal. A tabela 9 e o gráfico 4 apresentam os resultados da análise comparativa dos valores da demanda.

Tabela 8: Dados comparativos de caudal do modelo vs Observado (Fonte.WATERGEMS-Modelo hidráulico do Bairro 13)

l.wtg)

olution Simulated Results

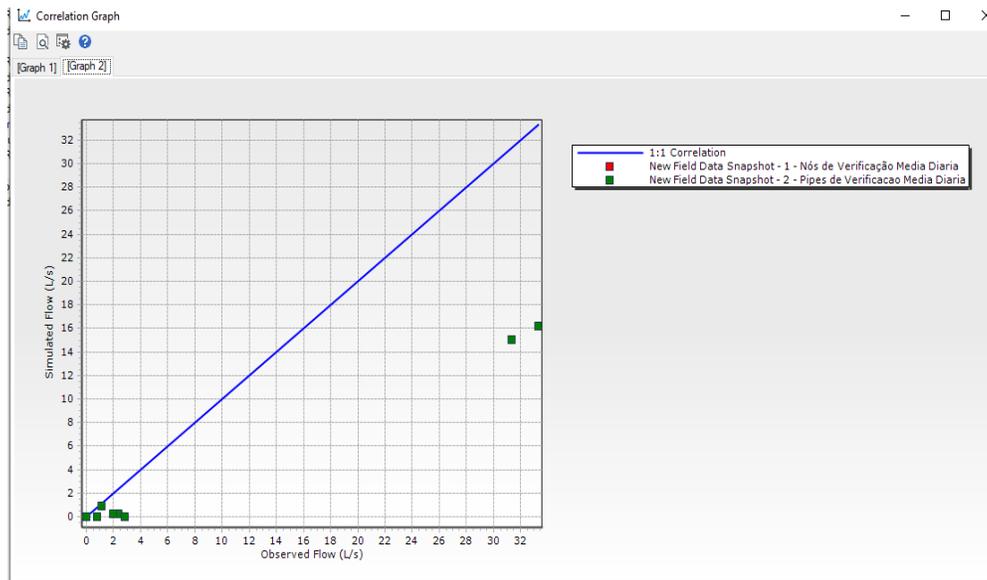
Simulated Results Browser

Attribute:	Snapshot	Flow RMSE (L/s)
Hydraulic Grade		
Flow	1 902: New Field Data Snapsl	8

Simulated Results

	Field Data Snapshot	Pipe	Observed Flow (L/s)	Simulated Flow (L/s)	Difference (L/s)
1	902: New Field Data Snapsl	759: p258	0	0	0
2	902: New Field Data Snapsl	717: p384	1	0	-1
3	902: New Field Data Snapsl	618: P1	33	16	-17
4	902: New Field Data Snapsl	721: p380	2	0	-2
5	902: New Field Data Snapsl	523: p99	1	1	0
6	902: New Field Data Snapsl	556: p57	3	0	-3
7	902: New Field Data Snapsl	572: p40	31	15	-16
8	902: New Field Data Snapsl	729: p372	2	0	-2

Gráfico 4: Gráfico de correlacao dos valores de caudal do modelo vs observados (Fonte.WATERGEMS-Modelo hidráulico do Bairro 13)



À semelhança dos valores de pressão, os dados de consumo médio nos pontos de verificação apresentam uma diferença significativa com os observados no terreno na ordem de 17l/s. A diferença dos valores de vazão é uma indicação clara de que os consumos médios levantados no sistema comercial representam apenas uma pequena quantidade de água que é realmente fornecida na rede do BAIRRO 13, e a outra não é facturada ou registada, portanto, perde-se. A diferença dos consumos do modelo e os observados no terreno está na ordem de 50%, revelando assim a necessidade de calibração do modelo na variável referente ao caudal, a semelhança da pressão.

5.3 Calibração do Modelo Hidráulico da Rede de Distribuição do Sistema do BAIRRO 13

Os dados de campo revelaram a necessidade de calibração do modelo hidráulico da área de estudo de tal forma que este seja útil para a tomada de decisão e melhor apoiar em estudos e trabalhos futuros de expansão e/ou optimização do sistema.

A calibração foi efectuada apartit do módulo Darwin Calibrator acoplado ao software WATERGEMS que permitiu ajustar as incertezas do modelo de forma automática e em menos tempo, através da resolução de um AG simples, que é 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 chamado aptidão (fitness), que mede o grau de qualidade da solução, onde, quanto maior o fitness melhor é a solução.

No geral, foram efectuadas simulações que apresentaram vários resultados, até que se chegasse a uma solução mais próxima da realidade.

5.3.1 Registo de Pressão

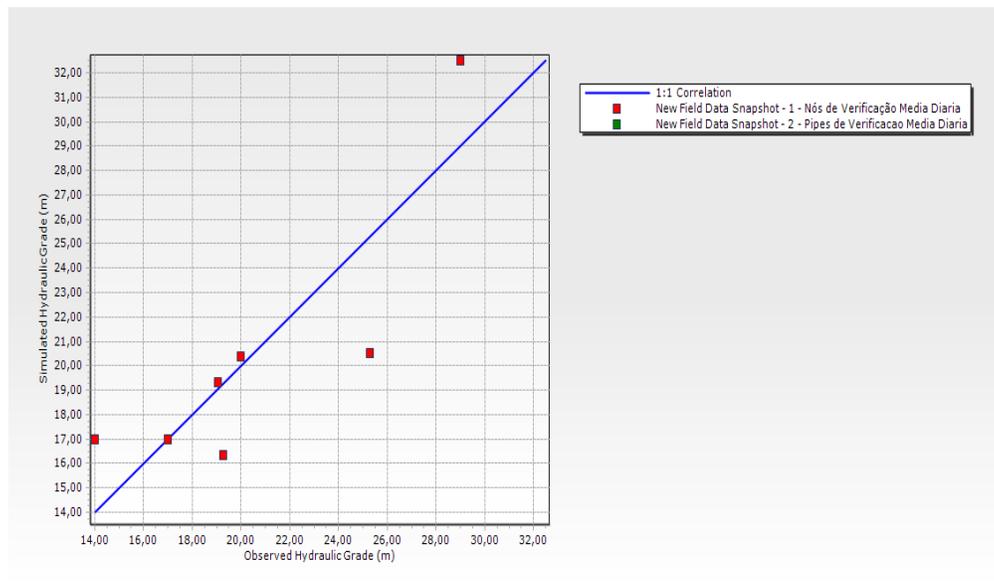
A tabela 9 apresenta o resultado dos dados comparativos de pressão após o processo de calibração, onde revela-se a aproximação entre os dados observados e do modelo. Embora existam algumas pequenas diferenças para alguns pontos entre os dados observados e do modelo, consideramos o modelo calibrado tendo em conta que a margem de diferença é mínima e encontra se dentro do limite aceitável definido nos critérios de validação estabelecidos no capítulo 3.4.1.

A análise apresentada na tabela 9 também foi representada pelo gráfico 5. Pode-se notar claramente a aproximação dos valores de pressão nos pontos de observação, onde maior parte destes sobrepõe-se na linha de correlação o que comprova a calibração do modelo.

Tabela 9: Valores calibrados de pressão. (Fonte.WATERGEMS-Modelo calibrado do Bairro 13)

Solution		Simulated Results			
Simulated Results Browser					
Attribute:		Snapshot	Hydraulic Grade RMSE (m)		
Hydraulic Grade		1	901: New Field Data Snapsl		
Flow			2,72		
Simulated Results					
	Field Data Snapshot	Junction	Observed Hydraulic Grade (m)	Simulated Hydraulic Grade (m)	Difference (m)
1	901: New Field Data Snapsl	165: n249	25,30	20,98	-4,32
2	901: New Field Data Snapsl	164: n250	20,00	20,84	0,84
3	901: New Field Data Snapsl	185: n227	17,00	17,73	0,73
4	901: New Field Data Snapsl	294: n103	19,04	19,85	0,81
5	901: New Field Data Snapsl	349: n44	29,00	32,55	3,55
6	901: New Field Data Snapsl	335: n58	19,25	17,10	-2,15
7	901: New Field Data Snapsl	204: n203	14,00	17,73	3,73

Gráfico 5: Representação do gráfico de correção da pressão (Fonte.WATERGEMS-Modelo calibrado do Bairro 13)



5.3.2 Registo de caudal

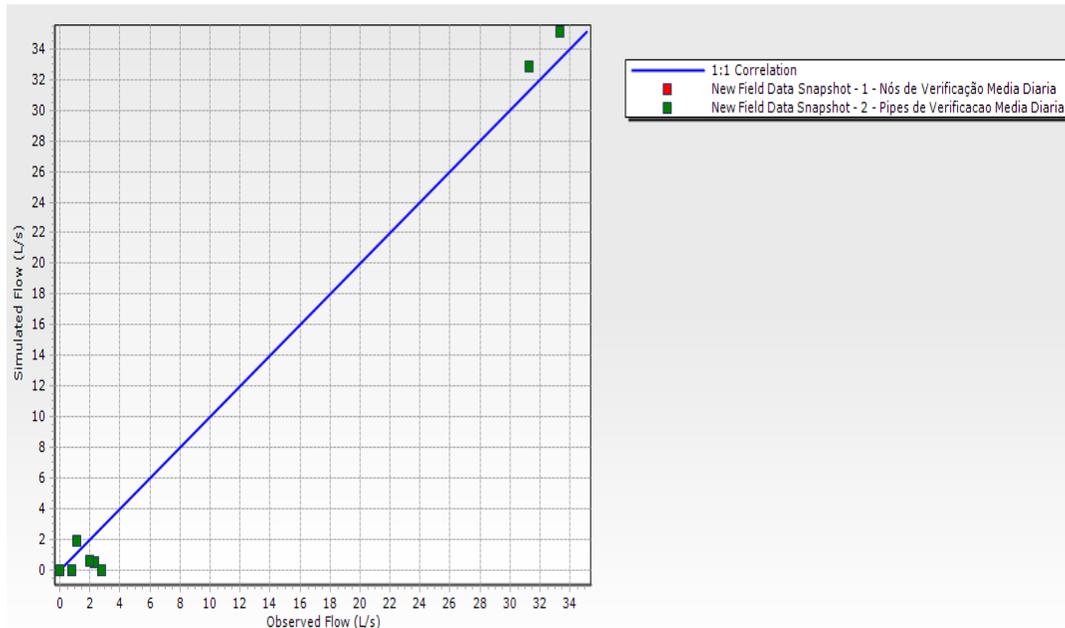
Seguidamente apresenta-se os valores comparativos do modelo calibrado referentes a variável caudal. À semelhança dos valores de pressão, o caudal médio observado está muito próximo ao caudal médio do modelo, pelo que consideramos o modelo calibrado dado estar dentro da margem

de diferença definido como critério de validação no capítulo 3.4.1 ($\pm 10\%$). A seguir apresenta-se os resultados na tabela 10 e no gráfico 6.

Tabela 10: Dados comparativos da calibração de caudal nos troços de verificação. (Fonte.WATERGEMS-Modelo calibrado do Bairro 13)

Solution		Simulated Results			
Simulated Results Browser					
Attribute:		Snapshot	Flow RMSE (L/s)		
Hydraulic Grade					
Flow		1	1		
Simulated Results					
	Field Data Snapshot	Pipe	Observed Flow (L/s)	Simulated Flow (L/s)	Difference (L/s)
1	902: New Field Data Snapsl	759: p258	0	0	0
2	902: New Field Data Snapsl	717: p384	1	0	-1
3	902: New Field Data Snapsl	721: p380	2	0	-2
4	902: New Field Data Snapsl	523: p99	1	2	1
5	902: New Field Data Snapsl	556: p57	3	0	-3
6	902: New Field Data Snapsl	572: p40	31	30	-1
7	902: New Field Data Snapsl	729: p372	2	1	-1
8	902: New Field Data Snapsl	982: P-1	32	32	0

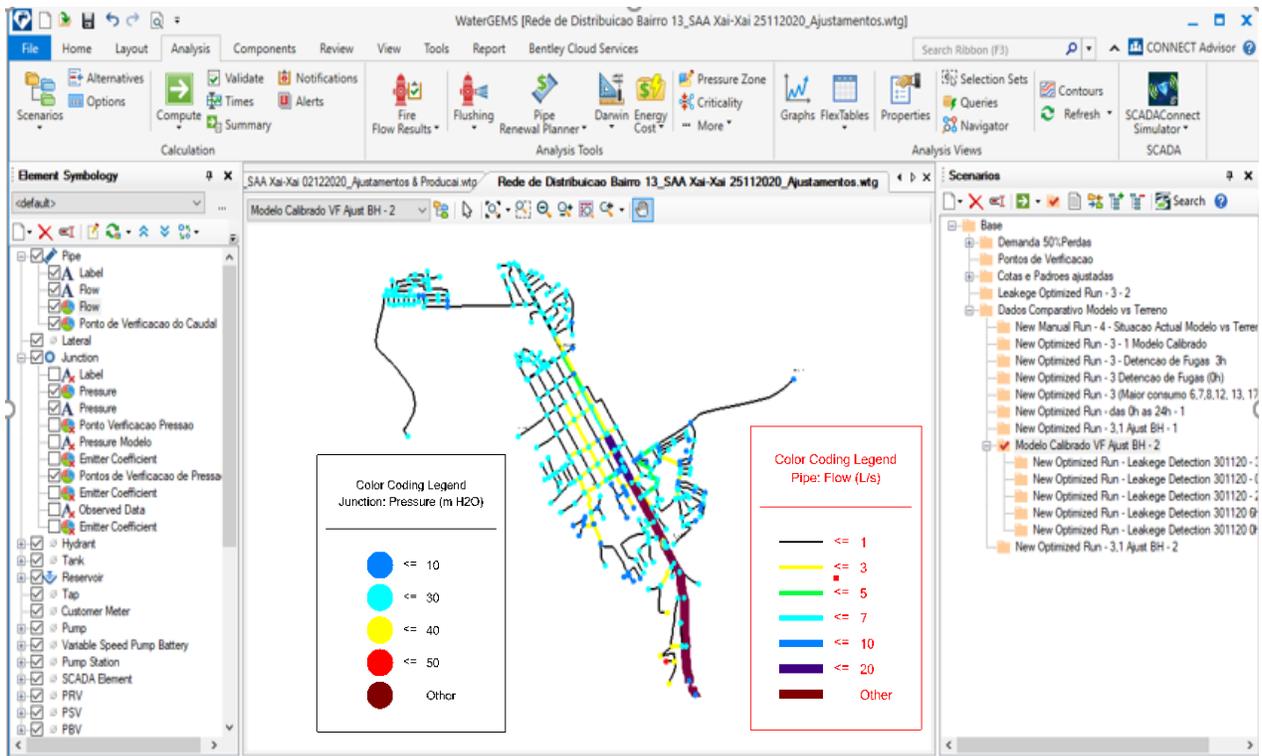
Gráfico 6: Gráfico ilustrativo de correlação da calibração do Caudal. (Fonte.WATERGEMS-Modelo calibrado do Bairro 13)



5.4 Resultados da Simulação Hidráulica Do Modelo Calibrado

Após o processo de calibração efectuou-se a simulação hidráulica do modelo para efeitos de análise do comportamento das variáveis “pressão e caudal” no modelo calibrado. A figura 15 ilustra o ajustamento efectuado nos valores de pressão e caudal. A pressão na rede do sistema do BAIRRO 13 varia entre 0 a 32 mca e o caudal oscila na ordem de 0 a 35 l/s em média.

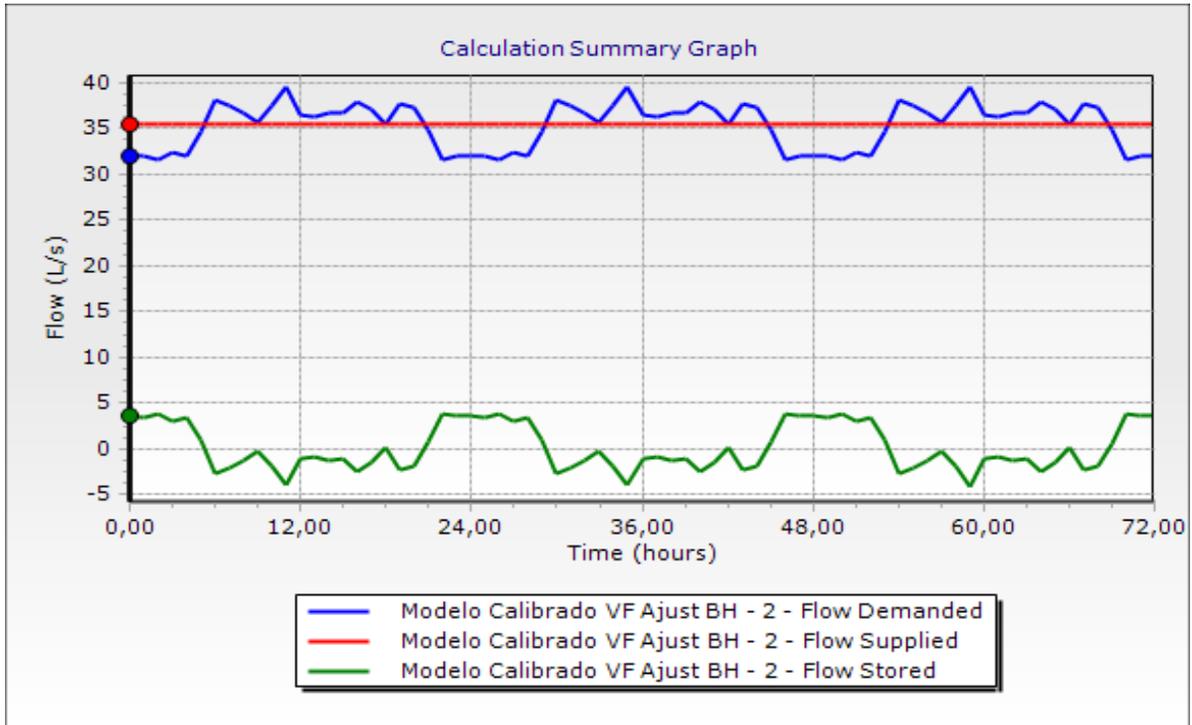
Figura 15: Layout da pressão e caudal da rede do Sistema do BAIRRO 13 - (Fonte.WATERGEMS-Modelo calibrado)



Os valores de pressão e caudal do modelo calibrado estão muito próximos e em alguns pontos iguais aos observados no terreno, o que podemos considerar o modelo próximo á realidade e aplicável para abordagens futuras.

O gráfico 7 apresenta o comportamento do balanço da água do modelo calibrado.

Gráfico 7: Balanço da água modelo calibrado. (Fonte: WATERGEMS-Modelo calibrado)



O balanço da água do modelo calibrado indica que a produção tem um comportamento estático com variações de caudais instantâneas não muito significantes comparativamente ao caudal médio praticado na ordem de 35l/s. Por seu turno a demanda tende a oscilar com picos em períodos de maior consumo chegando a ultrapassar a capacidade de produção cuja compensação é assegurada pela reserva efectuada no período de baixa demanda.

O gráfico da demanda sugere-nos dois períodos críticos de consumo, dos quais o primeiro que é de consumo alto compreendido entre as 04 às 21h e outro de consumo baixo entre as 21h até as 04h da manhã.

A abordagem referente a 02 períodos de demanda também verifica se no comportamento da pressão na rede conforme ilustra a representação gráfica abaixo (figuras 16 e 17) da simulação efectuada em dois períodos distintos (2h e 11h).

Figura 16: Layout da rede do BAIRRO 13 com Valores de pressão às 2h de Madrugada. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo

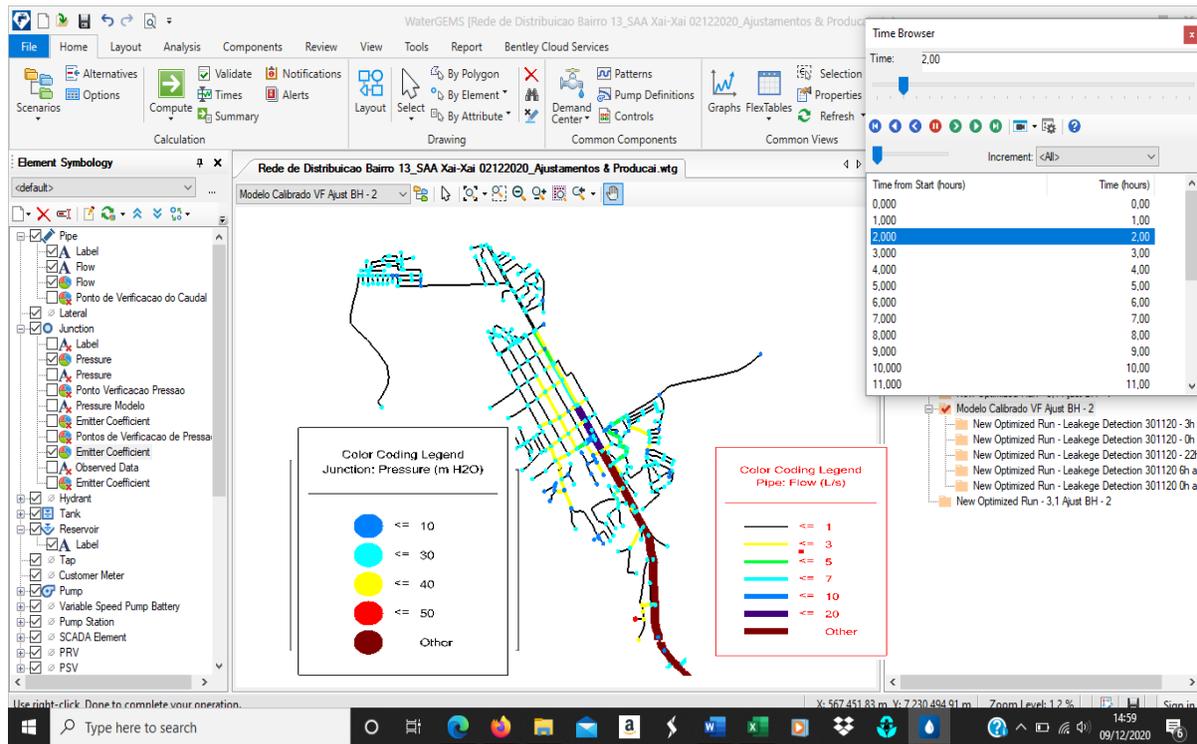
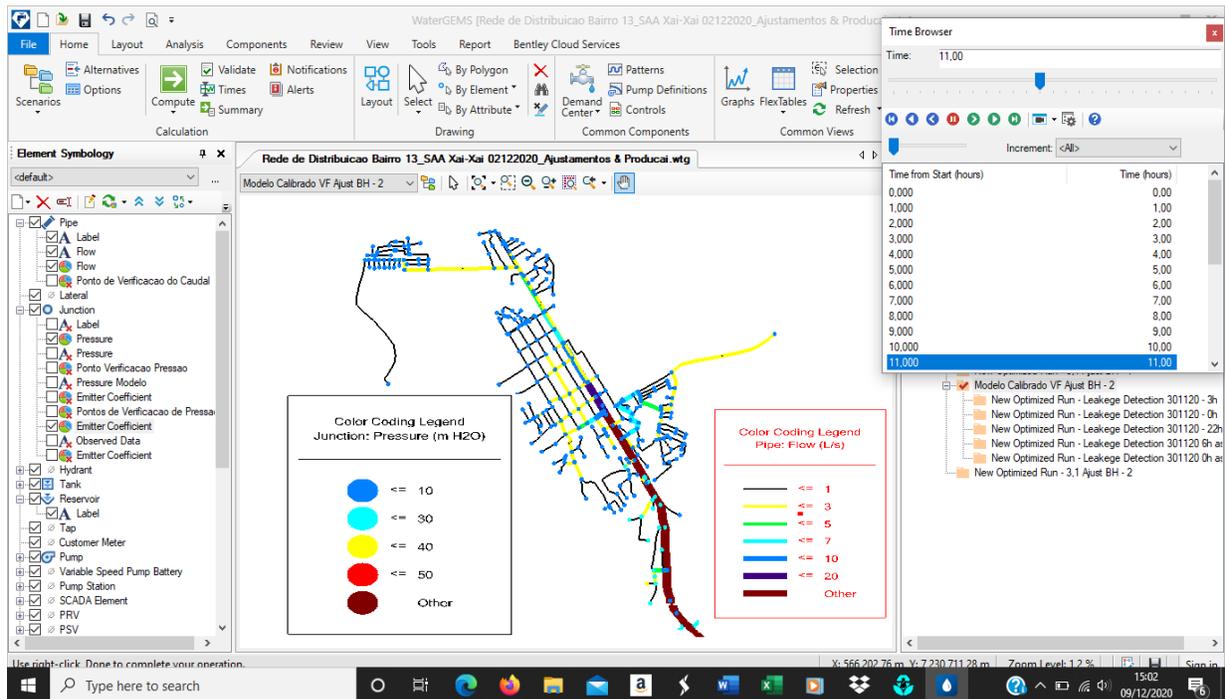


Figura 17: Layout da rede do BAIRRO 13 com Valores de pressão às 11h da manhã. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo



6 CAPÍTULO VI. OPTIMIZAÇÃO DO MODELO DA REDE DO BAIRRO

13

O presente capítulo é referente a apresentação de resultados do processo de optimização do modelo hidráulico da rede para identificação de perdas de água na área de estudo através da aplicação do software WATERGEMS da Bentley.

O WATERGEMS da Bentley tem a vantagem de ser uma aplicação versátil e desenvolvida para apoiar aos engenheiros na melhoria da eficiência operacional reduzindo perdas por consumo desnecessário de energia, perdas de água, eficiência no processo de desinfeção com cloro na rede entre outros.

Com vista a optimização operacional da rede de distribuição do Bairro 13 da cidade de Xai-Xai urge a necessidade de desenvolver o modelo de optimização para identificação de zonas na rede como potenciais fontes de perdas de água. No entanto, através da aplicação da ferramenta Darwin Calibrator – Leakage Detection do software WATERGEMS da Bentley foi desenvolvida a pesquisa do actual modelo para a identificação de potenciais locais com perdas de água, os quais deverão ser alvo de trabalho de inspecção e fiscalização bem como acções de correcção pelas equipas técnicas operacionais da entidade gestora do sistema.

Este desenvolvimento foi feito na perspectiva de melhor direccionar os esforços das equipas técnicas com vista a identificar e imprimir acções de mitigação das perdas de água na rede do sistema do BAIRRO 13 da cidade de Xai-Xai.

Com o DARWIN CALIBRATOR - LEAKAGE DETECTION da WATERGEMS teve-se uma abordagem analítica para a detecção de fugas orientada no seguinte enfoque: (i) Calibração de modelos hidráulicos para simular as fugas através da rede e (ii) Aplicação de tecnologia de optimização que usa Algoritmos Genéticos (AG) baseados nos princípios da evolução natural que prediz a localização e o tamanho das perdas.

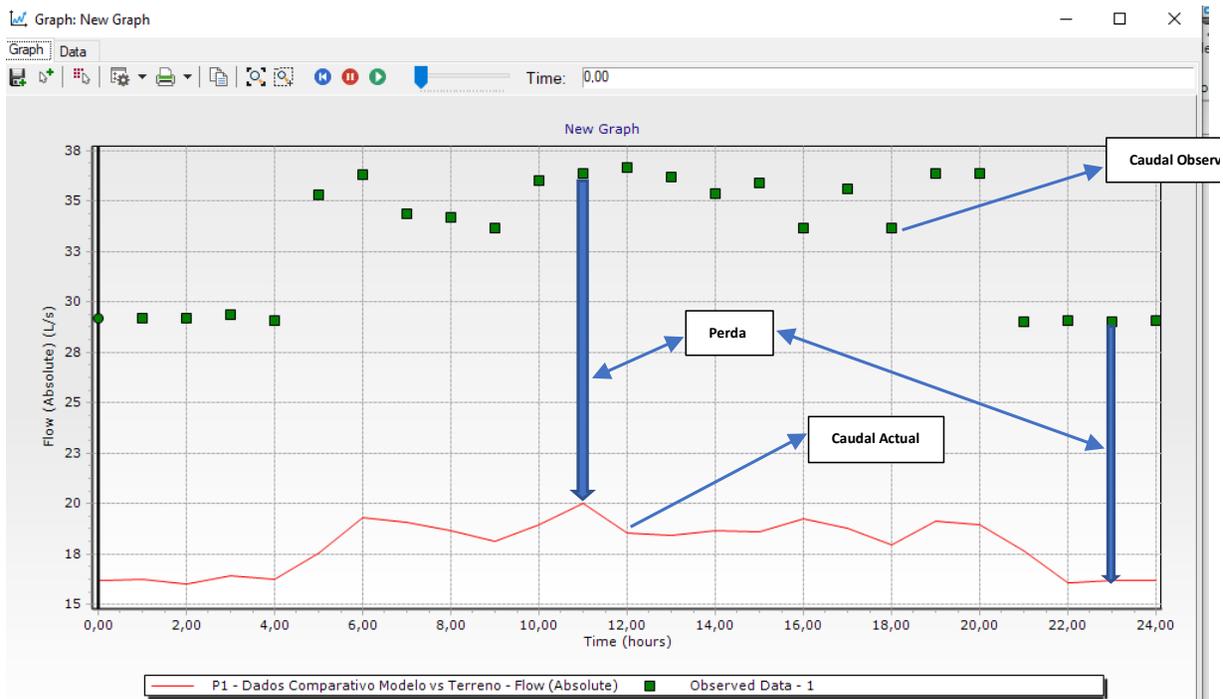
Iniciamos este processo com a indicação do nível de perdas na área de estudo.

6.1 Nível de perdas de água na rede do Subsistema do BAIRRO 13

Para melhor clarificar o actual nível das perdas de água na rede do sistema do BAIRRO 13, o gráfico 8 ilustra a quantidade de água perdida, onde a linha vermelha representa a água realmente consumida e contabilizada (na ordem de 17l/s), medida através dos medidores domésticos e

extraído do histórico de consumo registado na base de dados do sistema de gestão comercial em uso no FIPAG Xai-Xai, e a linha interrompida verde indica a quantidade de água que efectivamente entra no sistema, no entanto, a diferença entre ambos gráficos conforme a seta indicativa é o volume de água perdida nas fugas, erros de contagem ou outras formas de natureza física e aparente.

Gráfico 8: Gráfico do Caudal modelo vs caudal observado na saída de depósito do BAIRRO 13. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo



De referir que o gráfico 8 acima representado mostra o fluxo real para a conduta de saída do reservatório (pipe 2 no modelo) em diferentes períodos de tempo durante 24h e o caudal observado nas medições de campo. Com o apoio deste gráfico, foi possível visualizar as perdas de água por fugas ou outras na rede do Bairro 13, utilizando o caudal real no modelo Vs. caudal observado no campo. A diferença entre os caudais do modelo e observado é o caudal perdido no sistema.

6.2 Potenciais locais como fontes de fugas de água na rede do BAIRRO 13

A detecção de fugas de água na rede de distribuição normalmente comporta dois enfoques para a sua materialização, o convencional e analítico.

Para o enfoque convencional constatamos que actualmente existem diversas técnicas para detectar os pontos de fugas, dentre os quais:

- Aplicação de provas com equipamentos de “escuta” e sondagens regulares e aleatórios da rede (frequentemente se fazem buscas em zonas onde não se tem perdas).
- Zoneamento e provas em subsistemas (medição de caudais nocturnos em secções isoladas mediante a operação de válvulas e comparação com dados de consumo).
- Uso de Data-Loggers acústicos e correlacionadores de localização (baseados na presença ou ausência de ruído na rede se pode presumir a existência de um fuga).

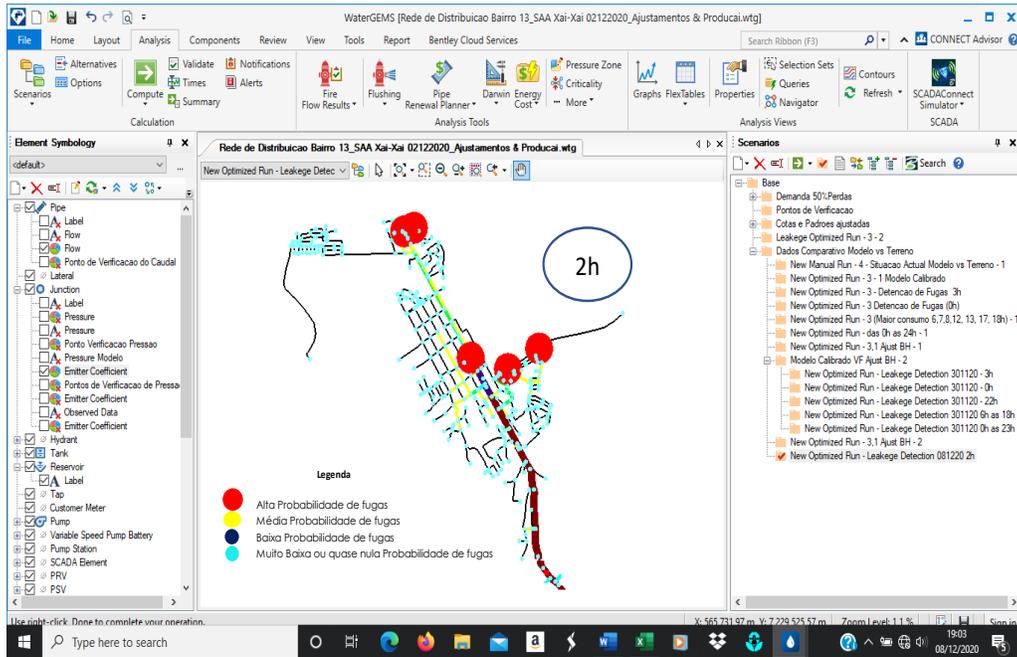
A realidade moçambicana, mesmo devido ao défice de investimento na matéria de perdas e melhoria de eficiência operacional mostra que mesmo no enfoque convencional apenas tem sido recorrente a aplicação de zoneamentos e provas em subsistemas e muito raramente tem sido aplicada a componente de equipamentos de escuta e data-loggers acústicos.

Outra componente que concorre para muito pouca aplicação dessas técnicas é que as acções de detecção de fugas têm sido muito onerosas e consomem muito tempo dado que obrigam as equipas de campo a instalar equipamentos e procedimentos em todas as linhas da rede de distribuição. E não menos importante associa-se ao facto de a detecção do ruído produzido por fugas tem-se tornado mais difícil devido a implementação de processos de gestão (redução) da pressão na rede e a substituição de condutas metálicas por outras de material plástico (PVC, HDPE, COPOLENE, etc).

Com a recolha de séries de dados temporais para o caudal distribuído na rede do Bairro 13 e para a pressão em 15 pontos diferentes, O WATERGEMS da Bentley através do módulo DARWIN CALIBRATOR- LEAKEGE DETECTION foi possível otimizar a função de vazão no emissor para prever pontos da rede com presença de fugas.

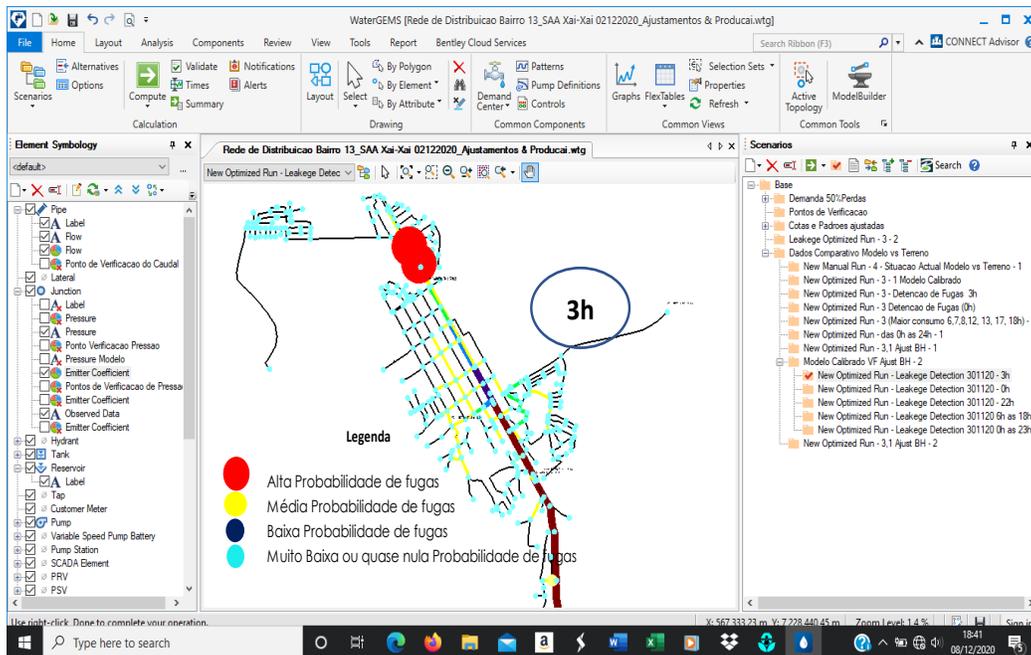
Os mapas que abaixo se seguem ilustram o resultado do processo de optimização indicando os nós potenciais de ocorrências de fugas em diferentes horários do dia na rede do subsistema do BAIRRO 13 da cidade de Xai-Xai.

Figura 18: Nós com probabilidade de ocorrência de fugas às 02h. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo



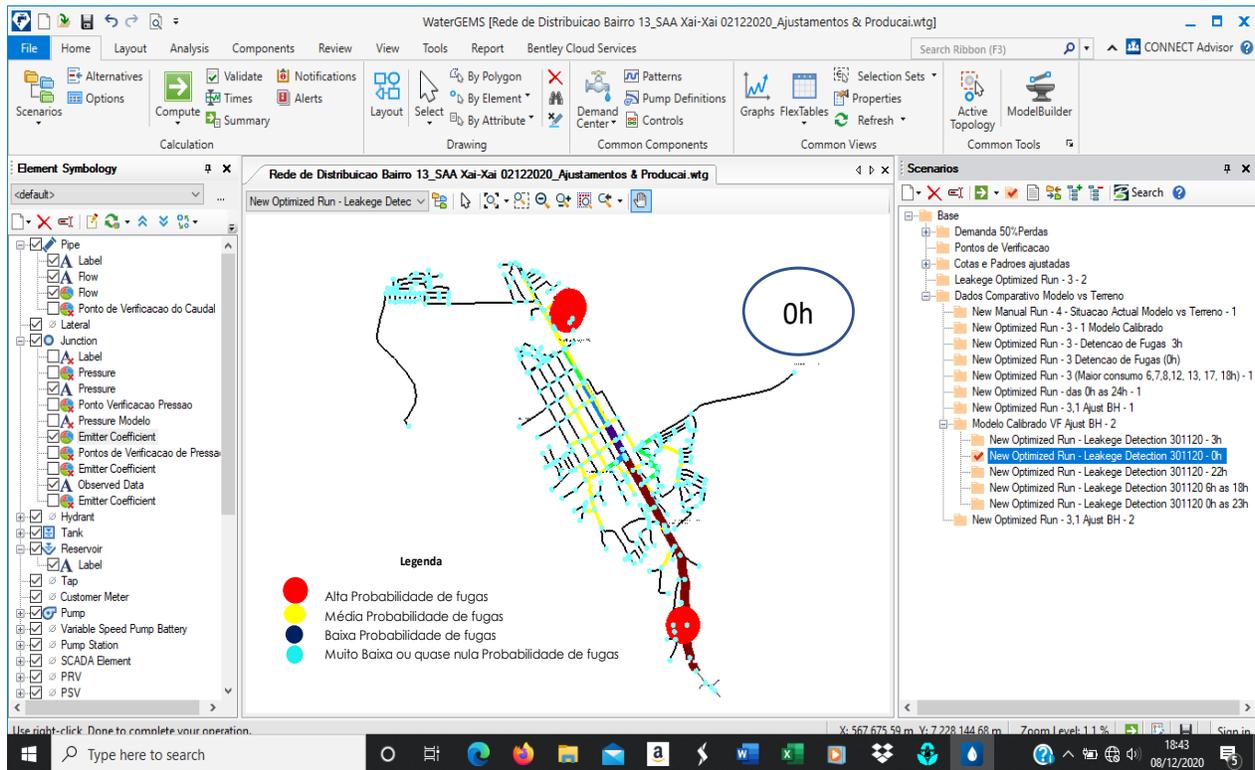
A figura 18 indica que às 2h de madrugada temos 05 nós com presença ou alta probabilidade de ocorrência de fugas de água na rede do BAIRRO 13. As zonas de Switinine para a parte sul e o Bairro 2 (parte este) da cidade são as que representam maior probabilidade de ocorrência de fugas durante este período.

Figura 19: Nós com probabilidade de ocorrência de fugas às 03h. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo



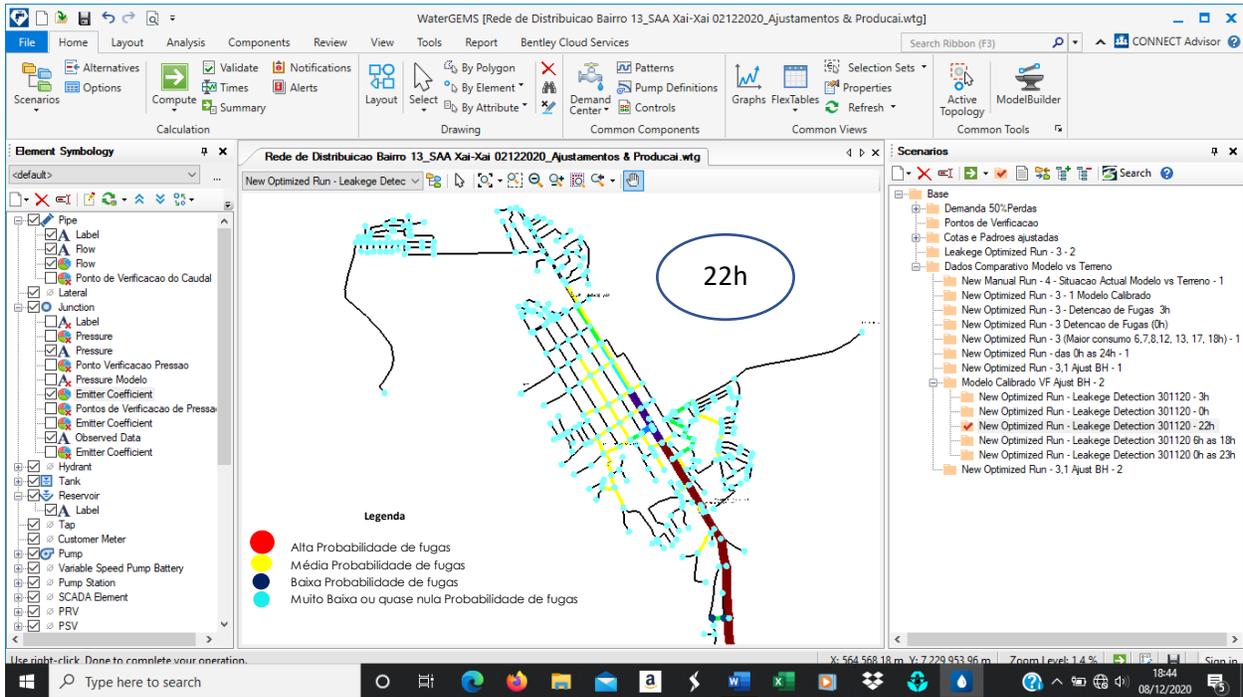
Às 03h de madrugada (período de baixo consumo) persiste a tendência de ocorrência de fugas na parte sul da rede do sistema do BAIRRO 13 no Bairro Switinine embora não seja concretamente no mesmo nó mas a mesma região da rede.

Figura 20: Nós com probabilidade de ocorrência de fugas às 0h. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo



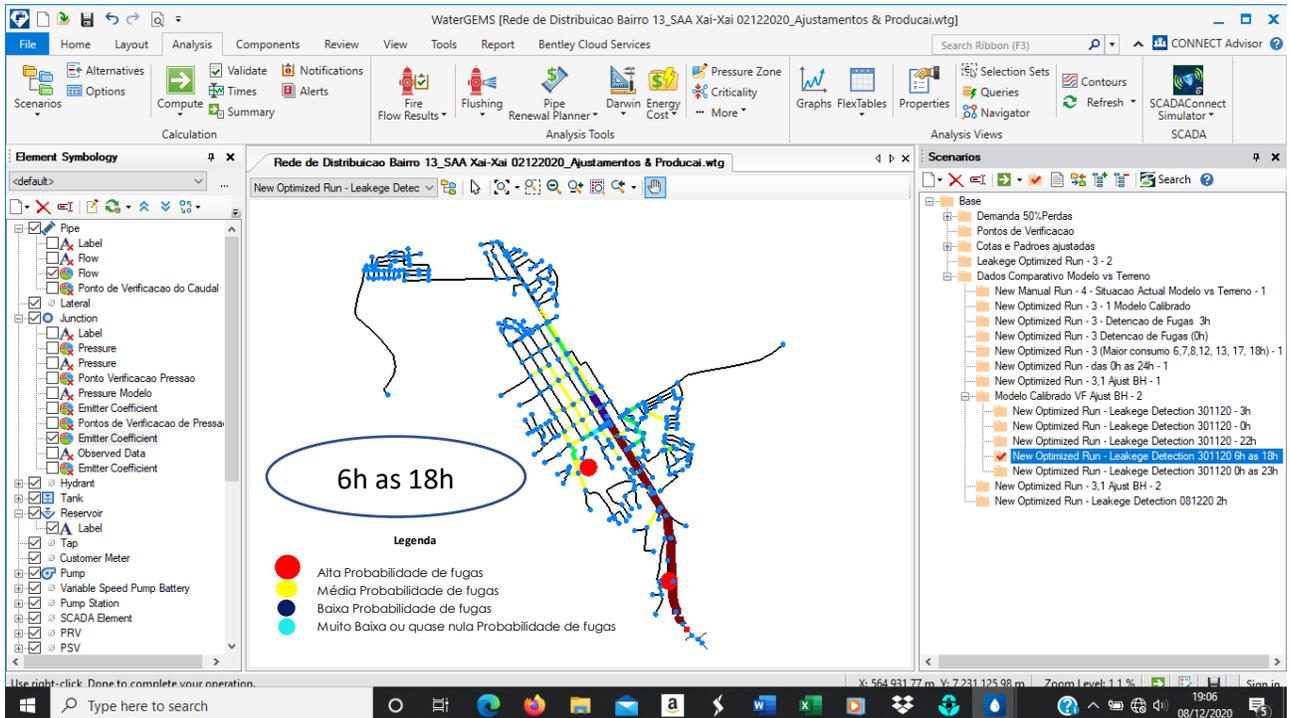
À meia noite temos o registo de 03 potenciais locais de ocorrência de perdas de água por fugas nos nós. Dois dos locais tendem a indicar para a mesma região (Bairro Switinine) embora não seja exactamente nos mesmos nós. O outro potencial local é a parte norte da rede próximo a zona de saída do depósito no Bairro 9 da cidade.

Figura 21: Nós com probabilidade de ocorrência de fugas às 22 h. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo



Contrariamente a outros períodos o modelo indica que às 22h há muito baixa probabilidade de ocorrência de fugas em quase todos nós da rede.

Figura 22: Nós com probabilidade de ocorrência de fugas das 06h às 18h. Fonte: WATERGEMS, resultado do modelo



No intervalo das 06 às 18h, período de consumo elevado, há indicação de apenas 02 nós potenciais com alta probabilidade de ocorrência de perdas de água na rede do subsistema do BAIRRO 13 da cidade de Xai-Xai, dos quais na região do mercado limpompo e nas proximidades da ponte Nguluzane, conforme indica a figura 22.

7 CAPÍTULO VII. ACÇÕES PROPOSTAS PARA O CONTROLE ACTIVO DE PERDAS NA REDE DO BAIRRO 13

SARDINHA *et al*, 2017, refere que a implementação de uma estratégia de controlo de perdas está, à partida, condicionada por factores externos e internos à própria entidade gestora. As políticas definidas pelo regulador do sector da água de cada país obrigam, legalmente, as organizações a atingir determinadas metas de eficiência ou a incluir nos seus orçamentos verbas destinadas à execução de investimentos para o combate às perdas de água. Por outro lado, a estrutura e cultura organizativa, das entidades gestoras, a capacidade técnica dos seus profissionais e, principalmente, o equilíbrio financeiro dessas organizações, condicionam inequivocamente a implementação de políticas e estratégias sustentadas de controlo de perdas.

Não existe uma solução única e normalizada aplicável ao universo de todas as entidades gestoras. Cada empresa deve analisar os condicionalismos externos e internos a que está sujeita, definindo, em função dos mesmos, o nível técnico-económico de perdas apropriado, o posicionamento que pretende alcançar no mercado, bem como as estratégias a adoptar ao nível do combate às perdas. No geral, várias são as acções associadas ao controlo de perdas de água nos sistemas, no entanto, é sempre recomendável que estas estejam muito bem definidas relativamente a tipologia de perdas a resolver.

Nesta sequência e em função da experiência adquirida no processo de optimização hidráulica da rede do subsistema do BAIRRO 13, objecto da presente pesquisa, para a redução significativa de perdas propõe-se a implementação das seguintes medidas, fundamentais, para a melhoria de eficiência operacional do subsistema do BAIRRO 13.

7.1 Acções gerais

O sistema de Xai-Xai tem em média 59% de perdas totais de água, e isoladamente o subsistema do BAIRRO 13 perde 50% de água que entra no subsistema, e contribui para o sistema principal com cerca de 9% das perdas totais.

Para melhor direccionar o foco das acções de seguimento para o controlo activo de perdas, recomenda-se a partida as seguintes acções gerais: (i) Preenchimento do balanço hídrico da IWA do subsistema de BAIRRO 13, (ii) Aprovisionamento nos orçamentos da empresa de uma verba destinada ao controlo e redução de perdas, (iii) Intensificação das acções de capacitação aos

técnicos na matéria de gestão de perdas e (iv) desenho de estratégia para a redução de perdas de água.

7.2 Acções associadas a redução de Perdas Físicas

As perdas físicas estão associadas a fugas de água por transbordo nos reservatórios, fugas de água na tubagem e acessórios hidráulicos da rede de distribuição e adutoras. Desta feita, as acções propostas serão direccionadas a minimizar o problema de perdas físicas em toda cadeia de processo de produção da água:

Na captação (campo de furos) do subsistema do B13, durante o trabalho de campo foram constatadas algumas anomalias que merecem especial atenção, nomeadamente: (i) falta de válvulas de retenção nas saídas das bombas dos furos; (ii) falta de boias nos reservatórios, (iii) inexistência de um sistema de controle automático da operação das estações elevatórias e (iv) existência de furos avariados e inoperacionais.

No entanto, para minimizar as perdas de água a nível deste órgão deve-se assegurar o seguinte: (i) Instalação de válvulas de retenção em todos cavaletes de saída do furo, evitando assim o retorno da água de um furo para o outro uma vez ambos estarem interconectados. (ii) Instalar boias mecânicas no reservatório do Centro Distribuidor do BAIRRO 13 para evitar transbordos em caso de o reservatório esteja cheio. (iii) Reabilitar o sistema de comando automático para o arranque dos grupos e controle do enchimento do reservatório.

A rede de distribuição é composta maioritariamente por condutas com idade igual ou superior a 20 anos em material diverso (fibrocimento, ferro fundido, PVC, Copolene, HDPE entre outros). Olhando para o trabalho de modelação ora realizado sugere-se o desenvolvimento das seguintes acções a nível da rede de distribuição:

- I. Efectuar a medição de caudais nos troços críticos identificados pelo modelo, em períodos que se esperam a ocorrência de perdas.
- II. Orientar as equipas de campo para visitar os locais identificados pelo modelo optimizado como potenciais nós de perdas de água e promover campanhas de reparação das fugas;
- III. Desenvolver um programa de gestão de pressão na rede por forma a minimizar as fugas em períodos de baixo consumo. O modelo refere claramente que maior parte

dos nós com muito alta probabilidade de fugas ocorre em períodos de baixo consumo.

- IV. Promover campanhas de investigação das causas associadas aos troços com muito baixas pressões na rede. Refira-se que durante o levantamento dos dados de campo foi identificado um troço de rede no Bairro Bobomwine com mais de 10 clientes que não tinham água há mais de 06 meses devido ao entupimento de conduta pela penetração de raízes.
- V. Tem sido notória a recorrência de reserviços por parte das equipas de manutenção e reparação na rede, pelo que recomenda-se a melhoria na qualidade de material aplicado nas reparações incluindo a capacitação técnica das equipas envolvidas sobre a necessidade de assegurar um determinado padrão de qualidade das intervenções .
- VI. Criação das micro zonas de medição e controle. O subsistema do BAIRRO 13 por si só já é uma ZMC, mas com uma dimensão macro e que actualmente com o presente trabalho podemos considerar que já tem um modelo hidráulico actualizado passível de ser usado para projecções e simulações futuras e/ou tomada de decisões. No entanto, podem ser preparados mapas de rede com zonas mais pequenas para facilitar o detalhe da necessidade de intervenção.
- VII. Promover campanhas de reparação de fugas nas instalações domésticas

7.3 Acções associadas a redução de Perdas aparentes (comerciais)

Dos cerca de 50% de perdas no subsistema do BAIRRO 13, parte delas são de natureza comercial, onde constatamos durante a presente pesquisa a existência de várias situações anómalas que contribuem para as perdas, dentre elas são erros de contagem do contador, falhas nos registos, existência de contadores avariados e não substituídos a bastante tempo, existência de instalações sem contadores cuja ligação é directa entre outras anomalias. Diante deste cenário e com a necessidade de melhoria da eficiência operacional ao nível das perdas aparentes, propõe-se as seguintes intervenções:

- i. Utilização de contadores de classe superior e ou adequada a natureza do sistema
- ii. Desenho e aplicação de um plano rigoroso de substituição de contadores, do controlo dos locais de abastecimento com consumo igual a zero ou mesmo dos

locais de abastecimento sem cliente associado. Nestes casos, as ações proactivas de combate às perdas não só permitem uma rápida recuperação dos investimentos realizados, como também conduzem normalmente à obtenção de ganhos financeiros significativos.

- iii. Desenho e implementação de um programa de gestão de contadores, o qual será responsável pelo mapeamento, apuramento do estado, avaliação das margens de erros de contagem, registo da idade, classe, marca, “performance” de contadores e definição de um plano concreto de substituição e reparação.
- iv. Promoção de campanhas de sensibilização em matérias de mudança de atitude e automotivação às equipas de campo que fazem registos de consumos nas residências.
- v. Promover campanhas de recuperação de todos clientes suspensos existentes na rede do BAIRRO 13 e assegurar que estejam na base de dados de facturação mensal.

8 CAPÍTULO VIII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base na informação técnica e comercial disponível no FIPAG – Área Operacional de Xai-Xai foi possível através do EPANET 2.0 construir um modelo hidráulico inicial da rede do Bairro 13, que serviu de premissa básica para a experimentação, verificação e validação da abordagem metodológica da linha de pesquisa, para posterior aplicação do software comercial WATERGEMS da Bentley systems para otimização hidráulica do modelo para identificação das perdas de água.

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 que usa a tecnologia de otimização de algoritmo genético baseado em princípios de evolução natural foi possível aplicar com êxito um método unificado de otimização que permitiu simultaneamente a calibração hidráulica do modelo e otimização para a localização de nós com fugas na rede do subsistema do BAIRRO 13 da cidade de Xai-Xai. A metodologia usada provou claramente que se trata de uma ferramenta poderosa e prática para apoiar as empresas gestoras de serviços de água em suas estratégias de controle de Perdas físicas e para o caso vertente foi bastante útil para o sistema da cidade de Xai-Xai.

Em geral, é quase que impossível localizar exactamente uma perda a partir de uma aproximação baseada na simulação-otimização integrada, mas a metodologia permitiu delimitar com maior certeza as zonas/nós com maior probabilidade de presença de fugas nos diferentes períodos do dia, o que pode tornar mais eficientes os programas de redução de perdas no FIPAG Xai-Xai, confirmando assim, a hipótese de que a modelação hidráulica pode ajudar na identificação de locais críticos da rede como potenciais fontes de perdas de água.

O subsistema do Bairro 13 da cidade de Xai-Xai apresenta dois distintos períodos de consumo, um compreendido entre as 21h às 04h da manhã cujos consumos são baixos e as pressões variam entre 20 a 30 mca e o segundo período entre as 04h às 21h com consumos elevados e pressões que variam entre 0 a 10 mca.

O modelo otimizado da rede do BAIRRO 13 da cidade de Xai-Xai revela que as perdas de água se notam mais nas horas mortas, períodos de baixo consumo quando a pressão na rede tende a aumentar, daí que foi possível notar que existem muitos nós com indicação de maior probabilidade de ocorrências de fugas das 22h às 04h da manhã. No entanto, com este resultado do modelo

confirma-se a hipótese de que as perdas de água (sobretudo as físicas) estão associadas a elevadas pressões na rede.

Com os resultados do modelo tudo indica que no sistema em estudo temos mais perdas físicas e não perdas resultantes de deficiências de gestão comercial, embora esta indicação precisa ser validada com a quantificação da água perdida e sua alocação no modelo do Balanço hídrico da IWA.

As ferramentas de modelação revelaram-se de capital importância para optimização operacional e redução de perdas no sistema de Xai-Xai e em particular no subsistema do Bairro 13 pelo facto de identificar e melhor orientar as equipas técnicas operacionais aos locais críticos e por via disso efectuarem campanhas de reparação de fugas e requalificação da rede para minimizar as perdas e melhorar a eficiência operacional das regiões identificadas.

Com a crescente demanda pelo precioso recurso água, associada a exiguidade de fundos para investimentos em construção de novas fontes, é notória a importância de estudos relativos a optimização dos SAA. Desta forma, e em complemento ao presente estudo recomenda-se o desenvolvimento dos seguintes trabalhos:

- I. Preenchimento do balanço hídrico da IWA para validar a quantificação de natureza de perdas (físicas ou aparentes) no subsistema do B13.
- II. Efectuar visitas aos locais críticos identificados pelo modelo para aferição e validação.
- III. Desenvolvimento de estudos associados a redução de perdas orientados a outras áreas (regiões de rede) no SAA de Xai-Xai ou outros sistemas a nível nacional com maiores índices de perdas de água.
- IV. As estratégias de gestão e redução de perdas são uma necessidade primária para empresas de água, cujas abordagens associadas já existem e cada dia que passa desenvolve-se nova tecnologia para o apoio a esta componente. No entanto, cada entidade gestora deve desenhar e adoptar a sua estratégia de controlo de perdas que se adequa à sua realidade, visando optimizar os níveis de serviço aos seus clientes e assegurar maior valor acrescentado para todos os stakeholders da organização.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHINSTEIN, (2005) *Métodos de abordagem e de procedimento*; disponível na internet no site www2.videolivrraria.com.br, cessado em 08/03/2021

ALVES Z. C. A. G., (2012). *Modelação hidráulica de um sistema de distribuição de água – aplicação a uma zona de castelo branco*. Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Castelo Branco para obtenção do grau de Mestre em Construção Sustentável

CARDOSO, A.P.P.M. (2013). *Redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água através do controlo avançado de pressão – aplicação a um subsistema da cidade do porto*. Porto, dissertação submetida para obtenção do grau de mestre em engenharia do ambiente.

CARDOSO, A., OLIVEIRA, F., LACERDA, F., & POÇAS J. (2013): *Redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água: Optimização das pressões numa grande rede de distribuição de água – Aplicação a um subsistema da cidade de Porto*; 8ª jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente

CARRIJO, I. B. (2004). *Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multiobjectivo e aprendizado de máquina*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 217p.

COELHO, S. T.; LOUREIRO, D.; ALEGRE, H. (2006). *Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água – Série Guias Técnicos 4*, Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa – Portugal.

CONSELHO MUNICIPAL DA CIDADE DE XAI-XAI. (2009). *Plano Estratégico Municipal de Xai-Xai - 2009-2019*

FIPAG REGIÃO SUL (2017), *Cadastro técnico dos sistemas de abastecimento de água 2017*

FIPAG REGIÃO SUL (2019), *Relatório Anual 2019*

FIPAG Xai-Xai (2019), *Relatório do Sector de Distribuição - Base de Dados de fugas 2019*

GUTIÉRREZ, J.C (2016). *Detecção de Perdas com WATERGEMS usando AG - Case de Sucesso - Water and Wastewater Solutions*

LAKATOS, E.M & MARCONI, M.A (2003). *Fundamentos de Metodologia científica* (5ª Edição). São Paulo: Editora Atlas S.A

MARCHI, C.E., SOARES, A.S., GIROL, G.V., & ELEOTERO, B.C.(2017). *Estudo de optimização operacional do sistema de abastecimento de água do distrito do Rio Vermelho – Redução de Perdas de Água*, Congresso ABES FENASAN

MEHTA D. J. ,YADAV V. , WAIKHOM S.I. & PRAJAPATI K., (2017). *Design of optimal water distribution systems using WATERGEMS: a case study of surat city*, Kuala Lumpur, Malaysia

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*, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana para a obtenção de Grau de Mestre

SARDINHA J., SERRANITO F., DONNELLY A., MARMELO V., SARAIVA P., DIAS N., GUIMARÃES R., MORAIS D., ROCHA V., (2017). *Controlo Activo de Perdas de Água*. Epah Technical Editions

SILVA, J.C.A & MENDES, L.E. (2015). *Desafios envolvidos na otimização de sistemas de abastecimento de água, estudo de caso: Sector de Abastecimento Bonsucesso, Guarulhos-SP*

SOUSA, A.C & SOARES, A.K. (2014). *Modelo para otimização da operação de distribuição de água utilizando o algoritmo genético multiobjectivo SPEA*

SURCO, D.F., VECCHI, T.P.B., RAVAGNANI, M.A.S.S. (2015) *Otimização de um sistema de rede de distribuição de água usando técnicas de programação NÃO LINEAR com SOLVERS tipo DNLP*. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional

VIERA, B.S (2016). *Um modelo de otimização para o planejamento de operações de um sistema de abastecimento de água da cidade de Florianópolis*, Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção, Florianópolis

<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/ambiente/Manual%20de%20Saneamento.pdf>, cessado em 29/10/19

<https://www.significados.com.br/otimizacao/>, cessado em 29/10/19

10 APÊNDICES

Apêndice 1 – Histórico de fugas do SAA Xai-Xai – Julho á Dezembro 2019

Item	Subsistema	Fugas registadas 2019						
		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1	B13	53	66	32	40	146	39	376
2	B11	87	137	126	136	110	91	687
3	CFPP	3	16	2	3	10	6	40
4	Chinunguine	6	29	14	20	0	7	76
5	Hospital	21	43	17	57	15	12	165
6	Inhamissa 6	44	60	69	48	31	42	294
7	Marien Ngouabi	40	88	49	59	54	42	332
8	Patrice lumumba	48	148	149	133	104	85	667
9	Praia de xai xai	3	26	20	13	151	134	347
10	Chongoene	0	22	3	4	11	17	57
11	Muhetane	0	0	2	0	0	0	2
12	Chicumbane	4	3	3	4	0	0	14
13	Julius Nherere	0	0	0	0	3	0	3
Total		309	638	486	517	635	475	3060

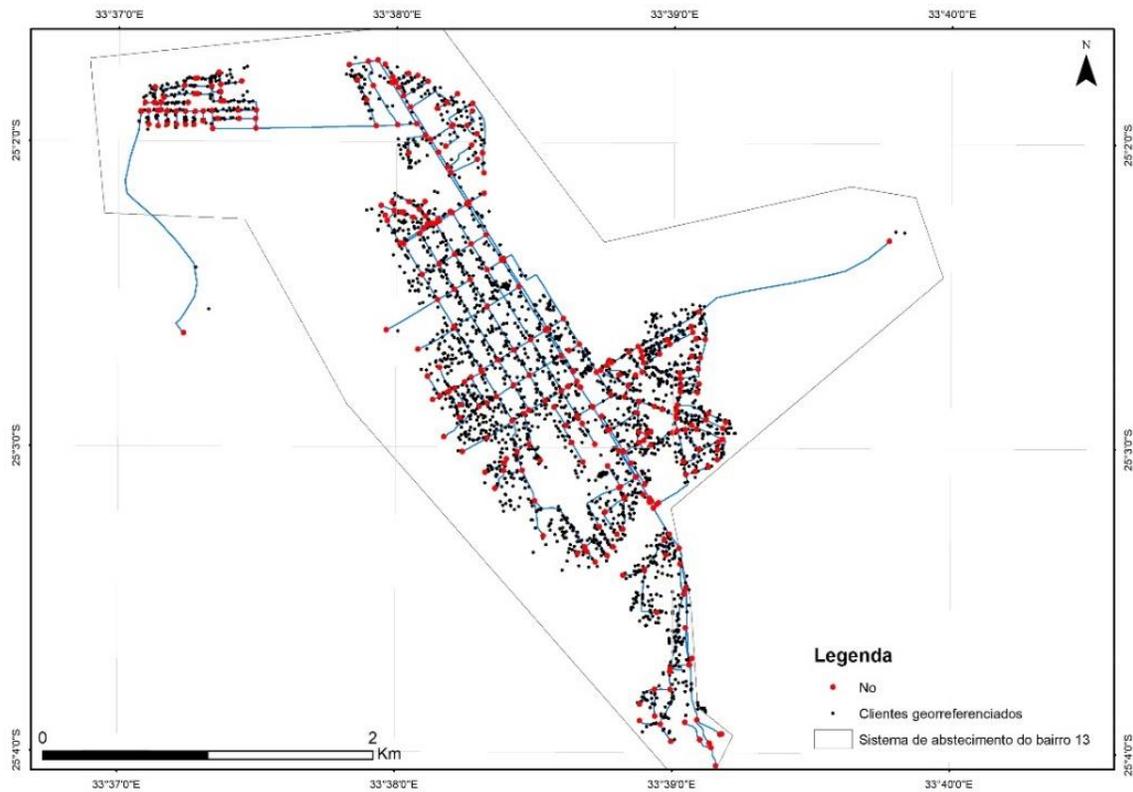
Apêndice 2 – Dados de produção e distribuição do subsistema do BAIRRO 13 – Julho á Dezembro 2019.

Subsistema	Volume Produzido e Distribuido 2019 (m3)						
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
Bairro 13	98502	96620	95672	88482	74383	76499	530158
Hospital	32001	31801	35514	588560	45009	44500	840162
Inhamissa	160233	169803	158856	165085	152495	135705	1276378
M. Ngoaby	150560	150451	141303	144911	134010	142220	1169331
Bairro 11	173174	165431	162511	140347	122390	135231	1260618
CFPP	79841	76910	69885	60537	68268	59100	556900
Patrice	139307	131514	125876	157082	138317	144214	1111978
Chongoene	21618	23896	22204	21804	21932	18254	155006
Muhetane	2104	1761	1759	2334	3087	2091	15590
Chicumbane	18614	18000	16 618	18161	19434	18929	145418
J. Nherere	14930	15205	15 342	161510	14038	14971	265482
Total	770764	784772	749868	1460331	718979	715215	6796 861

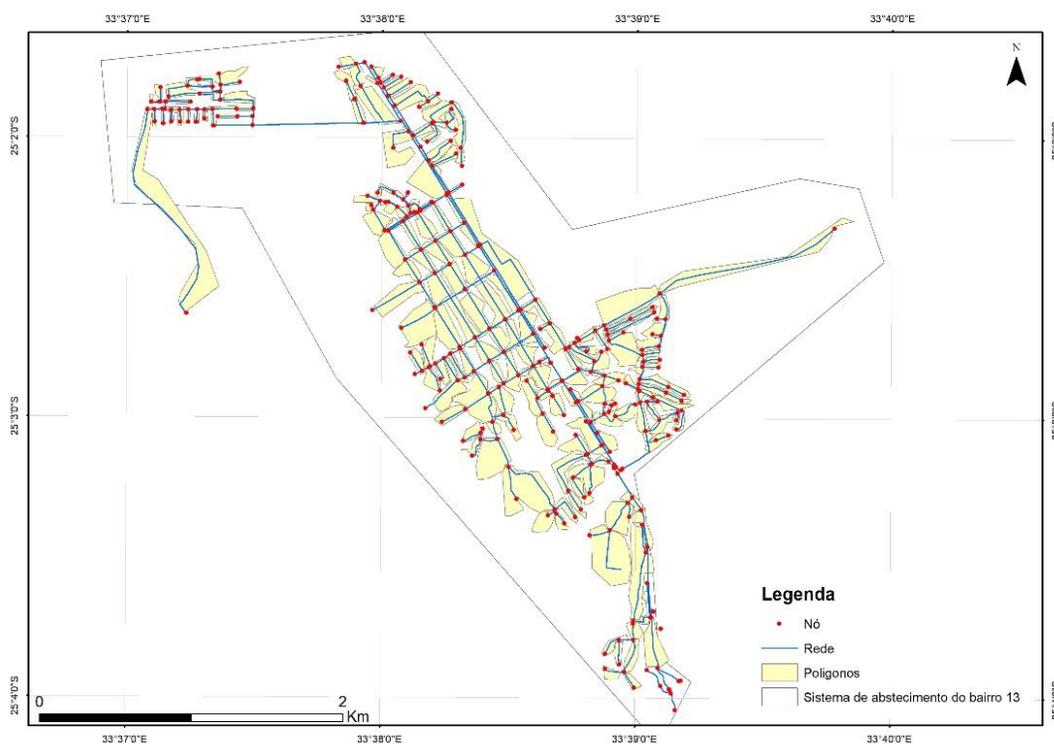
Apêndice 3 – Dados usados no cálculo do Padrão de consumo do subsistema do Bairro 13

PADRAO DE CONSUMO																	
	Região Sul																
	Área Operacional	Xai-Xai															
	Departamento	Tecnico		Tecnico	Joaquim Bie												
	Ano	2020															
	Mes	Marco															
	Dia	15/16/17															
	Nome do CD	B13															
CAUDALIMETROS NO CD DO B13																	
Hora	DIA 14					DIA 15					DIA 16					Padrao Med (Q)	Padrao Med (leituras)
	Leitura	Volume (m3)	Padrao (Leituras)	Caudal (m³/h)	Padrao (Q)	Leitura	Volume (m3)	Padrao (Leituras)	Caudal (m³/h)	Padrao (Q)	Leitura	Volume (m3)	Padrao (Leituras)	Caudal (m³/h)	Padrao (Q)		
15:00:00	852094	11	0,98	116	1,01	852363	12	1,03	118	1,02	852631	12	1,03	112	0,98	1,01	1,01
16:00:00	852105	12	1,07	116	1,01	852375	11	0,94	117	1,01	852643	11	0,94	113	0,99	1,01	0,98
17:00:00	852117	12	1,07	118	1,03	852386	11	0,94	118	1,02	852654	22	1,88	114	1,00	1,02	1,30
18:00:00	852127	10	0,89	117	1,02	852397	12	1,03	116	1,01	852676	0	0,00	113	0,99	1,01	0,64
19:00:00	852139	12	1,07	115	1,00	852409	22	1,89	118	1,02	852676	23	1,97	112	0,98	1,00	1,64
20:00:00	852150	11	0,98	117	1,02	852431	10	0,86	115	1,00	852689	11	0,94	113	0,99	1,00	0,93
21:00:00	852162	12	1,07	114	1,00	852441	12	1,03	115	1,00	852710	11	0,94	114	1,00	1,00	1,01
22:00:00	852172	10	0,89	114	1,00	852453	11	0,94	117	1,01	852721	11	0,94	111	0,98	1,00	0,92
23:00:00	852181	9	0,80	114	1,00	852464	12	1,03	118	1,02	852732	11	0,94	113	0,99	1,00	0,92
00:00:00	852192	11	0,98	113	0,99	852476	11	0,94	115	1,00	852743	12	1,03	112	0,98	0,99	0,98
01:00:00	852206	14	1,24	112	0,98	852487	11	0,94	115	1,00	852755	12	1,03	112	0,98	0,99	1,07
02:00:00	852217	11	0,98	112	0,98	852498	11	0,94	117	1,01	852767	10	0,86	113	0,99	1,00	0,93
03:00:00	852230	13	1,16	112	0,98	852509	11	0,94	116	1,01	852777	11	0,94	113	0,99	0,99	1,01
04:00:00	852241	11	0,98	113	0,99	852520	11	0,94	113	0,98	852788	12	1,03	113	0,99	0,99	0,98
05:00:00	852252	11	0,98	113	0,99	852531	12	1,03	118	1,02	852800	11	0,94	114	1,00	1,00	0,98
06:00:00	852262	10	0,89	114	1,00	852543	11	0,94	112	0,97	852811	11	0,94	117	1,03	1,00	0,92
07:00:00	852274	12	1,07	116	1,01	852554	11	0,94	110	0,95	852822	11	0,94	115	1,01	0,99	0,98
08:00:00	852285	11	0,98	115	1,00	852565	10	0,86	115	1,00	852833	12	1,03	117	1,03	1,01	0,95
09:00:00	852297	12	1,07	114	1,00	852575	12	1,03	112	0,97	852845	11	0,94	116	1,02	1,00	1,01
10:00:00	852308	11	0,98	114	1,00	852587	11	0,94	112	0,97	852856	11	0,94	118	1,04	1,00	0,95
11:00:00	852318	10	0,89	115	1,00	852598	11	0,94	115	1,00	852867	11	0,94	113	0,99	1,00	0,92
12:00:00	852330	12	1,07	114	1,00	852609	12	1,03	115	1,00	852878	11	0,94	116	1,02	1,00	1,01
13:00:00	852342	12	1,07	115	1,00	852621	10	0,86	115	1,00	852889	11	0,94	112	0,98	1,00	0,96
14:00:00	852352	10	0,89	115	1,00	852631	-852631	-73173,56	116	1,01	852900	-852900	-72924,54	115	1,01	1,01	-48699,07
15:00:00	852363	11		116									116				
		11,25	24,00	114,5	24,00		11,65217391		115,3333333		11,69565217		113,7916667		24,00	23,04	

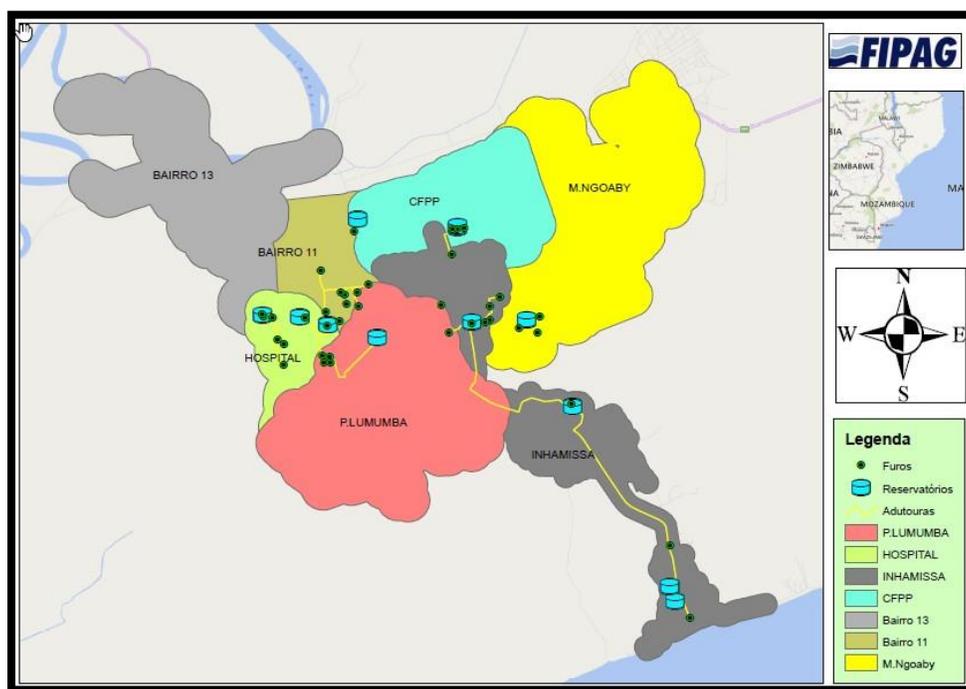
Apêndice 4 – Mapa de Clientes Georeferenciados do Sistema do Bairro 13



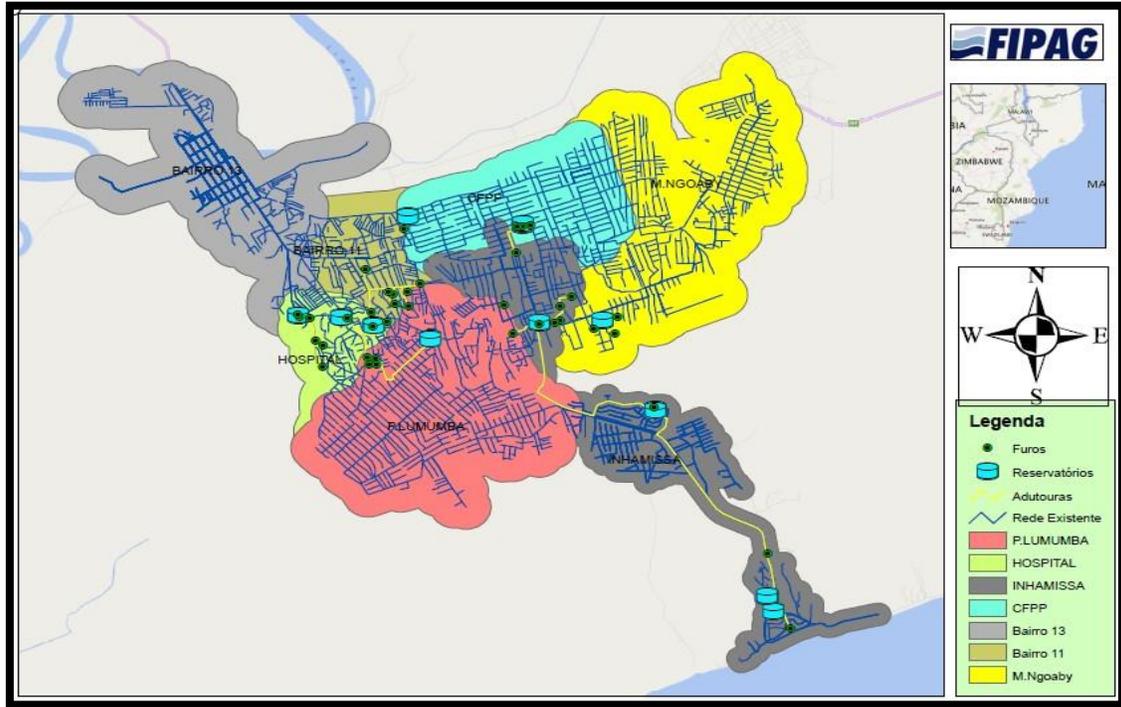
Apêndice 5 - Mapa dos nós de consumo e os polígonos associados



Apêndice 6 – Mapa de Localização dos CDs do sistema de Xai-Xai



Apêndice 7 – Mapa da Rede de Distribuição do sistema de Xai-Xai



Apêndice 8 – Mapa de Rede do Subsistema do BAIRRO 13



Apêndice 9 – Imagens das Infra estruturas do subsistema do BAIRRO 13

9.1 Reservatório do CD do BAIRRO 13



9.2 Campo de furos (casota do F13)



Apêndice 10 – Imagens da Urbe na Área de Estudo (zona Baixa da cidade de Xai-Xai)

10.1 Av. Samora Machel – principal via da Urbe



10.2 Sede do Conselho Municipal da cidade de Xai-Xai



10.3 Rua dos CFM

