

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

JÂMISON THIAGO PINELLI

**DEFINIÇÃO DAS BASES DE UM SISTEMA ESPECIALISTA DE AUXÍLIO À
DECISÃO NO COMBATE ÀS PERDAS DE ÁGUA.**

Ilha Solteira
2021

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS

JÂMISON THIAGO PINELLI

DEFINIÇÃO DAS BASES DE UM SISTEMA ESPECIALISTA DE AUXÍLIO À
DECISÃO NO COMBATE ÀS PERDAS DE ÁGUA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, por meio da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp campus Ilha Solteira) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Prof. Dr. Maurício Augusto Leite
Orientador

Prof. Dr. Milton Dall’Aglio Sobrinho
Coorientador

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P621d Pinelli, Jâmison Thiago.
Definição das bases de um sistema especialista de auxílio à decisão no combate às perdas de água / Jâmison Thiago Pinelli. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021 92 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, 2021

Orientador: Maurício Augusto Leite
Coorientador: Milton Dall'Aglio Sobrinho
Inclui bibliografia

1. Aplicativo web. 2. Perdas de água. 3. Sistemas de abastecimento de água.
4. Aplicativo para avaliação de perdas. 5. Controle de perdas.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Serviço Técnico de Referência, Atendimento ao Usuário e Documentação
Departamento Técnico de Biblioteca e Documentação
CNPq - 3009

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Definição das Bases de um Sistema Especialista de auxílio à decisão no Combate às Perdas de Água.

AUTOR: JÂMISON THIAGO PINELLI
ORIENTADOR: MAURICIO AUGUSTO LEITE
COORIENTADOR: MILTON DALL AGLIO SOBRINHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, área: Regulação e Governança de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MILTON DALL AGLIO SOBRINHO (Participação Virtual) Presidente da Banca
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP

FRANCISCO LLEDO DOS
SANTOS:26760323807

Assinado digitalmente por FRANCISCO LLEDO DOS SANTOS:26760323807
DN: C=BR, O=ICP-Brasil, CN=00000100079991, OU=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, OU=RFB-e-CPF A3,
OU=AC SERASA RFB v3, OU=03208519000130, OU=PRESENCIAL, CN=FRANCISCO LLEDO DOS SANTOS:26760323807
Razão: Em conformidade com os termos definidos, por minha assinatura neste documento.
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2021.12.14 15:10:24-04'00'
Font: PDF Reader Versão: 11.1.0

Prof. Dr. FRANCISCO LLEDO DOS SANTOS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade
de Ciências Exatas



Prof. Dr. MARCELO LIBÂNIO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos / Universidade Federal de
Minas Gerais

Ilha Solteira, 10 de dezembro de 2021

DEDICATÓRIA

AGRADEÇO

Aos meus pais, Célia Aparecida Aranha Pinelli e Antônio Aparecido Pinelli, eternamente grato, pelo apoio sempre nas minhas escolhas, pela minha criação e educação.

DEDICO

Aos meu Filhos,
Alice e Benjamin.

HOMENAGEIO

Vô Walter e Vó Nega (In memorian)

OFEREÇO

À minha esposa Viviani

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado esta oportunidade, me capacitando e guiando sempre os meus caminhos.

Ao Professor Dr. Milton Dall’Aglío Sobrinho, grande amigo, pela excelente orientação, incentivo, e contribuição técnica na realização da minha Dissertação do Mestrado.

Ao Engenheiro Civil Lucas pelo incentivo para fazer o processo seletivo do ProfÁgua.

Ao Engenheiro Civil Claudio e Engenheira Ambiental Luciana pela colaboração na realização do meu estágio no Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Pardo Grande.

Ao meu pai, minha mãe e meu irmão, grandes incentivadores, Antônio Aparecido Pinelli, Célia Aparecida Aranha Pinelli e Jonas Antônio Pinelli, minha família, que sempre apoiou a profissão que escolhi e que exercerei com muito êxito e gratidão, e a Viviani, minha querida esposa, pela compreensão, apoio e carinho nos momentos mais difíceis, e a Alice e o Benjamin, minha vida, dos momentos de alegria, quando estava escrevendo o meu trabalho.

Ao meu eterno amigo Antônio Carlos, pela contribuição mesmo longe.

Ao meu grande amigo Marcos Carreira, pela grande contribuição na elaboração do software de perdas.

A toda turma do ProfÁgua 2019, por todos os momentos que jamais serão esquecidos.

Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

“Há água suficiente para satisfazer as crescentes necessidades do Mundo, mas não sem mudar a forma de geri-la.”

Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos – ONU

RESUMO

Neste estudo é proposto um Aplicativo *WEB* que investiga e auxilia o gerenciamento de possíveis problemas com relação a produção, reservação, abastecimento e perdas de água e de faturamento de um sistema de abastecimento de água urbano, e que tem como resultado melhorar a governança das águas. Direcionado a gestores que não tenham condições técnicas suficientes para resolução dos problemas e implantação de soluções para evitar o desperdício de água evitando assim também prejuízos financeiros, podendo aumentar a eficiência e eficácia dos sistemas de abastecimento de água. Foi adotada a Lógica *Fuzzy* para elaboração dos algoritmos matemáticos, testados inicialmente no software Excel, para posterior implementação no programa final, que facilita a utilização dos usuários. Com isso, os resultados esperados serão respostas rápidas de forma clara e objetiva, trazendo índices e ainda apontando as possíveis causas e indicando algumas soluções para cada problema constatado, podendo resultar em melhorias. Os dados de entrada do sistema serão: produção de água, demanda de água, reservação de água, volume de água hidrometrado, valor faturado da água consumida, quantidade de habitantes, consumo médio per capita, pressão disponível na rede. Com os resultados adquiridos, os gestores responsáveis pelos sistemas de abastecimento de água poderão tomar as decisões necessárias para as melhorias caso haja necessidade, seguindo as recomendações apresentadas pelo programa.

Palavras-chave: aplicativo WEB; perdas de água; sistemas de abastecimento de água; aplicativo para avaliação de perdas; controle de perdas.

ABSTRACT

In this study, a WEB Application is proposed that investigates and helps the management of possible problems related to production, reservation, supply and loss of water and billing of an urban water supply system, and which results in improving water governance. Aimed at managers who do not have sufficient technical conditions to solve problems and implement solutions to avoid wasting water, thus also avoiding financial losses, which can increase the efficiency and effectiveness of water supply systems. Fuzzy Logic was adopted for the elaboration of the mathematical algorithms, initially tested in Excel software, for later implementation in the final program, which facilitates the use of users. With this, the expected results will be quick answers in a clear and objective way, bringing indices and also pointing out the possible causes and indicating some solutions for each problem found, which may result in improvements. The system's input data will be: water production, water demand, water reserve, hydrometered water volume, billed value of water consumed, number of inhabitants, average consumption per capita, available pressure in the network. With the results obtained, the managers responsible for the water supply systems will be able to make the necessary decisions for improvements if necessary, following the recommendations presented by the program.

Keywords: WEB application; water losses; water supply systems; application for loss assessment; loss control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de um sistema de abastecimento de água com captação superficial.....	17
Figura 2 – Balanço Hídrico entre sistema de produção e sistema de distribuição de água.	21
Figura 3 - Síntese de Ações de Combate às Perdas de água.....	23
Figura 4 – Cruz de Lambert para combate às perdas reais	24
Figura 5 – Tipos e Locais de Perdas Aparentes e ações de Combate.....	25
Figura 6 – Cruz de Ataque às perdas aparentes.	26
Figura 7– Arquitetura <i>Fuzzy</i> Mamdani.....	40
Figura 8 – Definição de meia idade em Conjuntos Convencionais.....	41
Figura 9 - Definição de meia idade em Conjuntos <i>Fuzzy</i>	42
Figura 10 - Exemplo de função gráfica de pertinência de várias situações de conforto térmico. Fonte: Aguado e Cantanhede (sd)	43
Figura 11 - Exemplo de função gráfica de pertinência de conforto térmico em um único gráfico. Fonte: Aguado e Cantanhede (sd)	44
Figura 12 – Gráfico da função de Pertinência Triangular	45
Figura 13 – Gráfico da função de Pertinência Trapezoidal	46
Figura 14 - Parte A – Ilustração do funcionamento do programa na interface WEB.....	77
Figura 14 - Parte B – Ilustração do funcionamento do programa na interface WEB.....	78
Figura 14 - Parte C – Ilustração do funcionamento do programa na interface WEB.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lógica 1 com a condição da relação entre produção diária (Pd) e produção necessária (Pnec).	52
Tabela 2 - Lógica 2 com a condição da relação entre reservação existente do sistema (Re) e reservação adequada (Rad).	53
Tabela 3 - Lógica 3 com a condição da relação entre volume faturado mensal (Vf) e volume produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre a realização das leituras (Vp).	55
Tabela 4 - Lógica 4 com a condição da relação entre quantidade de hidrômetro (Qh) e número de ligações (NL).	57
Tabela 5 - Lógica 5 com a condição da relação entre Contas Pagas (Cp) e Número de ligações (NL).	59
Tabela 6 - Lógica 6 com a condição da relação entre valor de arrecadação anual (Va) e valor das despesas anuais (Vd).	60
Tabela 7 - Lógica 7 com a condição da relação entre volume hidrometrado (Vh) e volume produzido (Vp).	61
Tabela 8 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados com relação aos hidrômetros Responder com Sim (S) ou Não (N).	63
Tabela 9 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados nos macromedidores. Responder com Sim (S) ou Não (N).	65
Tabela 10 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados na leitura do volume produzido (macromedido) e hidrometrado (micromedido). Responder com Sim (S) ou Não (N).	66
Tabela 11 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto ao volume de água perdido na distribuição devido às fraudes e falha de cadastro. Responder com Sim (S) ou Não (N).	67
Tabela 12 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto à vazão mínima noturna e utilização de bombeamento direto na rede com variação de rotação (inversor de frequência). Responder com Sim (S) ou Não (N).	68
Tabela 13 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto à pesquisa por geofone da rede de distribuição, pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e reparos executados. Responder com Sim (S) ou Não (N).	69

Tabela 14 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto à setorização (divisão das redes por setor) para medição e controle e cadastro técnico das redes e ramais de água. Responder com Sim (S) ou Não (N).....	70
Tabela 15 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto à substituição de redes e ramais de água comprometidos. Responder com Sim (S) ou Não (N).....	71
Tabela 16 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto ao corte do fornecimento de água pela falta de pagamento e fraude. Responder com Sim (S) ou Não (N).	72
Tabela 17 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto à pressão estática máxima e a pressão dinâmica mínima na rede de distribuição. Responder com Sim (S) ou Não (N).	73

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
Cidade	Nome da cidade ou Setor
CMB	Conjunto motobomba
Cp	Contas pagas (unidade)
EG	Entidades Gestoras
ET	Evapotranspiração
D	Demanda diária (m^3/h)
d	quantidade de dias decorridos entre as leituras
FUNASA	Fundação Nacional da Saúde
Ht	Ht - Horas trabalhadas de captação do manancial por dia
hab	Número de habitantes atendidos por abastecimento de água
IWA	International Water Association
k1	Coeficiente de máxima vazão diária (adotado 1,20)
NBR	Norma Técnica Brasileira
NF	Neuro- <i>Fuzzy</i>
NL	Número de ligações de água cadastradas (unidade)
NRW	Non Revenue Water
Phid	Preço do hidrômetro (R\$)
Pd	Produção diária de água (m^3)
Pnec	Produção necessária diária de água (m^3)
Q	Vazão máxima de captação do manancial (m^3/h)
Qh	Quantidade de hidrômetros instalados (unidade)
qm	Consumo per capita (litros/hab.dia)
Qmédia	Vazão média (m^3/h)
Rad	Reservação adequada (m^3)
Re	Reservação Existente do Sistema (m^3)
Ri	Reserva combate Incêndio (m^3)
RNA	Redes Neurais artificiais
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.
Unesp	Universidade Estadual Paulista
Va	Valor de arrecadação (R\$)

Vd	Valor das Despesas anuais (R\$)
Vf	Volume de água faturado mensal (m ³)
Vh	Volume de água Hidrometrado mensal (m ³)
Vnec	Volume de água produzido necessário mensalmente (m ³)
Vp	Volume de água produzido mensalmente (m ³)
VRP	Válvula Redutora de Pressão
ZMC	Zona de Medição e Controle
WEB	World Wide Web (Rede Mundial de Computadores)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1	Sistema de Abastecimento de Água	17
3.2	Perdas em sistemas de abastecimento de Água, desperdícios e suas consequências.....	19
3.3	Modelagem Matemática e Simulação Hidráulica para solução de perdas em sistemas de abastecimento de Água	35
3.4	Lógica <i>Fuzzy</i>.....	39
3.4.1	Números e Conjuntos <i>Fuzzy</i>	40
3.4.2	<i>Funções de Pertinência</i>	44
3.4.3	Aplicações da Lógica <i>Fuzzy</i> em recursos hídricos	46
4	METODOLOGIA	49
4.1	Entrada de Dados	50
4.2	Cálculo de Parâmetros.....	51
4.3	Saída de Dados.....	52
4.3.1	<i>Lógica 1</i>	52
4.3.2	<i>Lógica 2.....</i>	53
4.3.3	<i>Lógica 3.....</i>	55
4.3.4	<i>Lógica 4.....</i>	55
4.3.5	<i>Lógica 5.....</i>	58
4.3.6	<i>Lógica 6.....</i>	59
4.3.7	<i>Lógica 7.....</i>	60
4.4	Procedimentos Operacionais	62
4.4.1	<i>Procedimento 1.....</i>	62
4.4.2	<i>Procedimento 2.....</i>	64
4.4.3	<i>Procedimento 3.....</i>	66
4.4.4	<i>Procedimento 4.....</i>	67
4.4.5	<i>Procedimento 5.....</i>	67

4.4.6	<i>Procedimento 6</i>	68
4.4.7	<i>Procedimento 7</i>	70
4.4.8	<i>Procedimento 8</i>	70
4.4.9	<i>Procedimento 9</i>	71
4.4.10	<i>Procedimento 10</i>	72
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
6	CONCLUSÕES	79
7	REFERÊNCIAS	82
	ANEXOS	85

1 INTRODUÇÃO

As significativas perdas de água tratada de sistemas de abastecimento de água, sempre trouxeram preocupações para os gestores de sistema de saneamento. Atualmente, além da escassez da água, a expansão desenfreada das cidades e a invasão de casas nas faixas de mananciais e nascentes também interferem substancialmente na quantidade e qualidade desse recurso hídrico vital, devendo ser reavaliada uma ampliação nos investimentos de redução de perdas e desperdícios de água de água tratada.

No Brasil, é muito comum sistemas de abastecimento de água que possuem elevados índices de perdas, sejam elas físicas ou aparentes, devido à falta de interesse e de gestão dos órgãos de saneamento. Dessa forma, para o controle efetivo das perdas e do comportamento dos sistemas de acordo com as mais diversas condições operacionais, são de fundamental importância, não somente do ponto de vista econômico e financeiro, no que diz respeito ao desperdício de água tratada e de bombeamento, incluindo custo energético, mas a preservação da água, este recurso natural que a cada dia está se tornando cada vez mais demandado e escasso.

A importância da redução do volume de água perdido, torna-se especialmente relevante ao se considerar que a água distribuída é submetida a um tratamento prévio e é pressurizada o que acarreta, por parte das entidades gestoras, encargos econômicos elevados que se tornam prejuízos em função da água perdida nos sistemas (WU *et al.*, 2011, apud CORTÊS, 2015).

Por outro lado, com redução dos vazamentos e diminuição do volume de água perdido pode ser possível responder ao aumento das solicitações sem realizar qualquer investimento, ou até mesmo reduzir o custo unitário da água.

Uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos torna-se, portanto, cada vez mais um desafio para as entidades que gerenciam sistemas de abastecimento de água por razões econômicas, sociais e ambientais, sendo, portanto, um problema totalmente transversal ao conceito de desenvolvimento sustentável.

Uma governança eficiente, com investimentos em educação socioambiental, onde a responsabilidade e a integração sejam de todos, com respeito e consciência, pode-se concomitantemente utilizar, preservar e conservar os recursos naturais.

Visto isso, é importante ressaltar que a população mundial aumenta, portanto, fornecer necessidades básicas (ou seja, alimentos e água) para humanos está se tornando cada vez mais difícil. Por outro lado, as mudanças climáticas globais que afetam os recursos hídricos são

também outro grave problema do Planeta. Portanto, espera-se que o estresse hídrico e a escassez de água aumentem acentuadamente em várias regiões do mundo. Por este motivo, as perdas nas redes de abastecimento devem ser controladas e reduzidas imediatamente, com urgência.

Neste estudo, como contribuição para melhorar a gestão dos sistemas de abastecimento de água, foram criadas novas funções, a partir da Lógica *Fuzzy*, denominadas funções de pertinência simples e técnica de geração de regras *Fuzzy*, para analisar a questão das perdas em redes de água potável. Para tanto, a Cidade de Pirangi, Estado de São Paulo, foi escolhida como área de estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um *Software* (Aplicativo *WEB*) para apoio ao gerenciamento de sistemas de distribuição de água. O programa será alimentado com dados fornecidos pelo usuário, abordando a produção, reservação, abastecimento e hidrometria, para realizar um diagnóstico do sistema e recomendar soluções técnicas e administrativas para diminuir as perdas, melhorar a governança e mitigar os impactos nos recursos hídricos.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar uma planilha do Excel, a partir da Lógica *Fuzzy*, com lógicas de diagnóstico dos resultados do sistema e da rotina operacional, para estimular a melhoria do gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água
- Implantar essa metodologia em Aplicativo *WEB* com interface de usuário dedicada, de modo a facilitar a utilização dos interessados.

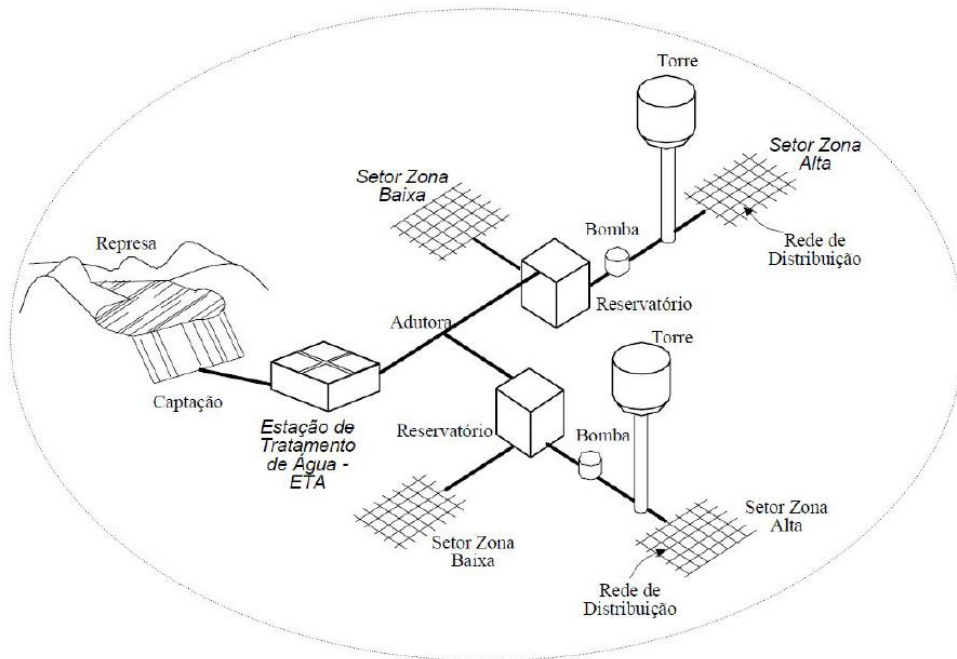
3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Sistema de Abastecimento de Água

O abastecimento público de água, como ilustrado na Figura 1, é essencialmente uma estrutura linear e uma das mais importantes infraestruturas urbanas, onde a maioria das tubulações são para condução de água, desde a captação em um manancial, seja ele subterrâneo ou superficial, até a entrega da água potável ao consumidor final, passando pelas estações de tratamento, reservação, elevação ou redução de pressão (TARDELLI FILHO, 2015).

É caracterizado pela retirada de água dos mananciais, adequação de sua qualidade caso necessário, transporte e fornecimento em quantidade e qualidade compatível com a necessidade humana. A concepção e os projetos dependem das características e porte de suas instalações e também do tamanho das cidades e do atendimento à população.

Figura 1 – Exemplo de um sistema de abastecimento de água com captação superficial.



Fonte: Adaptado Sabesp (2003)

A divisão clássica dos sistemas de abastecimento de água em suas partes constituintes é apresentada a seguir.

- a) Manancial Superficial ou subterrâneo

Os corpos hídricos superficiais são compreendidos pelos rios, lagos e reservatórios, e as águas subterrâneas, que são provenientes dos aquíferos, que devem ter vazão suficiente e qualidade adequada, para o abastecimento, conforme leis vigentes dos órgãos ambientais.

b) Captação Superficial ou subterrânea

Todas estruturas e dispositivos, com instalações no manancial, para captação de água para o abastecimento.

c) Estação elevatória

É o local onde estão instalados os conjuntos motobombas, destinados para a elevação da pressão necessária para vencer os desníveis geométricos e garantir o abastecimento de água.

d) Reservatório

É um elemento que foi concebido com o objetivo de regularizar a variação das vazões de adução e distribuição, pode ter a função de manter a pressão nas redes de distribuição, e reserva para combate de incêndio. São classificados em enterrado, semienterrado, apoiado e elevado.

e) Estação de tratamento de água

Também conhecida como (ETA), é o conjunto de unidades destinadas a tratar a água para adequar as suas características aos padrões de potabilidade.

f) Adutoras

São as tubulações de grandes diâmetros que conduzem água entre unidades do sistema de abastecimento, interligando a captação a estação de tratamento de água e posteriormente aos reservatórios.

g) Redes de Distribuição e Ramais

As redes de distribuição são tubulações destinadas ao fornecimento de água potável com qualidade, quantidade e pressão adequadas ao consumidor final, e os ramais, que são ligados na rede, têm a função de abastecer diretamente os pontos de consumo do sistema de abastecimentos de água.

Comumente, são utilizadas para abastecimento da rede de distribuição de água, duas formas, que são por gravidade e por bombeamento direto.

No abastecimento por gravidade, a rede é abastecida através de um reservatório cuja carga hidráulica tem pouca variação, podendo-se considerar que a cota piezométrica (pressão a montante) é basicamente fixa e que não há modulação na sua altura manométrica, sendo que este reservatório tem seu nível regularizado através de uma elevatória de recalque ou por gravidade.

Para o bombeamento direto, a vazão e a altura manométrica da rede variam ao longo do dia em função da demanda horária de água. Devido a essa variação, a potência requerida pelo conjunto motobomba (CMB) e, conseqüentemente, a energia consumida, obedecerá uma relação entre a altura manométrica e a vazão. Desta forma, se o CMB trabalha em uma rotação fixa, estabelecida para atender a situação de máxima demanda de água, a bomba irá pressurizar a rede com uma altura manométrica elevada em situações de mínima demanda tendo um funcionamento similar ao abastecimento por gravidade. Essa situação é desfavorável porque provoca um excesso de pressão na tubulação, resultando no aumento das perdas de água na rede e em um consumo desnecessário de energia.

Em busca de atenuar o excesso de pressão e o consumo energético, são utilizados inversores de frequência e sistemas de controle para a regulação automática da velocidade do CMB, estes que são os sistemas de abastecimento de água mais modernos atualmente.

Visto isso, o programa desenvolvido neste trabalho concentrou-se na rede de distribuição de água, local onde se encontram os maiores problemas de perdas de água.

3.2 Perdas em sistemas de abastecimento de Água, desperdícios e suas consequências

A determinação das perdas e seu controle são a melhor forma de avaliar se as atividades de operação e manutenção do sistema de água estão bem conduzidas. Os números dos indicadores de perdas são uma medida da sua eficiência operacional. (TARDELLI FILHO, 2016).

Como lembra (Tardelli Filho, 2016), operar um sistema de água não é simplesmente abrir e fechar válvulas, ligar e desligar bombas. Da mesma forma manter um sistema não é somente reparar os problemas que surgem nas tubulações e equipamentos (manutenção corretiva).

Operar um sistema de distribuição de água é muito mais amplo do que o relatado acima e envolve, principalmente, ter cadastros técnicos e comerciais confiáveis (atualizados), medição das vazões na saída ou entrada de reservatórios setoriais e estações elevatórias e na entrada de áreas específicas das redes de distribuição, medição das pressões em pontos notáveis da rede e níveis em reservatórios, entre outros. Também deve-se obter indicadores de performance operacionais e respectivas análises gerenciais, gerando relatórios analíticos e gerenciais de comportamento e tendências das variáveis operacionais medidas em todos os setores de abastecimento e zonas de pressão.

Manter um sistema de distribuição de água envolve, principalmente, implementar atividades de manutenção preditiva (inspeções e medições das estruturas e equipamentos em operação), implementar atividades de manutenção preventiva, a partir de análises das informações da manutenção preditiva e dos históricos de manutenção corretiva, obter relatórios gerenciais, com informações sobre as falhas do sistema, que possam subsidiar as manutenções preditivas e preventivas, bem como as renovações estruturais requeridas, preparar esquemas de contingência e prover logística para o ágil reparo e retomada da operação normal, em casos de acidentes ou falhas.

É um campo notável da engenharia, pouco desenvolvido nos currículos das faculdades (mais afetos a projetos e obras, por assim dizer) e que se pode denominar “engenharia da operação”, que se opõe ao empirismo e ao voluntarismo na operação e manutenção das redes de distribuição de água (TARDELLI FILHO, 2016).

Segundo a IWA (Associação Internacional da Água), definem-se perdas como “toda perda real ou aparente de água ou todo o consumo não autorizado que determina aumento do custo de funcionamento ou que impeça a realização plena da receita operacional”.

As perdas de água são um dos principais indicadores de desempenho operacional das empresas de saneamento em todo mundo. O entendimento básico do conceito considera perdas no sistema de abastecimento como “a diferença entre o volume de água tratada colocada à disposição da distribuição e o volume medido nos hidrômetros dos consumidores finais, em um determinado período de tempo”. (ALEGRE, H. *et al.*, 1999, apud GHIDETTI, A. J., 2013).

Segundo a Funasa (2014), perdas reais são perdas físicas de água decorrentes de vazamentos na rede de distribuição e extravasamentos em reservatórios, e impactam a disponibilidade de recursos hídricos superficiais e os custos de produção de água tratada.

Conforme mostrado na Figura 2, segue um modelo de balanço hídrico entre o sistema de produção e o sistema de distribuição de água em um sistema de abastecimento de água urbano.

Figura 2 – Balanço Hídrico entre sistema de produção e sistema de distribuição de água

Volume de Água que entra no sistema de Abastecimento	Consumos autorizados	Consumo autorizados e faturados	Consumos medidos e faturados (incluindo água exportada)	ÁGUAS FATURADAS
			Consumos não medidos e faturados (estimados)	
	Perdas de água	Consumo autorizados e não faturados	Consumos medidos e não faturados (usos próprios, caminhão pipa, caminhão desobstruidor de esgoto, testes de estaqueidade de redes, etc)	ÁGUAS NÃO FATURADAS
			Consumos não medidos e não faturados (corpo de bombeiro, favela, etc.)	
		Perdas Aparentes	Consumos não autorizados (fraude, falhas de cadastro e de corte)	
			Imprecisão dos Medidores (Macromedição e Micromedição)	
		Perdas Reais	Vazamentos nas adutoras de água Bruta e nas estação de tratamento de água(se aplicável)	
			Vazamentos nas adutoras e redes de distribuição de água	
			Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro	
			Vazamentos e extravasamentos nos aquedutos(se aplicável) e reservatórios de distribuição	

Fonte: Adaptado Sabesp (2005).

As perdas físicas de água em um sistema de abastecimento têm origem principal nas redes e ramais prediais, por diversos fatores como pelos materiais que estão em uso, e que já estão com sua vida útil comprometida, e de difícil manutenção e operação.

Muitos desses materiais estão passando por processo de corrosão causando rompimentos e como consequência aumento dos vazamentos e desperdício de água tratada, ou ainda possuem entupimentos e incrustações, que diminuem a pressão localizada nesses pontos, prejudicando o abastecimento. Diante disso, as companhias que fazem o gerenciamento de sistemas de abastecimento de água deveriam investir na concepção de projetos que levam em conta a facilidade na manutenção, e ainda adotando substituição de redes e ramais deteriorados, ao invés de execução de reparos, trazendo melhorias e maior eficiência na redução de perdas físicas.

As companhias de abastecimento, com responsabilidade e a necessidade da implantação de gestão da redução de perdas, busquem evitar perdas de água tratada, reduzindo assim o volume armazenado em reservatórios, as despesas com manutenção, produtos químicos como cloro e flúor, despesas com energia elétrica e combustível, entre outros.

Além disso, as redes e ramais apresentam muitas dificuldades de manutenção por serem obras enterradas, e as tubulações estão espalhadas por grandes áreas e todas as regiões de uma cidade. Diante disso é necessário que a concepção geral dos projetos, seja conduzida de forma a facilitar a manutenção da redes e ramais de água.

Segundo Vilas-Boas (2008), os efeitos negativos de elevadas pressões na rede se apresentam desde produção de ruídos nas redes interiores de edificações, possibilidade de avaria e desgaste dos equipamentos e principalmente, risco de rompimento da rede.

Para projetos novos, o sistema de distribuição de água deve ser concebido para que os setores de abastecimento sejam subdivididos por zonas de pressão de acordo com a topografia, e obedecer, conforme Norma NBR 12218, os limites de pressões estática e dinâmica, diâmetro da rede de distribuição e ramais, pressões máximas e mínima, capacidade de reservação, produção necessária, e em cada zona de pressão, ser subdivida em setores que devem ser delimitados e isolados, possuindo pontos que possam ser monitorados, auxiliando e facilitando a identificação de perdas de água tratada na rede e ramais.

Morrison *et al* (2007, citado por Freire, 2017, p.9) afirmam que a pressão em uma rede varia de acordo com a vazão. Assim, na medida em que a vazão aumenta em horários de pico a pressão irá reduzir, reduzindo assim o vazamento.

De acordo com o Banco Mundial e a IWA (2016), nos países em desenvolvimento, cerca de 45 milhões de metros cúbicos de água são perdidos diariamente, com um valor econômico de mais de US\$ 3 bilhões por ano. Economizar metade dessas perdas forneceria água suficiente para servir pelo menos 90 milhões de pessoas. Altos níveis de NRW (Non Revenue Water - água não lucrativa) refletem grandes volumes de água sendo perdidos por vazamentos, não sendo faturados aos clientes, ou ambos. A redução de NRW pode melhorar significativamente o desempenho dos serviços públicos de água nos países em desenvolvimento.

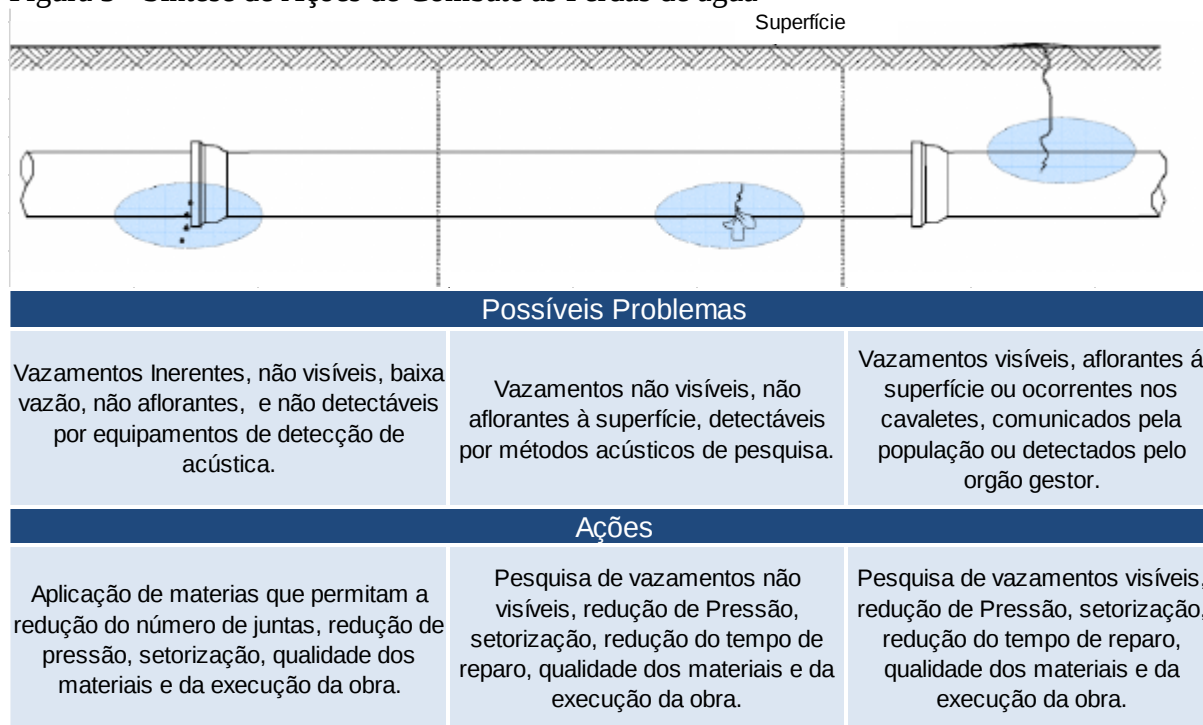
E em todo mundo são estimados 346 milhões de litros perdidos todos os dias com redes de abastecimento de água potável (IWA, 2019).

Segundo Azevedo Netto (1981), apud Patricio (2007), o desperdício não é involuntário, ele é causado pelo descuido ou pelo esbanjamento, refletindo a cultura do consumidor e, muitas vezes a má qualidade do serviço, principalmente no que se refere à cobrança. O desperdício é causado pelo menosprezo à água, como bem comum, em decorrência de aspectos culturais, falta de educação sanitária, inexistência de medição

domiciliar, tarifa desatualizada, pressões elevadas, aparelhos sanitários de má qualidade, entre outros.

A Sabesp sistematiza a síntese das ações de combate as perdas em uma tubulação de água conforme a Figura 3.

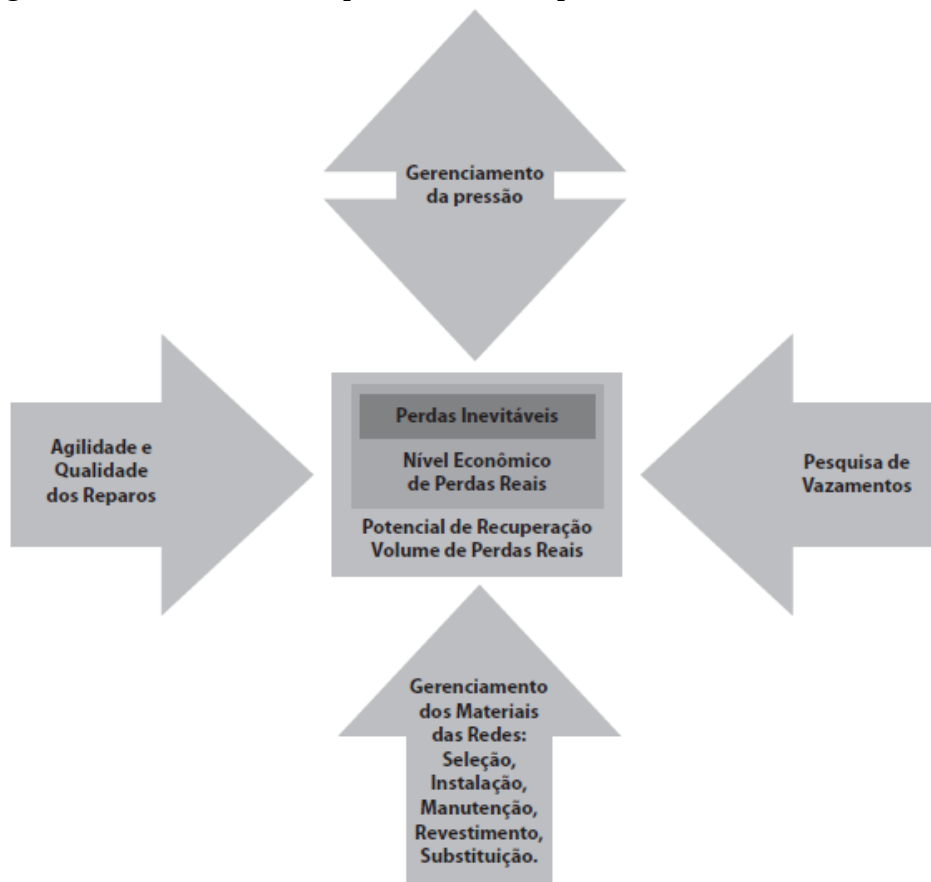
Figura 3 - Síntese de Ações de Combate às Perdas de água



Fonte: Adaptado de Sabesp (2005).

No que tange ao combate às perdas reais de água, Funasa (2014) apresenta as ações estratégicas a serem tomadas pelo operador do sistema de uma forma gráfica, denominada Cruz de Lambert, conforme mostrado na Figura 4. Verifica-se pela figura que se considera economicamente inviável anular totalmente as perdas reais. Por esse motivo as perdas são divididas em dois níveis: perdas inevitáveis e perdas em nível econômico de controle. O nível econômico de perdas é definido pelo valor até ao qual o custo de investimento é passível de recuperação.

Figura 4 – Cruz de Lambert para combate às perdas reais

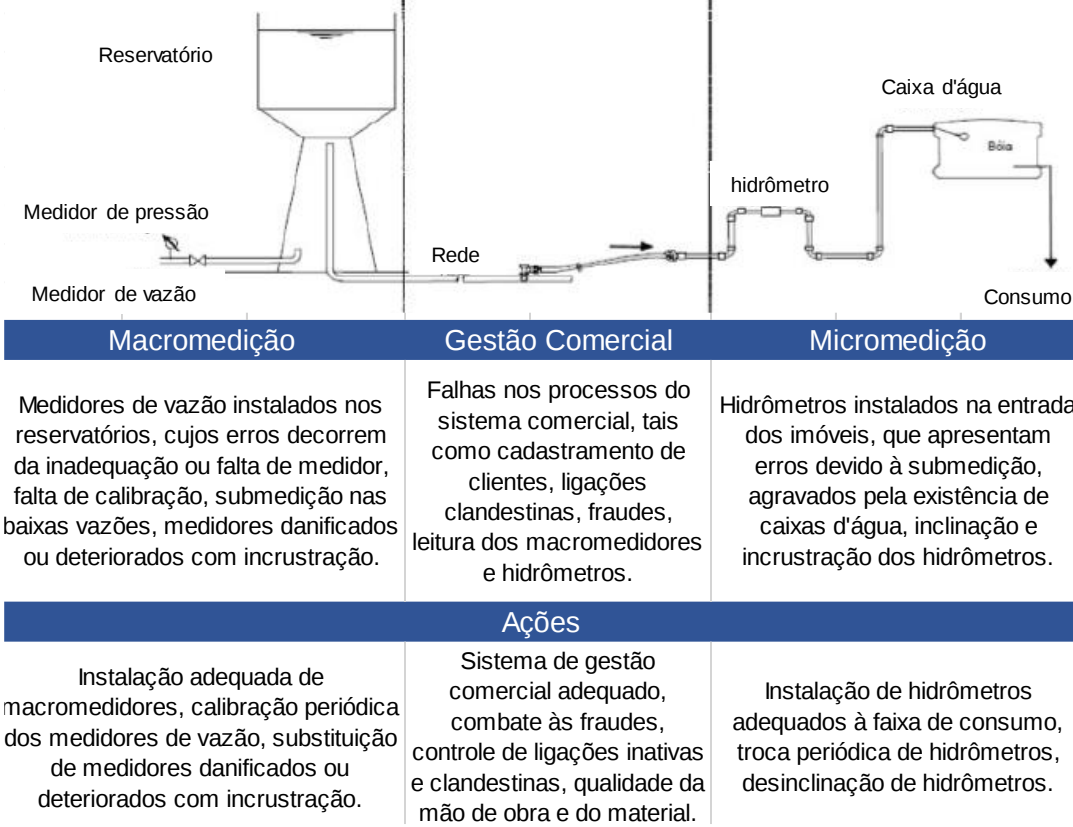


Fonte: Funasa (2014).

A Figura 4 mostra que, para diminuir as perdas, é necessário haver um gerenciamento confiável e com controle para o aumento ou diminuição da pressão, uma rotina contínua de pesquisa de vazamento, maior agilidade e qualidade nos reparos, melhorar os critérios para escolha e instalação de materiais da rede, como tubulação e demais acessórios e conexões buscando sempre a qualidade, pode resultar em um sistema somente com perdas inevitáveis.

Segundo Funasa (2014), as perdas aparentes são perdas não físicas, decorrentes de submedição nos hidrômetros, fraudes e falhas do cadastro comercial, onde a água é consumida, porém não é faturada pela empresa de saneamento. Com relação às perdas aparentes, que são diferentes das perdas reais, os componentes são distintos e ações de combate são também bem distintas, conforme Figura 5.

Figura 5 – Tipos e Locais de Perdas Aparentes e ações de Combate



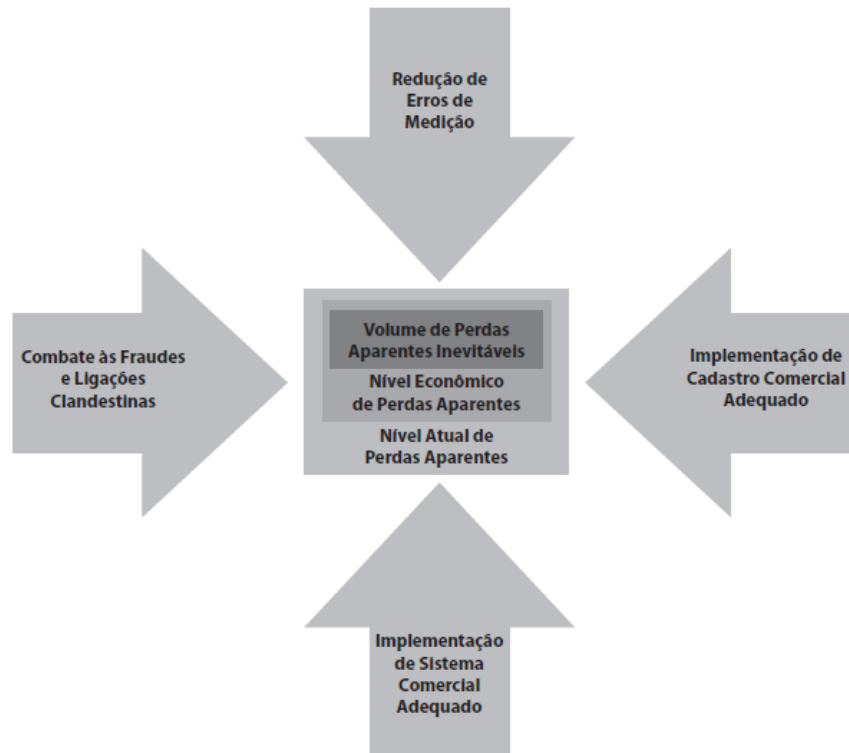
Fonte: Adaptado de Funasa (2014).

Conforme Tardelli Filho (2016, p. 9)

Não existe “perda zero” em sistemas de abastecimento de água! Por mais cuidados tomados e esforços realizados, sempre haverá um remanescente valor de perdas no sistema (“perda inevitável”). Outro ponto é que, se não forem feitas, regularmente, ações de combate às perdas, estas irão gradativamente aumentar no sistema (conceito de “crescimento natural das perdas”).

Já no que se refere ao combate às perdas aparentes, criou-se a Cruz de Ataque às perdas aparentes, e estrategicamente deve-se adotar as ações mostradas na Figura 6. Observa-se que, da mesma forma que anular as perdas reais, é também inviável economicamente anular as perdas aparentes.

Figura 6 – Cruz de Ataque às perdas aparentes



Fonte: Funasa (2014).

As perdas de água devem estar focadas fortemente em toda a água tratada que é perdida, principalmente em vazamentos subterrâneos em adutoras e ramais de água, e também em como reduzir essas perdas por meio das pesquisas de vazamentos e também com o controle de pressão. Contudo, essas perdas incluem toda a água que entrou nas redes de abastecimento após o tratamento e não conseguiu chegar aos consumidores. Identificar quanta água está sendo perdida é o ponto de partida recomendado para concessionárias e profissionais que trabalham com saneamento.

Como curiosidade, registre-se a tentativa feita por Sextus Julius Frontinus (95 d.C.) para avaliar a água perdida nos aquedutos de Roma. Ele utilizou o conceito de “balanço hídrico” entre as águas que entravam no sistema e as que saíam, mas falhou na metodologia, pois utilizava apenas a seção transversal dos fluxos, sem considerar a velocidade do escoamento (FRAUENDORFER, 2010, *apud* TARDELLI FILHO, 2016).

De acordo com IWA (2016), um grupo de especialistas desenvolveu um método de contabilização de toda a água que entra em um sistema de abastecimento de água, e esse processo foi aceito mundialmente por todos os associados à gestão de redes de água. A terminologia, então, mudou de "Água não contabilizada" para "Água não lucrativa", com base no fato de que agora toda a água pode ser contabilizada, embora o processo de IWA para

contabilizar a água destaque os pontos fortes e fracos das medições empregadas, sujeitas a erros variáveis.

Essa abordagem de cima para baixo fornece uma direção estratégica para os gerentes de serviços públicos determinarem sua melhor abordagem para reduzir as perdas de água e montar um plano estratégico para reduzir o volume total de água perdida.

Além disso, somente verificar as porcentagens para medir as perdas pode ser ruim e não traz eficiência para combatê-las. Deve-se dar ênfase em ter dados precisos sobre a medição dos fluxos e a variação de pressão em redes de distribuição de água, pois esses são fatores chaves de se ter conhecimento para identificar onde estão as maiores partes dos vazamentos e para onde eles podem ser encontrados e como eles podem ser interrompidos.

Um estudo realizado, em novembro de 2013, pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), mostra que a realidade portuguesa, nesta matéria, é condizente com o panorama mundial. No âmbito da avaliação da qualidade dos serviços públicos de abastecimento de água, o estudo revelou que, em média, cerca de 35% do volume de água captado, tratado e distribuído pelos sistemas de abastecimento não é faturado chegando este valor, em casos mais graves, nas zonas rurais e mediantemente urbanas, a rondar os 70%. Considerando que o limiar técnico aceitável deverá ser da ordem dos 20% para o volume de água não faturado, as Entidades Gestoras incorrem em custos de cerca de 167 milhões de euros anuais.

Segundo o SNIS (2019), no Brasil, o índice de perdas de água na distribuição que expressa o percentual do volume total de água disponibilizado que não foi contabilizado (perdas aparentes) ou perdido (perdas reais) na distribuição, é de 39,24%.

Segundo o SNIS (2019), no Brasil, o índice de hidrometração que expressa o percentual de ligações ativas de água micromedidas (com hidrômetros) em relação ao total de ligações ativas, indicando o nível de hidrometração das ligações ativas de água é de 92,21 %. O índice de macromedição que expressa o percentual do volume de água disponibilizado medido por hidrômetros na saída das Estações de Tratamento de Água (ETA), Unidades de Tratamento Simplificado (UTC) ou dos poços, bem como nos pontos de entrada de água tratada, se existirem. Desta forma, o índice de macromedição indica o nível de hidrometração do volume que entra nos sistemas de distribuição de água. Segundo o SNIS o índice para o Brasil é de 81,75%, um valor considerado muito alto, possivelmente superestimado.

A cidade de Pirangi utilizada como exemplo no desenvolvimento do programa foi escolhida tendo em vista seu pequeno tamanho e as condições da gestão do sistema, típicas de sistemas autônomos com poucos recursos técnicos e de pessoal, além da disponibilização dos

dados ao autor. Em Pirangi o SNIS (2019) registra que o índice de perdas de água na distribuição é de 36,44%. O Índice de hidrometração é de 98,81 %, e o índice de macromedição é de 0,00%, ou seja, não possui macromedidores na produção.

Diante da realidade do país, mostra-se que as perdas de água em sistemas de abastecimento urbano, ainda são bem elevadas, da ordem de 40%, sendo a micromedição da ordem de 92% e macromedição da ordem de 82% (SNIS,2020). Verifica-se, portanto, que as perdas apresentadas acima podem estar subestimadas e muito menor que a realidade dos municípios. Assim sendo, esse contexto justifica a importância da criação de ferramentas que otimizam a utilização da água em sistemas de abastecimento e que criam alertas e auxiliam na decisão no combate as perdas de água.

De acordo com a IWA (2016), os efeitos da escassez de água e da seca só se intensificarão se não houver nenhuma ação para amenizá-los, A escassez de água e a seca afetam quatro bilhões de pessoas e prejudicam cidades, indústrias e o meio ambiente. Em todas essas áreas, a construção de resiliência à seca e à escassez requer liderança global de uma série de partes interessadas.

Também segundo a IWA (2016), impulsionadas pelas mudanças climáticas e pela má gestão da água, as secas estão se tornando mais frequentes e a escassez de água está aumentando em severidade em todas as regiões do mundo. O Fórum Econômico Mundial classifica a segurança da água como o maior risco global que as sociedades, economias e negócios enfrentam na próxima década.

A importância de reduzir as perdas de água se intensifica sempre que uma estiagem é iminente. Uma dessas questões está relacionada à maior disponibilidade de água para fins de receita. Na mesma linha está o impacto na economia financeira de uma empresa de serviços públicos em todas as outras partes de seus negócios, se houver redução das perdas de água. Além disso tem menos impacto na lucratividade, menos interrupções nos serviços de manutenção e operação, resulta em melhorias na qualidade da água por meio de menos contaminação, atinge excelência ambiental e tem significativo interesse político.

Desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas tecnologias também poderiam contribuir no gerenciamento e na localização de vazamentos. Como exemplo cita-se o aprimoramento do radar de penetração no solo, para fornecer uma visão de raio-x do que está acontecendo abaixo da superfície de ruas e pavimentos. Todas as formas necessárias para economia de água, qualquer que seja o tipo de perda, tem que fazer parte de algum plano de reestruturação do sistema, e também a importância de todos os novos empreendimentos fazerem a obra de infraestrutura em saneamento com qualidade, minimizando a manutenção.

Segundo Franca (2007), o material e a idade da rede podem constituir-se materiais relevantes, onde constata que a valorização do trabalho de cadastramento digital das redes, norteia uma política mais eficiente de controle de perdas.

Para lograr êxito no controle de perdas é necessário que o operador do sistema dispense investigação aprofundada da infraestrutura existente e também estude o comportamento da comunidade atendida, pois cada sistema se comporta de forma bastante específica (FRANCA, 2007).

De acordo com Franca (2007), a partir de estudo estatístico de correlação em vários sistemas de abastecimento de água em municípios mineiros, composto por 103 municípios, e considerando ainda o fato do estado escolhido apresentar grande similaridade com os dados das condições socioeconômicas e de saneamento em relação ao Brasil, pretendeu-se verificar a viabilidade de estimar, por meio de correlação estatística múltipla, as perdas de água nos sistemas de distribuição.

Foi estudada a correlação de diversas variáveis como extensão da rede de distribuição de água, densidade de ligações por comprimento de rede, número de economias por ligação, volume de água consumido e faturado, tarifa média, índice de hidrometração, consumo média per capita, população atendida, pressão do sistema e índice de desenvolvimento humano municipal. Franca (2007) concluiu que não foi possível obter modelagem matemática satisfatória para expressar o índice de perdas de água e ainda propor medidas de redução de perdas.

Segundo Patrício (2007), num subsetor do sistema de abastecimento da cidade de Presidente Prudente – SP, administrado pela Sabesp, onde se possui um nível técnico elevado de controle, com relação a sistema autônomos de abastecimento, estimou mesmo com dificuldades, através do índice de menor vazão noturna, o índice médio de perdas que foi de 222 L/ramal.dia para as perdas totais e de 182 L/ramal.dia para as perdas reais através da leitura da mínima vazão noturna. As perdas aparentes foram de apenas 40 L/ramal.dia, o que significou que os vazamentos são preponderantes nas perdas. Isso significou que 82% das perdas são perdas reais e 18% são perdas aparentes.

Segundo Carvalho (2014), as perdas de água constituem uma das principais fontes de ineficiência das Entidades Gestoras (EG), registrando-se perdas de cerca de 30% em Portugal e também em países desenvolvidos.

Carvalho (2014) considera que, apesar da ocorrência de perdas de água em fugas e/ou rupturas nas redes de abastecimento de água serem inevitáveis, é possível reduzi-las, em resultado de um controle e monitorização suficientes. O ponto de partida passará pela

medição zonada, procedendo-se assim, à divisão das várias zonas de acordo com as exigências e características presentes. Os custos associados, todavia, elevados e não ao alcance de todas as empresas de gestão, serão recuperados com o aumento do faturamento ou pelo menos pelo não desperdício de água que dá entrada no sistema.

Segundo Carvalho (2014), a partir do trabalho desenvolvido junto a empresa municipal Águas e Parque Biológico de Gaia, Portugal, onde teve a disponibilidade de acesso a todos os dados de exploração e programas necessários para a escolha de uma unidade de reservação, onde o fator determinante para esta escolha, foram resultados da aplicação do método da vazão mínima noturna que identificou uma vazão demasiadamente elevada, foi possível a implantação desta zona de medição e controle (ZMC), e com utilização de softwares especializados e automação do sistema, facilitou a detecção e localização de potenciais perdas no sistema.

Em resumo, percebe-se que na literatura a utilização de zonas de medição e controle num sistema de abastecimento de água é um fator preponderante uma vez que permite identificar, detectar e reparar os vazamentos e/ou rupturas na rede em um curto espaço de tempo, ficando assim, resolvida a principal ineficiência da empresa de gestão.

Assim sendo, o volume de água adquirido pela empresa que faz a gestão, assume valores significativamente menores mantendo-se o volume faturado. Dá-se com isso, uma melhoria significativa da situação financeira, podendo reduzir a tarifas aplicadas e ficando fundos disponíveis para outros investimentos necessários, como substituição de redes, acessórios ou até mesmo a construção de reservatórios.

Segundo Carvalho (2014), também pode-se ter reservatórios com capacidades e tempos de bombeamento inferiores, reduzindo-se custos de energia e material. As ZMC são assim a base do sucesso de uma empresa de gestão e da satisfação do consumidor.

Malheiro (2011), em um estudo de controle de perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água com utilização de telemetria, junto a empresa Águas do Porto, relata substituição dos medidores antigos por medidores com leitura por telemetria, o que permitiu um melhor controle sobre a medição do volume de água. Com esse estudo verificou-se que essa medida adotada pode não se restringir somente ao combate de irregularidades dos consumidores e faturamento das empresas gestoras, mas também pode ser utilizado para alerta de vazamentos, monitorar consumos excessivos nas residências, existência de submedição por excesso de utilização do medidor, ou seja, à medida que os volumes totalizados vão aumentando.

Além disso, o sistema de telemetria pode emitir alertas para a central de controle e operação, caso o medidor permaneça parado ou bloqueado, o que é um forte elemento que contribui para as perdas aparentes e também tem um papel muito importante no combate aos erros de medição feita pelos leituristas. O consumo não autorizado também pode ser fortemente combatido, pois caso o medidor indica alguma ocorrência, como inversão do sentido do escoamento, desmonte do medidor, retirada do módulo de impulsos e medidor parado por tempo significativo, a situação pode ser enquadrada como ligações irregulares como diretas ou by-pass (trajeto que não passa pelo medidor), também é emitido um alerta para a central.

Com relação à questão da submedição, Malheiro (2011) considerou que a substituição dos medidores tradicionais pelos telemétricos não foi totalmente conclusiva, embora positiva, de forma geral. O autor considera que as variações de consumo, em grande parte dos casos, refletem efetivamente esse problema de medição, mas, apesar disso, existem diversas razões para um cliente variar o seu consumo médio. Isto verifica-se com maior frequência nos maiores consumidores. Das apreciações dos dados segundo diferentes perspectivas Malheiros conclui que o aspecto mais importante na hora de ponderar a substituição dos medidores é o seu volume totalizado, pois, de um modo geral, percebeu-se que à medida que esse valor aumenta as probabilidades de se apresentar irregularidades nos volumes totalizados vão crescendo.

Além das vantagens da telemetria como um processo claro no combate as perdas aparentes, Malheiro (2011) cita também outro campo em que esta tecnologia contribui para a minimização das perdas de água. Ao dispor de elementos com maior confiabilidade, sem necessidade de estimativas sobre o estado do consumo da rede, a EG pode mais facilmente pôr em prática políticas de controle ativo de perdas. Pode-se também obter um balanço hídrico atualizado e tomar conhecimento de possíveis situações de ruptura, que anteriormente só seriam notadas depois do aparecimento de água na via pública.

Segundo Vicentini (2012), 90% dos vazamentos estão localizados no ramal e no cavalete, e estes vazamentos devem-se à má qualidade do material utilizado e falta de mão de obra qualificada. Equipamentos inadequados e a quantidade de conexões também aumentam a probabilidade do surgimento de novos vazamentos.

Com isso, priorizar em treinamento e qualificação permanente da mão de obra, utilizar materiais de qualidade e procedimentos adequados, e ter a concepção da priorização dos reparos, diminuem o tempo, os retrabalhos e o surgimento de novos vazamentos, e são fatores essenciais para se mitigar as perdas de água.

Ao abordar os conceitos que envolvem perdas em um sistema de abastecimento de água e seus indicadores de desempenho ou indicadores de perdas, para um setor de cidade de São Paulo, Vicentini (2012) verificou que as perdas reais calculadas quando comparadas entre os anos de 2009 e 2010 tiveram os valores calculados muito menores em 2010, onde as perdas provavelmente indicaram que os setores de abastecimento em estudo não estavam totalmente fechados, podendo a água destinada para o setor estar abastecendo parte de outro setor, ocasionando um valor micromedido bem maior que o macromedido.

Também verificou que o cálculo do balanço hídrico é de extrema importância para que os resultados dos indicadores sejam bem sucedidos. Porém, no estudo citado, várias variáveis foram adotadas, utilizando valores estimados, devido à ausência de medições, ocasionando incertezas e questionamentos se estas variáveis são realmente confiáveis ou ainda qual é seu grau de confiabilidade. Além disso a confiabilidade, que normalmente está associada à incerteza das medições, pode ser afetada pela veracidade dos dados informados. Com isso é possível que o balanço hídrico resultante contenha erros significativos (VICENTINI,2012),

Segundo Martinho (2013), em um trabalho que estudou as perdas de água, tendo como foco principal as perdas reais de água, em um setor de abastecimento de água no Concelho de Cantanhede, os estudos revelaram que a zona de medição estudada, onde as perdas de água eram elevadas, necessitava de intervenções relativamente urgentes, e que o recurso da telemetria teve um papel importante de validação para a decisão final da concentração de esforços.

Para localização dos vazamentos foram utilizados vários equipamentos como geofone, vareta de escutas além de outros, e também foram verificados os medidores instalados e o seu estado de conservação, e eram substituídos caso houvesse justificativa. Também se verificou a importância das válvulas de fechamento da rede, que garantem a estanqueidade, caso haja a necessidade de execução de reparos. Também constatou-se que a maioria dos vazamentos ocorreram em ramais e grande parte nas conexões de ligação, onde destacou-se a má qualidade dos materiais, de quando a obra foi executada, que provocava os vazamentos.

A conclusão dessa etapa de acompanhamento e monitoramento, estes trabalhos de diminuição de perdas foram abandonados. A partir disso, as intervenções de reparos nesta zona de medição eram realizadas somente caso surgissem reclamações ou aparecimento de vazamento visível na superfície, e como consequência disso, novamente houve o aumento do valor da vazão mínima noturna e os indicadores de perdas tiveram seus valores aumentados (MARTINHO, 2013).

Isso mostra a importância de que o trabalho com perdas de água deve ser contínuo, requerendo um grande esforço para conseguir bons resultados, e um esforço ainda maior para a manutenção desses resultados.

De acordo com a Sabesp, o combate a perdas demanda um esforço permanente, pois as perdas de água têm uma tendência natural de aumentar, isso significa, que se nada for feito as perdas aumentam, pois, com o passar do tempo a infraestrutura do sistema de abastecimento envelhece, surgem novos vazamentos, os hidrômetros perdem precisão e as irregularidades aumentam. Assim é preciso realizar um nível de esforço e aplicação de recursos para evitar que as perdas continuem a aumentar, e um nível adicional de recursos para reduzir as perdas.

A compreensão de que a água é finita e é insubstituível, pode soar banal, mas é o caminho mais rápido e barato de preservação de um recurso fundamental à vida.

Para que um plano diretor de redução e controle de perdas de água seja produtivo é necessário conhecer muito bem todas as características físicas do sistema de abastecimento de água e do local onde o mesmo encontra-se implantado. Deverá ser previsto o cadastramento das suas unidades constituintes, desde a captação de água até a rede de distribuição. É necessário que o cadastro técnico do sistema de abastecimento de água possua informações consolidadas e sistematizadas em textos descritivos, tabelas e desenhos, levantamento topográfico planialtimétrico da área em estudo. Deverão ser efetuadas medições de vazão e pressão em campo (serviços de pitometria), estudo de setorização do sistema de abastecimento de água e relatórios da macromedição e da micromedição de vazão. O plano diretor contempla ainda a pesquisa de vazamentos não visíveis e consequentemente a gestão comercial e operacional da empresa ou órgão responsável pela operação e manutenção do sistema de abastecimento de água (FEHIDRO,2011).

Para a determinação das perdas, deve-se utilizar a quantificação do volume perdido em conjunto com o uso da vazão noturna. Quando o índice de perdas é baixo e a vazão noturna é alta, pode haver vazamentos nas tubulações, conexões, medidores e tubulação interna das residências, áreas comerciais, etc. Por outro lado, o índice de perdas alto e baixa vazão noturna podem indicar problemas na medição dos volumes aduzidos e consumidos, imprecisão de medida da vazão noturna para baixas velocidades, ligações clandestinas ou volumes de consumo não contabilizados. (Gonçalves, 1998).

Gonçalves (1998) afirma que o controle de perdas em redes de distribuição de água é um assunto extremamente complexo que merece maiores investimentos e estudos mais aprofundados. Mesmo quando diversas medidas de controle de perdas são adotadas, na maioria das vezes parte considerável do esforço despendido é desperdiçado em função da falta

de planejamento e gerenciamento integrado das ações a serem desenvolvidas e da seleção inadequada do tipo de informação a ser obtida. E ainda, para uma análise integrada criteriosa dos dados, é necessário um certo grau de confiabilidade, para permitir um melhor gerenciamento dos recursos disponíveis e levar a uma redução efetiva das perdas.

Gonçalves (1998) apresentou estudo de caso na CAESB, onde buscou-se metodologias para controle de perdas em sistema de distribuição de água, mostrando que a setorização de rede deve ser o primeiro trabalho a ser executado no controle de perdas, pois facilita e possibilita, através do tratamento isolado de um dado setor de abastecimento, a tomada de decisões de forma mais eficiente na redução de perdas. E para o próximo passo, iniciar o monitoramento da vazão mínima noturna juntamente com o controle de pressão, que é um instrumento eficaz e além disso, permite a verificação rápida de anormalidades, como a participação das perdas físicas em relação às perdas totais do sistema. Gonçalves conclui que boa parte das atividades desenvolvidas pela CAESB não produziu o efeito esperado, uma vez que a implantação dessas atividades foi feita sem uma sistematização adequada. Dentre as atividades desenvolvidas para o controle de perdas, Gonçalves cita investimentos na macro e micromedição, aquisição de tecnologia para pesquisa de vazamentos e de ligações clandestinas, esforços operacionais e de projeto na setorização de redes, incluindo instalações de VRP's. (Gonçalves, 1998).

Estudando a eficácia dos métodos para determinação de perdas físicas, Ghidetti (2014) considera que a medição da vazão mínima noturna é o elemento mais importante na estratégia de controle e o caminho mais simples e de resultados mais imediatos para reduzir perdas físicas, mesmo considerando a limitação e imprecisões para a obtenção do balanço hídrico e quantificação por meio de estimativas as perdas. No trabalho, Ghidetti efetuou a pesquisa de perdas obtidas via balanço hídrico e com o procedimento step-test na cidade de Itapetininga, utilizando um sistema de bombeamento direto com variação de rotação a partir de um inversor de frequência, constatando a importância da redução da pressão na estação de bombeamento no período noturno para a diminuição das perdas.

Podemos ver que no Brasil, com exemplos como o relatado por Gonçalves (1998) e outros não citados, há mais de 20 anos já se apontava que o controle de perdas demandava um maior controle sobre a operação da rede. Nesse período, o progresso da instrumentação digital e da comunicação por redes de dados viabilizou a implementação de equipamentos eletromecânicos e elétricos que possam ser controlados remotamente e automatizados. Percebe-se, entretanto, que a dificuldade em implantar métodos e sistemas para controle de

perdas em sistemas de abastecimentos de água ainda persiste no país, ainda que a cada ano que passa aumente a oferta e viabilidade econômica da instrumentação e da automação.

De maneira geral, a pesquisa de vazamentos e a implantação de um programa de recuperação e substituição de redes devem ter prioridade antes da setorização, monitoramento da vazão mínima noturna e controle de pressões, que possibilitam uma melhor avaliação dos locais com condições piores de infraestrutura.

A substituição e recuperação de redes de água, assim como a pesquisa de vazamentos nas redes, também devem ser realizadas com o auxílio de cadastro e geoprocessamento que, a partir de informações cadastrais confiáveis da rede, tais como dados sobre diâmetro, idade, tipo de material, pressão, profundidade, localização, possibilita uma maior eficiência na realização dessas atividades.

Com relação à determinação de perdas a partir da vazão mínima noturna, existe ainda a necessidade de obtenção de maiores informações de nível regional, sobre os componentes da vazão noturna do sistema de abastecimento. Por outro lado, é necessário o uso de equipamentos de maior sensibilidade para vazões baixas, pois, caso contrário, o uso da vazão mínima noturna poderá falsear o valor das perdas de um dado setor.

Também é importante ressaltar que os estudos realizados têm demonstrado que o uso da vazão mínima noturna permite um rápido diagnóstico quanto à perda física de um dado setor, e constitui-se em um dos meios mais eficazes de localização de tais perdas, desde que monitorada continuamente.

3.3 Modelagem Matemática e Simulação Hidráulica para solução de perdas em sistemas de abastecimento de Água

A modelação hidráulica, tal como já foi referido, pode ser utilizada em praticamente qualquer parâmetro da rede de distribuição, tornando-se assim, uma ferramenta largamente utilizada pelas Empresas Gestoras no combate às perdas de água.

Uma vez modelada em seu comportamento hidráulico, a operação de uma rede pode ser otimizada. Costa (2010) considera que a definição de estratégias ótimas de operação em SAA requer uma grande demanda computacional, pois, para cada passo de tempo é necessário avaliar o comportamento do sistema e tomar decisões complexas. Segundo Costa (op. cit.) diversos métodos de otimização foram empregados para atingir a operação ótima, o que pressupõe mínimo custo de operação e diminuição das perdas, a saber: programação não linear, programação dinâmica, busca tabu, *simulated aleanning* e algoritmo genético.

Segundo Cortês (2015) um vazamento pode, em termos genéricos, ser comparado a um orifício. A vazão que sai a partir de um orifício, com área fixa, pode ser descrita pela equação do orifício $Q=C_d.A.\sqrt{2gH}$, na qual Q representa o volume de água perdido pelo vazamento, C_d o coeficiente de vazão do orifício, A é a área do orifício e H a pressão no sistema.

Sabe-se experimentalmente que o coeficiente de vazão de um orifício varia com o número de Reynolds. Para Reynolds menores que 3000, C_d aumenta rapidamente com o aumento do número de Reynolds, sendo que este fato é realçado na bibliografia, devendo ser levado em conta quando se utiliza um orifício para medição de vazão. Desta forma conclui-se, conforme Wu *et al.* (2011), apud Cortês (2015), que a velocidade de descarga de pequenas rupturas é sensível à variação da pressão, devido à variação do C_d .

Segundo Quintela (2011) apud Cortês (2015), os modelos matemáticos utilizados nos sistemas de abastecimento de água são regidos segundo três leis essenciais, a lei da conservação da massa (em cada nó), da conservação da energia (em cada trecho) e uma lei de resistência, partindo da qual, é possível obter a perda de carga nos tubos.

Segundo Paola *et al.* (2014) apud Cortês (2015), “a caracterização da relação entre a vazão escoada num orifício ou numa fenda e a pressão é um aspecto essencial para que se possam modelar corretamente as perdas de água nos sistemas de abastecimento”. Cortês considera então que “esta é uma questão crucial para a utilização dos modelos de simulação hidráulica como ferramenta de combate aos vazamentos e perdas”. Nesse sentido diversos trabalhos experimentais têm sido realizados no sentido de se tentar determinar a estrutura e parâmetros da lei de vazão mais adequada para caracterizar as perdas nos vazamentos por fendas ou rupturas na tubulação.

No entanto, para estudos e simulação hidráulica do comportamento das perdas de sistemas de abastecimento de água é importante e é necessário em primeiro lugar, escolher um modelo, isto é, obter um conjunto de equações que descrevam o comportamento do sistema.

Segundo Ferreira (2017), em um estudo de caso real de uma rede de distribuição de água, no Concelho de Coimbra, Freguesia de Cernache, tendo os dados e cadastro da rede de água fornecidos pela empresa gestora Águas de Coimbra, foi aplicado o programa *WaterNetGen* (uma extensão do EPANET 2.0) de modelagem hidráulica. O uso do software foi importante para detectar problemas de pressão em vários pontos da rede, com variações de pressão muito elevadas e também pressões elevadas e muito baixas. Para melhorar as condições de funcionamento foi simulada a implantação de vários reservatórios elevados, visando manter pressões mínimas de abastecimento e a melhora da variação da pressão do

sistema. Também foram instaladas válvulas redutoras de pressão (VRP) em pontos informados pelo software, para solução de problema de pressões elevadas. Este caso demonstra a importância da simulação das redes, apoiada em dados confiáveis, para a concepção de soluções para diminuição das perdas na distribuição. Ferreira (2017) conclui que a implementação de medidas corretivas no sistema em questão, obtidas pela aplicação do software de modelagem hidráulica, se provou muito benéfica, tanto para a população como para a própria entidade gestora (Águas de Coimbra). E ainda, os resultados obtidos provaram-se bastante positivos, uma vez que permitiram reduzir substancialmente as pressões existentes na rede. A importância da pressão do sistema foi salientada, uma vez que a correta regulação da mesma é considerada a técnica mais eficiente de combate às perdas.

De acordo com Soares (2003), ao desenvolver uma rotina computacional acoplada ao simulador hidráulico EPANET, que considerava as perdas por vazamentos e a demanda com a pressão, para verificar a calibração de uma rede hipotética, a partir de modelos inversos resolvidos com o suporte da tecnologia dos Algoritmos Genéticos e procedimentos híbridos, tinha como objetivo ter um conhecimento do comportamento real de rede de distribuição de água. Neste estudo foi considerada a relação pressão x vazamento e pressão x demanda e, apesar de serem conhecidas todas as variáveis da rede hipotética, encontrou-se muita dificuldade para determinar a faixa de variação dos valores das variáveis de decisão, principalmente quando considerados a combinação dos valores na calibração dos diversos tipos de parâmetros como o coeficiente e expoente de vazamento, rugosidade absoluta, diâmetro e cota topográfica. Após concluída essa aplicação, os resultados não convergiram para o modelo hidráulico esperado, e o expoente de perda foi considerado a variável de decisão mais sensível à convergência, mostrando que é necessário a análise do comportamento das perdas em sistemas reais para conhecimento da variação da demanda com a pressão. Apesar das dificuldades encontradas no estudo com a rede hipotética, Soares sugeriu a utilização do algoritmo de busca proposto para a calibração de modelos de redes reais, mesmo com a dificuldade representada pela instrumentação e controle necessários para gerar os dados necessários.

Objetivando supervisionar e diminuir o custo energético diário de operação de um sistema de abastecimento de água, Costa (2010), juntamente ao Instituto Técnico Superior de Lisboa (IST), desenvolveu um algoritmo genético, com a utilização do EPANET, por meio de um compilador DELPHI 7, e através da codificação binária das variáveis de decisão, criou rotinas computacionais que possibilitaram soluções otimizadas para o controle hidráulico da variação do nível dos reservatórios, das pressões do nós (pontos de consumo) das redes em

estudo e ainda potência máxima das bombas, para a melhoria da eficiência energética do sistema de abastecimento de água. Contudo, este modelo de otimização na operação em tempo real mostrou que pode seguramente ser utilizado como ferramenta em sistemas de automação, facilitando consideravelmente a tarefa dos setores de operação de empresas de sistema de abastecimentos de água.

Daí a importância e estratégia de sistemas de abastecimento de água com a utilização de automação, para análise do comportamento e para a tomada de decisões complexas, pois fornece condições de operacionalidade de forma racional, não dependendo somente da experiência profissional dos operadores e gestores, além disso propicia uma maior confiabilidade hidráulica do sistema, melhor eficiência no encontro de soluções e estratégias viáveis, permitindo uma melhor avaliação dos parâmetros que estão envolvidos na segurança e qualidade do abastecimento.

Tentando mostrar a versatilidade e importância dos controladores *Neuro-Fuzzy* (NF), Moreira (2020) simulou um sistema de abastecimento de água com demanda variável, cujo objetivo era constatar que haveria aumento da eficiência energética através da estabilização da pressão da rede com valores de referência preestabelecidos. O uso se justificou, segundo o autor, pela capacidade do controlador em trabalhar com sistemas altamente não lineares e multivariáveis de bombeamento e para prever determinadas incertezas. Mesmo levando em conta o aumento do custo computacional e de aquisição de equipamentos eletromecânicos adequados para automação, a adoção das técnicas inteligentes demonstrou-se superior aos sistemas manuais de operação.

Esta aplicação para o controle de sistemas de bombeamento para regularização das pressões para suprir a vazão de água demandada, proporciona um aumento do rendimento do conjunto moto bomba, maior estabilidade do sistema e menor desgaste dos equipamentos eletromecânicos e elétricos e com a implementação da automação nos sistemas de abastecimento de água, há elevação significativa da eficiência energética quando comparado a sistemas que possuem controle manual ou quando o sistema não é controlado, e ainda capacidade de controle com maior robustez e desempenho.

Quando um sistema de abastecimento de água pressurizado é projetado com redes neurais artificiais (RNA) para atuar como um sistema de controle e automação, desempenha sua função de maneira muito eficiente, e possui inúmeros benefícios como a otimização operacional, as pressões exigidas de serviço são garantidas, redução do consumo energético dos sistemas de bombeamento e redução das perdas de água decorrentes do controle de pressão (SALVINO, 2018).

Percebe-se neste item da revisão que, ao contrário das propostas de melhorias operacionais e de gerenciamento das redes de água, sem grandes mudanças nos paradigmas conceituais, muitos avanços recentes estão ocorrendo na área de modelagem computacional, com aplicação de diversas técnicas de programação para determinar se é possível detectar a existência de perdas reais a partir das variáveis de operação da rede. Trata-se de uma questão ainda em aberto, devido à característica matemática das redes constituírem um sistema complexo, admitindo mais de uma solução para uma determinada condição de contorno de vazões totais consumidas e pressões em alguns nós.

3.4 Lógica *Fuzzy*

Souza (2010), afirma que a palavra *Fuzzy*, de origem inglesa, significa incerto, vago, impreciso, subjetivo, nebuloso, difuso, etc. Embora a teoria dos conjuntos *Fuzzy* estude casos de incertezas, lembrando que tal teoria é muito bem definida. O que é incerto é a propriedade que define o conjunto em questão.

A lógica *Fuzzy* foi desenvolvida primeiramente por Jan Lukasiewicz (1878-1956), que em 1920 desenvolveu e introduziu conjuntos com grau de pertinência que combinados aos conceitos da lógica clássica, que foi desenvolvida por Aristóteles, deu fundamento suficiente para que na década de 60, Lofti Asker Zadeh, professor de Ciências da Computação da Universidade da Califórnia, seria o primeiro autor de uma publicação sobre lógica *Fuzzy* (ZADEH,1965).

Zadeh (1965), observou que muitas regras presentes no cotidiano das pessoas não conseguiam ser explicitadas pelas pessoas que as utilizavam e ainda que "é verdadeiramente óbvio que certos raciocínios humanos são mais aproximados que precisos em sua natureza".

Segundo Bassanezzi e Barros apud Souza (2010):

A teoria dos conjuntos *Fuzzy* foi introduzida por Zadeh (1965) para dar um tratamento matemático a certos termos linguísticos subjetivos, como “aproximadamente”, “em torno de”, dentre outros. Esse foi o primeiro passo no sentido de programar e armazenar conceitos vagos, tornando possível a produção de cálculos com informações imprecisas, como faz o ser humano.

No início, Zadeh foi criticado por vários cientistas e estudiosos da área da computação, porém logo seu conceito foi bem aceito, sendo alvo de várias publicações que abordavam aplicações dos sistemas *Fuzzy*. (KOSKO, 1993 apud MERLI, 2012).

Reconhecida como a melhor ferramenta para se trabalhar com sistemas caixa preta, a lógica *Fuzzy* é muito eficiente em situações nas quais é preciso modelar o raciocínio humano. É utilizada em sistemas ou situações cuja complexidade de desenvolver um modelo matemático é alta. O modelamento do sistema via técnicas *Fuzzy* é realizado através da interrelação das variáveis de entrada com as variáveis de saída (MOREIRA 2020).

De acordo com (MOREIRA, 2020), um sistema baseado em regras *Fuzzy* contém, ao menos, três componentes:

1. Dicionário, que define os conjuntos *Fuzzy* sobre as variáveis: Fuzzificação;
2. Base de regras, que estabelece uma relação entre as variáveis de entrada e de saída;
3. Método de inferência, usado para determinar a saída dado uma certa entrada.

Eventualmente, pode-se acrescentar um quarto componente, chamado de defuzzificador, que transforma uma saída *Fuzzy* em um número real ou um conjunto clássico.

A Figura 7 ilustra um sistema de inferência do tipo Mamdani, comumente utilizado em aplicações de controle.

Figura 7– Arquitetura *Fuzzy* Mamdani



Fonte: Moreira (2020).

3.4.1 Números e Conjuntos *Fuzzy*

A definição de número *Fuzzy* (Ferreira Jr. 2009; Souza 2010; Merli 2012; Moreira 2020) segue: A é chamado de número *Fuzzy* quando o conjunto universo no qual a função de pertinência φ_A está definida, é o conjunto dos números reais R que satisfazem às seguintes condições:

1. todos os α -níveis de A são não-vazios, com $0 \leq \alpha \leq 1$;
2. todos os α -níveis de A são intervalos fechados de R ;

3. $\text{supp}A = \{x \in R, \varphi_A > 0\}$ é limitado.

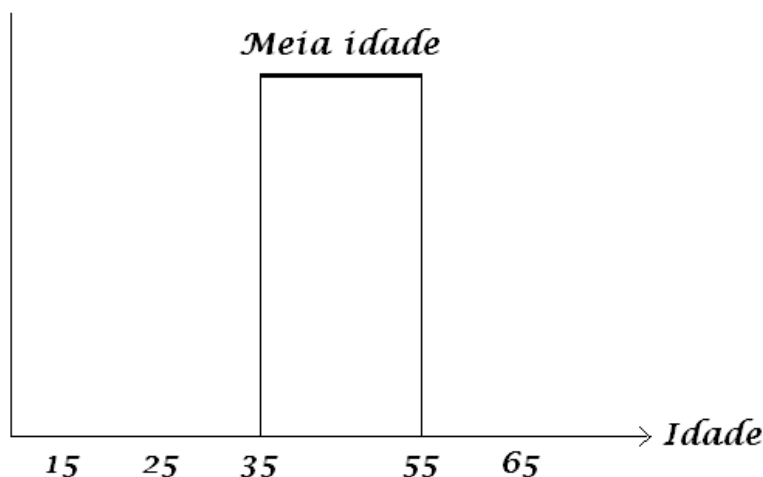
No conjunto *Fuzzy*, dado um universo (U) que contém o elemento (x) é verificado o grau de pertinência do mesmo em relação a um conjunto A ($\varphi_A(x)$) contido no Universo. O grau de pertinência é calculado por meio de uma função chamada função de pertinência, que tem um valor real que varia entre 0 e 1.

- $\varphi_A(x) = 1$ indica que x é completamente compatível com A;
- $\varphi_A(x) = 0$ indica que x é completamente incompatível com A;
- $0 < \varphi_A(x) < 1$ indica que x é parcialmente compatível com A, com grau $\varphi_A(x)$.
- $\forall x \in U \varphi_A(x) \in [0,1]$, indica, portanto, que a função $\varphi_A(x)$ é verdadeira para todos os x pertencentes ao universo U, e os números 0 e 1 definem a participação de cada elemento x no conjunto A, onde 1 significa que o elemento pertence e 0 significa que não pertence ao conjunto.

Segundo Mukaiadono (2001), é impossível viver sem ambiguidade, e na vida diária tem-se que lidar com os problemas ambíguos.

Com isso, tendo que lidar com a complexidade dos problemas, as teorias convencionais são utilizadas com sucesso em muitas áreas da ciência, porém um pouco mais difícil de tratar a incerteza. Um exemplo disso era considerar o período meia-idade que começa em 35 anos e termina em 55 anos. Utilizando a lógica convencional, uma pessoa com 34 anos só iria pertencer a esse grupo após completar seu 35º aniversário. Desse modo uma pessoa que tenha 56 anos não faria parte de tal grupo. A Figura 8 mostra a definição de meia idade segundo a teoria de conjuntos convencional (MUKAIDONO, 2001).

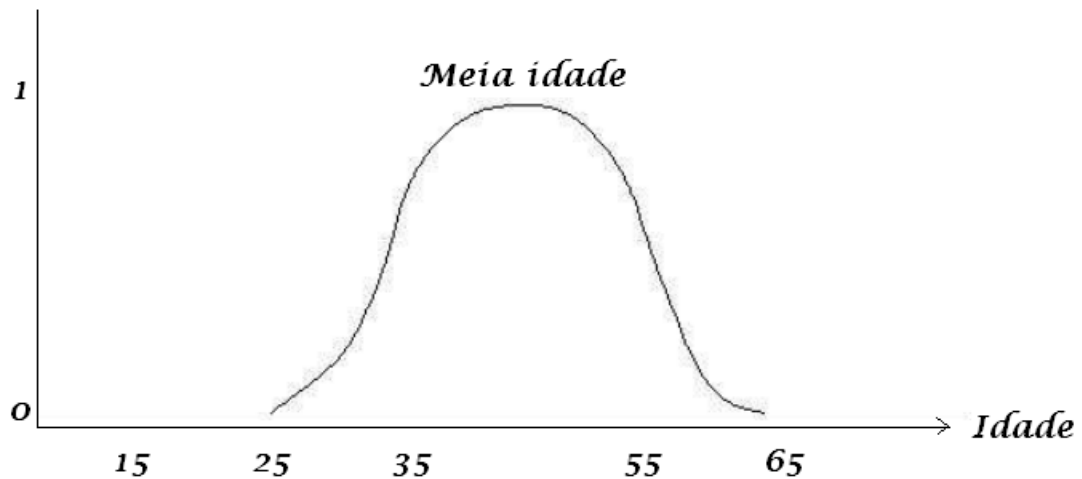
Figura 8 – Definição de meia idade em Conjuntos Convencionais



Fonte: Adaptado de Mukaidono (2001).

Já na Figura 9, é apresentada a definição de meia idade segundo a teoria *Fuzzy*. Nota-se que o grau de pertinência que uma pessoa de 25 anos pertença a tal grupo é muito menor em relação a uma pessoa de 45 anos (MUKAIDONO, 2001).

Figura 9 - Definição de meia idade em Conjuntos *Fuzzy*



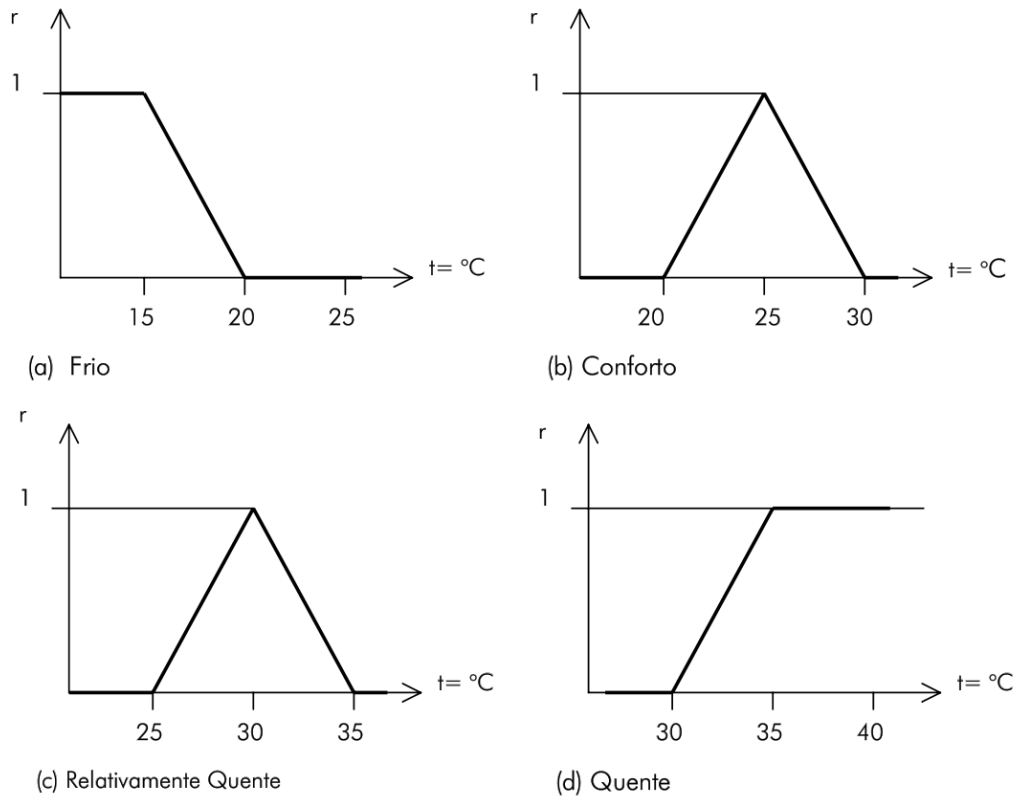
Fonte: Adaptado de Mukaidono (2001).

A lógica difusa é uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral, descritas em linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, facilitando a manipulação. Logo, os valores de uma variável linguística podem ser sentenças em uma linguagem especificada, construída a partir de termos próprios como, baixo, médio e alto, e de conectivos lógicos como negação, conectivos e modificadores

Mamdani (1974) utilizou a lógica *Fuzzy* no controle de uma máquina a vapor. A partir de então inúmeros produtos comerciais, sistemas de controle e modelos de previsão vem sendo desenvolvidos com o conceito de lógica nebulosa, tais como: aspiradores de pé, máquina de lavar, câmeras fotográficas, ar condicionado e máquina de lavar pratos.

Um exemplo clássico apresentado em grande parte das literaturas sobre lógica *Fuzzy*, é o exemplo do conforto térmico. Para exemplificar as funções de pertinência, considere as figuras 10 e 11, obtidas de Aguado e Cantanhede (sd), onde através de alguns gráficos são representadas quatro variáveis térmicas: frio, conforto, relativamente quente e quente. Estas variáveis são relativas a uma análise sobre temperatura e conforto.

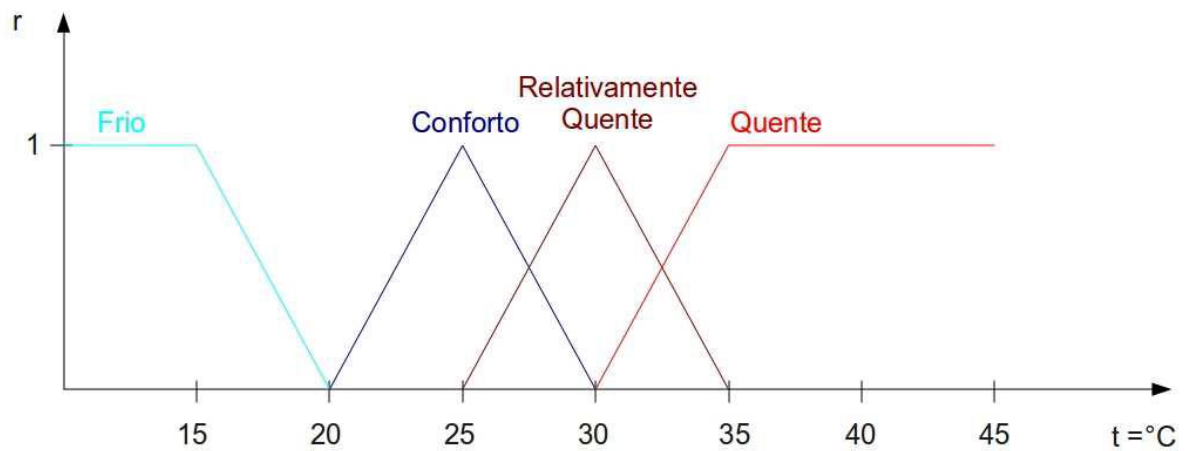
Figura 10 - Exemplo de função gráfica de pertinência de várias situações de conforto térmico



Fonte: Aguado e Cantanhede (sd)

Também é comum este tipo de representação ser apresentada em um único gráfico, conforme pode-se verificar na Figura 11. Nota-se que o nebuloso limite entre as variáveis fica bem claro através deste exemplo.

Figura 11 - Exemplo de função gráfica de pertinência de conforto térmico em um único gráfico



Fonte: Aguado e Cantanhede (sd)

3.4.2 Funções de Pertinência

“Diante deste contexto, na Lógica *Fuzzy* a função de pertinência vem a ser um mapeamento matemático de cada valor numérico possível para as variáveis linguísticas. Nota-se neste momento a importância em aproximar a léxica do modelo matemático para que assim seja possível conclusões válidas sobre o problema” (AGUADO; CANTANHEDE, sd).

As funções de pertinência podem ser apresentadas de várias formas: triangular, trapezoidal, gaussiana e senoidal, e fica com o projetista a responsabilidade da escolha mais conveniente. Oliveira (2014) afirma que “não existe até o momento comprovação de maior eficiência de uma em relação às outras, sendo as formas triangular e trapezoidal as mais utilizadas, devido à simplicidade computacional”.

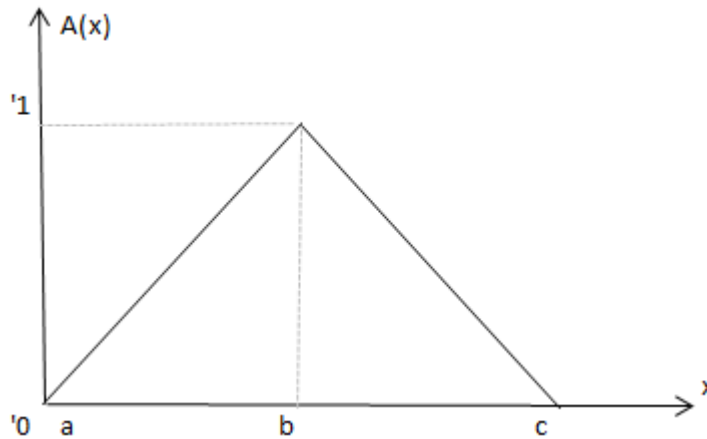
3.4.2.1 Função de Pertinência Triangular

A expressão “em torno de” pode ser modelada matematicamente pelo número *Fuzzy* triangular simétrico A , em que: a , b , c são parâmetros, pertencentes ao domínio da função de pertinência, definidos por especialistas, métodos estatísticos, dentre outros.

Um número *Fuzzy* é dito triangular se sua função de pertinência é conforme equação 3.1 e ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Gráfico da função de Pertinência Triangular

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \text{ ou } x > c \\ \frac{(a-x)}{(a-b)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \leq x \leq c \end{cases} \quad 3.1$$



Fonte: Oliveira (2014)

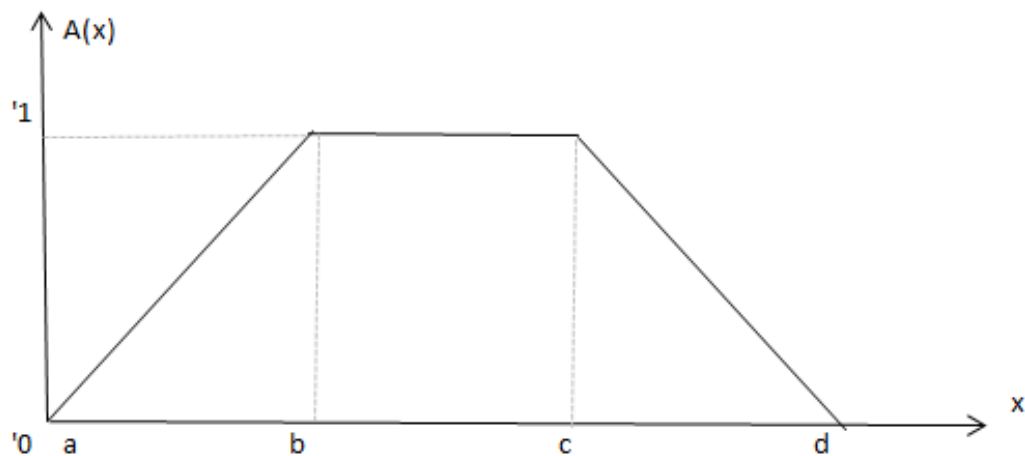
3.4.2.2 Função de Pertinência Trapezoidal

A expressão “em torno de” pode ser modelada matematicamente pelo número *Fuzzy* trapezoidal simétrico A, em que a, b, c e d são parâmetros, pertencentes ao domínio da função de pertinência, definidos por especialistas, métodos estatísticos, dentre outros.

Um número *Fuzzy* A é dito trapezoidal se sua função de pertinência tem a forma de um trapézio e é dada conforme equação 3.2 e ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Gráfico da função de Pertinência Trapezoidal

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \text{ ou } x > d \\ \frac{(a-x)}{(a-b)} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & c \leq x \leq d \end{cases} \quad 3.2$$



Fonte: Oliveira (2014)

O sistema lógico apresentado pela lógica *Fuzzy* quando aplicado vai além do raciocínio lógico, pois busca atribuir graus para os elementos em questão de forma que a resposta contido ou não contido somente não satisfaz e busca-se saber o quão contido ou o quão não contido está determinado elemento, onde a lógica tradicional admite apenas valores 0 ou 1, ou seja, verdadeiro ou falso, a lógica *Fuzzy*, é mais ampla e trata de valores que variam entre 0 e 1. Assim, uma pertinência de 0.5 pode representar meio verdade, logo 0.9 e 0.1, representam quase verdade e quase falso, respectivamente. Este aspecto é discutido mais detalhadamente no próximo item (3.4.3) do trabalho.

3.4.3 Aplicações da Lógica Fuzzy em recursos hídricos

Segundo Oliveira (2017), a utilização da técnica de controle *Fuzzy* no conjunto motor-bomba e em válvulas reguladoras de pressão (VRPs) contribui para a melhoria e continuidade do abastecimento de água nas comunidades afetadas pela escassez hídrica. Quando o sistema de abastecimento de água tem injeção de água diretamente na rede, essas operações resultam

no aumento do número de vazamentos, desperdício de água e energia elétrica. A lógica é usada nesse caso para controlar e manter, num valor de referência, a pressão nas saídas dos ramais de uma rede de distribuição de água setorizada que opera na presença da variação do consumo, tornando-se uma solução de fundamental importância para resolver o problema do excesso de pressão.

Com esse controle inteligente, evidencia-se o controle da pressão nos ramais de abastecimento, enquanto que em um sistema sem controle há variação de pressão. Esse aspecto melhora o serviço de abastecimento de água com redução do desperdício, em virtude da diminuição de vazamentos, provocados pelo excesso de pressão, diminuindo o evidente desperdício de água tratada, produtos químicos, e ainda o tempo gasto com a paralização para os reparos em decorrência desses vazamentos. Também com a redução da pressão, prolonga-se a vida útil da rede e ramais de água. Além disso, a aplicação do controle *Fuzzy* neste tipo de sistema traz uma considerável economia de energia elétrica.

Modelos *Fuzzy* foram desenvolvidos na literatura para tanque de evaporação, para observar e avaliar os registros meteorológicos de evaporação diária. A equação de Penman, que é a mais amplamente usada, foi utilizada para comparar com os resultados do modelo *Fuzzy*. Keskin *et al.* (2004) relata que o modelo *Fuzzy* apresentou uma melhor concordância com os dados observados do que o método Penman. A lógica *Fuzzy* foi aplicada com sucesso para estimar a evaporação mensal, com dados meteorológicos como entrada (Atiaa e Abdulkadir 2012). Este estudo concluiu que a abordagem da lógica *Fuzzy* é adequado e inteligente para modelagem da evaporação mensal. Da mesma forma, a evapotranspiração (ET) foi estimada e previsto usando sistema de inferência *Fuzzy* (FIS) por Patel e Balve (2016), e os resultados foram comparados com o Método FAO-56 Penman-Monteith. O modelo FIS mostrou uma alta eficiência em prever e estimar os valores de ET.

Segundo Ruhoff (2004), o processo de zoneamento ambiental elaborado com base em análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropofizados, avaliado através de Inferência Geográfica *Fuzzy* (processo analítico hierárquico –AHP), e que de acordo com a modelagem hidrológica, através de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas, possibilitou examinar a relação entre o escoamento superficial e os processos erosivos desencadeados pela ocupação da Bacia hidrográfica do Arroio Grande, e norteou o suporte a decisão com o princípio da racionalidade, em propor algumas medidas de conservação e recuperação ambiental para reduzir a intensidade dos processos erosivos e o volume de água escoado superficialmente.

Os problemas mais comuns salientados foram a erosão e sedimentação do solo, perda de cobertura natural e reflorestamentos inadequados, que ensejaram o desenvolvimento e práticas de ocupação e aproveitamento do território analisado, com conservação do solo e dos sistemas hídricos.

Para essa avaliação, o zoneamento ambiental foi estabelecido a partir de variáveis ambientais como o uso da terra, declividades, formações geológicas e formações litológicas, e combinando esses fatores entre si, conforme um critério de importância e uma escala pré-definida, onde cada parâmetro avaliado recebeu um valor relativo, indicava a intensidade do processo erosivo.

E além disso, com o processo de zoneamento ambiental, a partir da fragilidade e vulnerabilidade do meio ambiente natural permitiu-se organizar e avaliar a ocupação humana, bem como a intensidade de sua exploração.

Com isso, obteve ao invés de um mapa temático com limites rígidos, uma superfície de decisão numérica que represento uma variação contínua da fragilidade ambiental e permitiu construir um cenário que pode espelhar diferentes compromissos na tomada de decisões ambientais, privilegiando-se maior proteção ambiental ou otimizando a exploração econômica e agrícola.

A partir desta classificação, pode-se estabelecer a adequação de ocupação e normas de proteção de áreas que apresentaram maiores riscos ambientais como as áreas altamente instáveis, onde enquadraram-se as desmatadas e/ou ocupadas por atividades agrícolas em altas declividades, verificou-se que necessitam de maiores proteções, onde esta combinação definiu a instabilidade e a fragilidade frente aos processos erosivos. Em um lado oposto, as áreas bastante estáveis, apresentavam boa cobertura florestal e baixas declividades. Também constatou-se que a influência do tipo de solo, cria condições favoráveis e é agravante em processos erosivos.

4 METODOLOGIA

Para a elaboração do *software* foi utilizada a Lógica *Fuzzy* também conhecida como lógica difusa. Foram considerados termos linguísticos ao invés de valores quantitativos para elaboração das funções de pertinência, que são baseadas em valores máximos e mínimos, e as operações foram modeladas de acordo com o raciocínio humano, utilizando-se funções baseadas em valores máximos e mínimos. As regras elaboradas foram do tipo SE < PREMISA < ENTÃO $\Rightarrow$ CONCLUSÃO, e foram desenvolvidas com base nas recomendações de textos de especialistas na área de sistemas de abastecimento e considerando também a experiência profissional do autor junto a empresa gestora de sistema de abastecimento público de água.

Além disso utilizou-se também a lógica matemática para definir alguns indicadores, e para implementação dessas lógicas, utilizou-se o programa Excel para entrada e saída de todos os dados e o desenvolvimento das expressões matemáticas para análise dos resultados. Com isso, foi possível a compilação das lógicas e a enumeração das condições para caracterizar os procedimentos operacionais e de gestão, que permitem avaliar o estágio das condutas implementadas pelo órgão gestor no combate às perdas e recomendar ações, caso a avaliação indique que as ações implementadas são insuficientes.

As funções de pertinência utilizadas no trabalho são do tipo degrau. Como exemplo da aplicação da lógica *Fuzzy*, apresenta-se a verificação do volume de água reservada do município, como caso representativo das verificações realizadas no programa.

Definição do subconjunto Rad de reservação adequada: Seja U o universo de reservatórios definidos pelo seu volume de armazenamento x, e Re um subconjunto de U, a função característica de Re que define se o reservatório pertence ao subconjunto Ra, de reservatórios com volume de reservação adequado é dada por:

$$\varphi_{Re}(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \geq x_{mín} \\ 0,5, & \text{se } x = x_{mín} \\ 0, & \text{se } x < x_{mín} \end{cases} \quad 4.1$$

$$x_{mín}: \text{volume mínimo de reservação (Rad)} \quad 4.2$$

$$x: \text{volume existente de reservação} \quad 4.3$$

$$\varphi_{Re}: U \rightarrow \{0,1\}$$

4.4

Assim, φ_{Re} é uma função cujo domínio é U e a imagem está contida no conjunto $\{0,1\}$. Aqui $\varphi_{Re}(x) = 1$ indica que o elemento x é um volume de armazenamento adequado, enquanto $\varphi_{Re}(x) = 0$ indica que x não é um volume de armazenamento adequado e $\varphi_{Re}(x) = 0,5$ indica que x é um volume de armazenamento que está no limite e requer cuidados.

Dessa forma, a função característica descreve completamente o conjunto Re , já que tal função indica quais elementos do conjunto universo U são também elementos de Re .

A metodologia adotada foi semelhante para as outras verificações realizadas pelo aplicativo desenvolvido. Buscou-se, sempre que possível, adotar soluções simplificadas para as questões que envolvem maior grau de complexidade. Como exemplo, cita-se o caso da substituição dos hidrômetros passíveis de apresentar submedição. Sabe-se que a qualidade da água interfere na vida útil dos hidrômetros, provocando incrustações. Pode-se considerar também, dado o baixo custo dos hidrômetros, que a substituição acarreta menor custo e maior simplicidade operacional para a empresa do que a adoção de procedimentos para aferição. Para um tratamento mais abrangente da questão seria necessário considerar conjuntamente os aspectos da qualidade da água (dureza e ph), além do volume medido pelo hidrômetro. Em vista dessas considerações, na presente versão do software, foi adotado para a confiabilidade dos hidrômetros o limite de idade de 5 anos, com base na prática de algumas empresas do setor.

4.1 Entrada de Dados

Os dados quantitativos para caracterização do sistema e para cálculo dos principais índices de desempenho constituem a entrada de dados inicial do programa. São informações normalmente reunidas pelo sistema para relatório ao SNIS, de forma que se espera que os dados necessários já estejam disponíveis na grande maioria das situações. As informações requeridas do usuário são listadas a seguir:

Cidade ou Setor - Nome da cidade ou setor

hab - número de habitantes atendidos por abastecimento de água

qm – Consumo médio per capita (litros/hab.dia)

Ht - Horas trabalhadas de captação do manancial por dia

Q - Vazão máxima de captação do manancial (m^3/h)

Re - Reservação existente do sistema (m^3)

Vh -Volume de água hidrometrado mensal (m^3)

Vf - Volume de água faturado mensal (m³)

d - Quantidade de dias decorridos entre as leituras

k1 - Coeficiente de máxima vazão diária

NL - Número de ligações de água cadastradas (unidade)

Qh - Quantidade de hidrômetros instalados (unidade)

Cp - Contas pagas (unidade)

Va - Valor de arrecadação anual (R\$)

Vd - Valor das despesas anuais (R\$)

Phid - Preço do hidrômetro (R\$)

4.2 Cálculo de Parâmetros

Com as informações colhidas, conforme o item anterior, são calculados os índices quantitativos do desempenho do sistema de abastecimento de acordo com as equações a seguir:

Pd - Produção diária de água (m³);

$$Pd = Q.Ht \quad 4.5$$

Vp - Volume de água produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre a realização das leituras (m³);

$$Vp = Pd.d \quad 4.6$$

Pnec - Produção necessária diária de água (m³);

$$Pnec = hab.qm.k1 \quad 4.7$$

Vnec - Volume de água produzido necessário mensalmente (m³);

$$Vp = Pnec.30 \quad 4.8$$

Ri - Reserva combate incêndio (m³);

$$Ri = 20\% . Pnec \quad 4.9$$

Rad - Reservação adequada (m³);

$$Rad = \frac{Pnec + Ri}{3} \quad 4.10$$

Qmédia - Vazão média (m³/h);

$$Q_{média} = \frac{hab.qm}{24000} \quad 4.11$$

D - Demanda diária (m³/h);

$$D = \frac{hab.qm.k1}{24000} \quad 4.12$$

4.3 Saída de Dados

As saídas de dados decorrem da elaboração das lógicas, onde foram observados na literatura os termos utilizados que contextualizam o sistema de abastecimento de água.

Seguem abaixo as lógicas elaboradas para possíveis averiguações de um sistema de abastecimento de água.

4.3.1 Lógica 1

Na Lógica 1 será verificado se a produção atual de água é suficiente para o abastecimento da população. Os dados utilizados na verificação da Lógica 1 são os seguintes:

Dados de entrada do usuário:

hab (número de habitantes),
qm (consumo médio per capita),
Ht - Horas trabalhadas de captação do manancial por dia,
Q (vazão máxima de captação do manancial),
k1 (coeficiente de máxima vazão diária).

Parâmetros calculados pelo sistema:

Pd (produção diária – eq. 4.5),
Pnec (produção necessária – eq. 4.7).

O resultado apresentado depende da relação entre a produção diária e a produção necessária para abastecer a população informada, com as possibilidades apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Lógica 1 com a condição da relação entre produção diária (Pd) e produção necessária (Pnec)

Condição da Relação Pd / Pnec	ESTÁGIO/AÇÃO
$Pd > Pnec$	A produção de água é suficiente.
$Pd = Pnec$	Em alerta, a produção de água está no limite.
$Pd < Pnec$	A produção de água não é suficiente. Requer planos de racionamento e/ou elevação da produção de água.

Fonte: Próprio autor.

4.3.2 Lógica 2

Na Lógica 2 será verificado se a reservação de água é adequada para o abastecimento da população. Os dados utilizados na verificação da Lógica 2 são os seguintes:

Dados de entrada do usuário:

hab (número de habitantes),
qm (consumo médio per capita),
k1 (coeficiente de máxima vazão diária),
Re (reservação existente).

Parâmetros calculados pelo sistema:

Rad (reservação adequada – eq. 4.10).

O resultado apresentado depende da relação entre a reservação existente e a reservação adequada, com as possibilidades apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Lógica 2 com a condição da relação entre reservação existente do sistema (Re) e reservação adequada (Rad)

Condição da Relação Re / Rad	ESTÁGIO/AÇÃO
$Re > Rad$	Reservação adequada.
$Re = Rad$	Em alerta, a reservação existente está no limite.
$Re < Rad$	Reservação inadequada. Requer planos para aumento do volume de reservação.

Fonte: Próprio autor.

4.3.3 Lógica 3

Na Lógica 3 será verificado se está havendo perdas de arrecadação. Os dados utilizados na verificação da Lógica 3 são os seguintes:

Dados de entrada do usuário:

V_f (volume faturado mensal),

d (dias decorridos entre as leituras).

Parâmetros calculados pelo sistema:

V_p (volume produzido mensalmente – eq. 4.6).

O resultado apresentado depende da relação entre o volume faturado e o produzido mensalmente, de acordo com os dias decorridos entre a realização das leituras, com as possibilidades apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Lógica 3 com a condição da relação entre volume faturado mensal (V_f) e volume produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre a realização das leituras (V_p).

Condição da Relação V_f / V_p	ESTÁGIO/AÇÃO
$V_f > V_p$	Não há perda de arrecadação.
$V_f = V_p$	Em alerta, mas não há perda de arrecadação.
$V_f < V_p$	Há perdas de arrecadação e as possíveis causas são: falta de hidrômetros, hidrômetros danificados nas residências, erros de leitura e hidrômetros fraudados.

Fonte: Próprio autor.

4.3.4 Lógica 4

Na Lógica 4 será verificado a eficiência e benefícios da instalação de hidrômetros e procedimentos a serem adotados. Os dados utilizados na verificação da Lógica 4 são os seguintes:

Dados de entrada do usuário:

Q_h (quantidade de hidrômetros),

NL (número de ligações),

Phid (preço do hidrômetro)

Va (valor de arrecadação anual).

Parâmetros calculados pelo sistema:

Descritos pelas equações 4.13 a 4.17 a seguir.

A quantidade de hidrômetros faltantes nas ligações de água (Hf) é calculada de acordo com a equação:

$$Hf = Qh - NL \quad 4.13$$

O custo para instalação dos hidrômetros faltantes (C) é calculado de acordo com a equação:

$$C = (Qh - NL) \cdot Phid \quad 4.14$$

O valor da possível perda de receita (Vpr) é calculado de acordo com a equação:

$$Vpr = 0,8 \cdot \left(\frac{Va}{NL} \right) \cdot (NL - Qh) \quad 4.15$$

O período de retorno em meses se os hidrômetros faltantes forem instalados (Pr) é calculado de acordo com a equação:

$$Pr = \frac{Vpr}{C} \quad 4.16$$

O Índice de falta de hidrômetros das ligações de água (Ih, é calculado de acordo com a equação:

$$Ih = 1 - \frac{Qh}{NL} \quad 4.17$$

O resultado apresentado pela Lógica 4 depende da relação entre a quantidade de hidrômetros e o número de ligações existentes, com três possibilidades, conforme apresentado na Tabela 4. Percebe-se na Tabela que quando o número de hidrômetros instalados é menor que o número de ligações, o sistema informa o valor dos cinco parâmetros calculados nas equações 4.13 a 4.17.

Tabela 4 - Lógica 4 com a condição da relação entre quantidade de hidrômetro (Qh) e número de ligações (NL)

Condição da Relação Qh / NL	ESTÁGIO/AÇÃO
Qh > NL	Averiguar porque a quantidade de hidrômetros está maior que a quantidade de ligações de água, com possível falta de cadastro das ligações.
Qh = NL	Quantidade de hidrômetros está de acordo com a quantidade de ligações, possibilitando a leitura correta e contribuindo para um faturamento correto.
Qh < NL	Há falta de hidrômetros nas ligações de água, prejudicando a leitura e consequentemente o faturamento.
Qh < NL	Informar a quantidade de hidrômetros faltantes nas ligações de água.
Qh < NL	O custo em reais para instalação dos hidrômetros faltantes
Qh < NL	O valor em reais da possível perda de receita
Qh < NL	O período de retorno em meses se os hidrômetros forem instalados.
Qh < NL	Índice de hidrômetros a serem instalados.

Fonte: Próprio autor.

4.3.5 Lógica 5

Na Lógica 5 será verificado se há inadimplência pela quantidade de contas de água pagas e procedimentos a serem adotados. Os dados utilizados na verificação da Lógica 5 são os seguintes:

Dados de entrada do usuário:

C_p (quantidade de contas pagas),

NL (número de ligações),

Parâmetros calculados pelo sistema:

Descritos pelas equações 4.18 e 4.19 a seguir.

A quantidade de ligações que terão interrupção do fornecimento de água por inadimplência (Q_{if}) é calculada de acordo com a equação.

$$Q_{if} = NL - C_p \quad 4.18$$

O índice de ligações de água que terão interrupção do fornecimento de água por inadimplência (I_{li}) é calculado de acordo com a equação:

$$I_{li} = 1 - \frac{C_p}{NL} \quad 4.19$$

O resultado apresentado pela Lógica 5 depende da relação entre a quantidade de contas pagas e o número de ligações existentes, com três possibilidades, conforme apresentado na Tabela 5, sendo que, caso o número de contas pagas seja menor que o número de ligações, o sistema informa o valor dos parâmetros calculados nas equações 4.18 e 4.19.

Tabela 5 - Lógica 5 com a condição da relação entre Contas Pagas (Cp) e Número de ligações (NL)

Condição da Relação Cp / NL	ESTÁGIO/AÇÃO
Cp > NL	Averiguar porque a quantidade de contas pagas está maior que a quantidade de ligações.
Cp = NL	Não há inadimplência, o faturamento está correto.
Cp < NL	Há inadimplência. Notificar os inadimplentes. Caso não efetuem o pagamento será necessário interromper o fornecimento de água.
Cp < NL	Informar a quantidade de ligações que terão interrupção do fornecimento de água por inadimplência.
Cp < NL	Informar o índice de ligações que terão interrupção do fornecimento de água por inadimplência.

Fonte: Próprio autor.

4.3.6 Lógica 6

Na Lógica 6 será verificado se há perda financeira e o seu índice com o superávit ou déficit financeiro. Os dados utilizados na verificação da Lógica 6 são os seguintes:

Dados de entrada do usuário:

Va (valor arrecadado anual),

Vd (valor anual das despesas).

Parâmetros calculados pelo sistema:

Descritos pelas equações 4.20 a 4.22 a seguir.

O valor do Déficit (D) ou Superávit (S) é dado por:

$$D = Va - Vd, \text{ se } Va < Vd \quad 4.20$$

$$S = Va - Vd, \text{ se } Va > Vd \quad 4.21$$

O Índice de Perda Financeiro (Ipf) é calculado quando há déficit conforme a equação 4.22:

$$Ipf = 1 - \frac{Va}{Vd} \quad 4.22$$

O resultado apresentado pela Lógica 6 depende da relação entre o valor da arrecadação e das despesas, com três possibilidades, conforme apresentado na Tabela 6. Caso exista superávit o sistema informa seu valor conforme a equação 4.21. Existindo déficit é informado seu valor, conforme a equação 4.20 e o índice de perdas financeiras, conforme a equação 4.22.

Tabela 6 - Lógica 6 com a condição da relação entre valor de arrecadação anual (V_a) e valor das despesas anuais (V_d)

Condição da Relação V_a / V_d	ESTÁGIO/AÇÃO
$V_a > V_d$	Não há perda financeira considerando arrecadação e despesas.
$V_a > V_d$	Valor do superávit.
$V_a = V_d$	-
$V_a < V_d$	Informar o índice de perda financeira.
$V_a < V_d$	Valor do déficit.

Fonte: Próprio autor.

4.3.7 Lógica 7

Na Lógica 7 será verificado se está havendo perdas de água. Os dados utilizados na verificação da Lógica 7 são os seguintes:

Dados de entrada do usuário:

H_t - Horas trabalhadas de captação do manancial por dia,

Q (vazão máxima de captação do manancial),

d (dias decorridos entre as leituras),

V_h (volume de água hidrometrado mensal).

Parâmetros calculados pelo sistema:

V_p (volume produzido mensalmente – eq. 4.5),

P_d (produção diária – eq. 4.6),

Perdas (índice de perdas de água, conforme equação 4.23).

O Índice de Perdas de água (Perdas) é calculado de acordo com a equação.

$$Perdas = \frac{V_p}{V_h} - 1 \quad 4.23$$

O resultado apresentado pela Lógica 7 depende da relação entre o volume hidrometrado (V_h) e o volume produzido mensalmente (V_p), com três possibilidades, conforme apresentado na Tabela 7. Caso existam perdas, o sistema informa o valor do índice de perdas conforme a equação 4.23 e recomenda efetuar a análise dos procedimentos operacionais adotados, contendo 10 verificações.

Tabela 7 - Lógica 7 com a condição da relação entre volume hidrometrado (V_h) e volume produzido (V_p)

Condição da Relação V_h / V_p	ESTÁGIO/AÇÃO
$V_h > V_p$	Não há aparentemente perdas de água. Fazer uma análise crítica porque o volume hidrometrado está maior que o volume produzido.
$V_h = V_p$	Não há perdas de água.
$V_h < V_p$	Há possíveis perdas de água; seguem os procedimentos 1 ao 10, que irão analisar os procedimentos operacionais adotados, estágios atuais do sistema, e recomendação de ações caso necessárias, para minimizar as perdas do sistema de abastecimento de água.
$V_h < V_p$	índice de perdas de água.

Fonte: Próprio autor.

4.4 Procedimentos Operacionais

Além dos dados quantitativos informados na entrada de dados do aplicativo, que permitem verificar a situação da operação do sistema a partir dos índices quantitativos, conforme apresentado nos itens 4.2 e 4.3, o programa permite realizar uma série de avaliações sobre os procedimentos operacionais adotados no estágio atual do sistema e recomendação de ações, caso necessárias, para minimizar as perdas do sistema de abastecimento de água. Este item apresenta a metodologia adotada para essa avaliação.

4.4.1 *Procedimento 1*

No Procedimento 1 serão avaliados os procedimentos operacionais adotados com relação aos hidrômetros. Foram consideradas importantes as questões sobre ligações sem hidrômetros, procedimento de substituição regular de hidrômetros e adoção de caixa padrão. As questões apresentadas e suas possíveis combinações são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados com relação aos hidrômetros
Responder com Sim (S) ou Não (N)

ESTÁGIO			AÇÃO
Hidrômetros estão instalados em todas ligações de água?	Hidrômetros que atingiram a vida útil (adotado 5 anos como base para avaliação) são regularmente substituídos?	Hidrômetros são substituídos com adequação de caixa padrão?	
S	S	S	Não há indícios de possíveis perdas de água com relação aos hidrômetros.
N	S	S	Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes.
S	N	S	Recomenda-se substituir hidrômetros com mais de 5 anos
S	S	N	Quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.
N	N	N	Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes e substituição de hidrômetros com mais de 5 anos. Além disso, quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.
N	N	S	Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes e substituição de hidrômetros com mais de 5 anos.
N	S	N	Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes. Além disso, quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.
S	N	N	Recomenda-se substituir hidrômetros com mais de 5 anos. Além disso, quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.

Fonte: Próprio autor.

4.4.2 *Procedimento 2*

No Procedimento 2 serão avaliados os procedimentos operacionais adotados com relação aos macromedidores. Foram consideradas importantes as informações quanto à existência dos macromedidores e procedimentos de manutenção e verificação das condições de funcionamento dos mesmos. As três questões adotadas e as combinações de respostas possíveis estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados nos macromedidores. Responder com Sim (S) ou Não (N)

ESTÁGIO			AÇÃO
Macromedidores estão instalados em todos reservatórios ou poços que estão ligados diretamente na rede de distribuição de água?	Macromedidores estão instalados em locais de produção de água?	Macromedidores danificados ou deteriorados com incrustação são regularmente substituídos e calibrados anualmente?	
S	S	S	Não há indícios de possíveis perdas de água com relação aos macromedidores.
N	S	S	Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento.
S	N	S	Recomenda-se instalar macromedidores em todos os locais de produção de água.
S	S	N	Recomenda-se que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.
N	N	N	Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento e em todos os locais de produção de água, e também que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.
N	N	S	Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento e em todos os locais de produção de água.
N	S	N	Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento, e também que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.
S	N	N	Recomenda-se instalar macromedidores em todos os locais de produção de água, e também que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.

Fonte: Próprio autor.

4.4.3 Procedimento 3

No Procedimento 3 serão avaliados os procedimentos operacionais adotados com relação à leitura do volume produzido (macromedido) e hidrometrado (micromedido). Três perguntas foram consideradas importantes neste quesito, incluindo informação sobre a existência de leiturista capacitado, e as combinações possíveis de respostas, com as consequentes recomendações geradas, são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados na leitura do volume produzido (macromedido) e hidrometrado (micromedido). Responder com Sim (S) ou Não (N)

ESTÁGIO			AÇÃO
A leitura dos Macromedidores é realizada?	A leitura dos hidrômetros é realizada?	A leitura dos Medidores é realizada com Leiturista Capacitado ?	
S	S	S	Não há indícios de possíveis perdas de água com relação à leitura do volume produzido (macromedido) e hidrometrado (micromedido).
N	S	S	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores instalados.
S	N	S	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os hidrômetros instalados.
S	S	N	A leitura deve ser realizada por leiturista capacitado para haver uma melhor eficiência.
N	N	N	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores e hidrômetros instalados. A leitura deve ser realizada por leiturista capacitado para haver uma melhor eficiência.
N	N	S	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores e hidrômetros instalados.
N	S	N	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores. A leitura deve ser realizada por leiturista capacitado para haver uma melhor eficiência.
S	N	N	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os hidrômetros instalados. A leitura deve ser realizada por leiturista capacitado para haver uma melhor eficiência.

Fonte: Próprio autor.

4.4.4 Procedimento 4

No Procedimento 4 serão avaliados os procedimentos operacionais adotados quanto ao volume de água perdido na distribuição devido às fraudes e falha de cadastro. Foram consideradas importantes as informações quanto a verificação na falha de cadastro, consumos não autorizados e fraudes. As duas questões adotadas e as combinações de respostas possíveis estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto ao volume de água perdido na distribuição devido às fraudes e falha de cadastro. Responder com Sim (S) ou Não (N)

ESTÁGIO			AÇÃO
Os consumos com falha de cadastro são verificados?	Os consumos não autorizados e fraudes são verificados?		
S	S		Não há indícios de possíveis perdas de água com relação às fraudes e falha de cadastro.
N	S		Os cadastros e consumos deverão ter uma análise contínua para encontrar erros ou falhas cadastrais e serem devidamente corrigidos.
S	N		Os consumos não autorizados e fraudes devem ser localizados e aplicadas as sanções previstas pelo órgão gestor. Caso necessário, efetuar o desligamento do ramal na rede.
N	N		Os cadastros e consumos deverão ter uma análise contínua para encontrar erros ou falhas cadastrais e serem devidamente corrigidos. Os consumos não autorizados e fraudes devem ser localizados e aplicadas as sanções previstas pelo órgão gestor. Caso necessário, efetuar o desligamento do ramal na rede.

Fonte: Próprio autor.

4.4.5 Procedimento 5

No Procedimento 5 serão avaliados os procedimentos operacionais adotados quanto à vazão mínima noturna e utilização de bombeamento direto na rede com variação de rotação (inversor de frequência). As combinações possíveis de respostas, com as consequentes recomendações geradas, são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto à vazão mínima noturna e utilização de bombeamento direto na rede com variação de rotação (inversor de frequência). Responder com Sim (S) ou Não (N)

ESTÁGIO			AÇÃO
A vazão mínima noturna está sendo Macromedida?	Utiliza bombeamento direto na rede de distribuição com variação de rotação (Inversor de Frequência)?		
S	S		Não há indícios de possíveis perdas de água com relação à medição da vazão mínima noturna e bombeamento direto na rede de distribuição com variação de rotação (inversor de frequência).
N	S		Recomenda-se realizar a medição da vazão mínima noturna, para obter um suporte efetivo nas investigações de perdas.
S	N		Com a variação de rotação do motor é possível controlar a pressão e vazão no período noturno para minimizar as perdas de água nos vazamentos existentes de redes e ramais.
N	N		Recomenda-se realizar a medição da vazão mínima noturna, para obter um suporte efetivo nas investigações de perdas. Com a variação de rotação do motor é possível controlar a pressão e vazão no período noturno para minimizar as perdas de água nos vazamentos existentes de redes e ramais.

Fonte: Próprio autor.

4.4.6 Procedimento 6

No Procedimento 6 serão avaliados os procedimentos operacionais adotados quanto à pesquisa por geofone da rede de distribuição, pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e reparos executados. Foram consideradas importantes as informações quanto à realização com frequência das pesquisas por instrumentos dos vazamentos nas redes e ramais e agilidade nos reparos. As questões adotadas e as combinações de respostas possíveis estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto à pesquisa por geofone da rede de distribuição, pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e reparos executados. Responder com Sim (S) ou Não (N)

ESTÁGIO			AÇÃO
As redes de distribuição de água são vistoriadas com frequência e pesquisadas com geofone?	Os ramais e cavaletes de água são vistoriados com frequência e pesquisados com haste de escuta?	Quando os vazamentos são encontrados, os reparos são executados com agilidade?	
S	S	S	Não há indícios de possíveis perdas de água com relação à pesquisa por geofone da rede de distribuição e pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e ainda quanto ao tempo de execução dos reparos.
N	S	S	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar geofone para identificar possíveis vazamentos nas adutoras e redes de distribuição.
S	N	S	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar haste de escuta para identificar possíveis vazamentos nos ramais, pés de cavaletes, ligações clandestinas e torneiras.
S	S	N	Os reparos de vazamentos em reservatórios, redes, ramais e cavaletes devem ser executados com maior agilidade possível.
N	N	N	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar geofone para identificar possíveis vazamentos nas adutoras e redes de distribuição e também utilizar haste de escuta para identificar possíveis vazamentos nos ramais, pés de cavaletes, ligações clandestinas e torneiras. Além disso os reparos de vazamentos em reservatórios, redes, ramais e cavaletes, devem ser executados com maior agilidade possível.
N	N	S	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar geofone para identificar possíveis vazamentos nas adutoras e redes de distribuição e também utilizar haste de escuta para identificar possíveis vazamentos nos ramais, pés de cavaletes, ligações clandestinas e torneiras.
N	S	N	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar geofone para identificar possíveis vazamentos nas adutoras e redes de distribuição. Além disso os reparos de vazamentos em reservatórios, redes, ramais e cavaletes, devem ser executados com maior agilidade possível.
S	N	N	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar haste de escuta para identificar possíveis vazamentos nos ramais, pés de cavaletes, ligações clandestinas e torneiras. Além disso os reparos de vazamentos em reservatórios, redes, ramais e cavaletes, devem ser executados com maior agilidade possível.

Fonte: Próprio autor.

4.4.7 Procedimento 7

No Procedimento 7 serão avaliados os procedimentos operacionais adotados quanto à setorização (divisão das redes por setor) para medição e controle e cadastro técnico das redes e ramais de água. As questões adotadas e as combinações de respostas possíveis estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto à setorização (divisão das redes por setor) para medição e controle e cadastro técnico das redes e ramais de água. Responder com Sim (S) ou Não (N)

ESTÁGIO			AÇÃO
Há setorização (divisão das redes por setor) para medição e controle?	Há cadastro técnico das redes e ramais de água?		
S	S		Não há indícios de possíveis perdas de água pela falta de setorização e cadastro técnico das redes e ramais.
N	S		Recomenda-se analisar a criação de setores para redução de pressão nas redes e ramais, pois a existência de zonas de pressão e com pressões equalizadas, diminui o rompimento de redes e ramais, evitando o desperdício de água tratada.
S	N		Recomenda-se analisar a criação de um cadastro técnico para melhorar a confiabilidade e qualidade na manutenção no sistema de abastecimento de água.
N	N		Recomenda-se analisar a criação de setores para redução de pressão nas redes e ramais, pois a existência de zonas de pressão e com pressões equalizadas, diminui o rompimento de redes e ramais e também analisar a criação de um cadastro técnico para melhorar a confiabilidade e qualidade na manutenção no sistema de abastecimento de água.

Fonte: Próprio autor.

4.4.8 Procedimento 8

No Procedimento 8 serão avaliados os procedimentos operacionais adotados quanto à substituição de redes e ramais de água comprometidos. Foram consideradas importantes as informações quanto aos procedimentos para substituição de redes e ramais comprometidos. As questões adotadas e as combinações de respostas possíveis estão apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto à substituição de redes e ramais de água comprometidos. Responder com Sim (S) ou Não (N)

ESTÁGIO			AÇÃO
As redes de água comprometidas com corrosão, excesso de remendos, ou incrustação são substituídas?	Os ramais de água comprometidos com corrosão, excesso de remendos, ou incrustação são substituídos?		
S	S		Não há indícios de possíveis perdas de água pela falta de substituição de redes e ramais comprometidos.
N	S		Recomenda-se substituir os trechos da rede comprometida, por tubulação de materiais resistentes e de melhor durabilidade para que não haja o desperdício de água tratada.
S	N		Recomenda-se substituir os ramais por tubulação de materiais resistentes e de melhor durabilidade para que não haja o desperdício de água tratada.
N	N		Recomenda-se substituir os trechos da rede comprometida e os ramais, por tubulação de materiais resistentes e de melhor durabilidade para que não haja o desperdício de água tratada.

Fonte: Próprio autor.

4.4.9 Procedimento 9

No Procedimento 9 serão avaliados os procedimentos operacionais adotados quanto ao corte do fornecimento de água pela falta de pagamento e fraude. Duas perguntas foram consideradas importantes neste quesito, incluindo informação sobre o corte do abastecimento de água por falta de pagamento e fraude, e as combinações possíveis de respostas, com as consequentes recomendações geradas, são apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto ao corte do fornecimento de água pela falta de pagamento e fraude. Responder com Sim (S) ou Não (N)

ESTÁGIO			AÇÃO
O corte do abastecimento de água é realizado pela falta de pagamento?	O corte do abastecimento de água é realizado se comprovado que está havendo fraude?		
S	S		Não há indícios de possíveis perdas de água por falta de corte do fornecimento de água devido a falta de pagamento e fraudes.
N	S		Recomenda-se adotar medidas de corte para ligações que não efetuarem o pagamento, para minimizar perdas de faturamento.
S	N		Recomenda-se adotar o corte das ligações com fraude comprovada, tanto no hidrômetro quanto em ligações clandestinas, para evitar perdas de faturamento.
N	N		Recomenda-se adotar medidas de corte para ligações que não efetuarem o pagamento, para minimizar perdas de faturamento e adotar o corte das ligações com fraude comprovada, tanto no hidrômetro quanto em ligações clandestinas, para evitar perdas de faturamento.

Fonte: Próprio autor.

4.4.10 Procedimento 10

No Procedimento 10 serão avaliados os procedimentos operacionais adotados quanto à pressão estática máxima e a pressão dinâmica mínima na rede de distribuição. As questões adotadas e as combinações de respostas possíveis estão apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Avaliação dos procedimentos operacionais adotados quanto à pressão estática máxima e a pressão dinâmica mínima na rede de distribuição. Responder com Sim (S) ou Não (N)

ESTÁGIO			AÇÃO
A pressão estática máxima é de até 50 m.c.a em todos os pontos da rede.	É verificada a pressão dinâmica mínima? (adotada 10 m.c.a como base para avaliação)		
S	S		Não há indícios de possíveis perdas de água devido a pressão estática máxima, e garantia de abastecimento devido a manutenção da pressão dinâmica mínima.
N	S		A pressão estática máxima da rede em todos os pontos deve ser de até 50 mca para evitar aumento das perdas e rompimento da tubulação. Recomenda-se efetuar estudo técnico para analisar a divisão existente da rede em setores ou criar novo setor alimentado por reservatório em cota mais baixa ou por tubulação com válvula redutora de pressão.
S	N		A pressão dinâmica mínima medida nos diversos setores deve ser de 10 mca para garantir o mínimo de pressão para o abastecimento de água. Recomenda-se efetuar estudo técnico para melhoria da rede, analisando possíveis soluções como reforço dos diâmetros de trechos, modificação nos setores existentes ou criação de novo setor elevado com reservatório em cota adequada ou com pressurização em linha (booster) na alimentação do setor.
N	N		A pressão estática máxima da rede em todos os pontos deve ser de até 50 mca para evitar aumento das perdas e rompimento da tubulação. Recomenda-se realizar estudo técnico para analisar a divisão existente da rede em setores ou criar novo setor alimentado por reservatório em cota mais baixa ou por tubulação com válvula redutora de pressão. A pressão dinâmica mínima medida nos diversos setores deve ser de 10 mca para garantir o mínimo de pressão para o abastecimento de água. Recomenda-se efetuar estudo técnico para melhoria da rede, analisando possíveis soluções como reforço dos diâmetros de trechos, modificação nos setores existentes ou criação de novo setor elevado com reservatório em cota adequada ou com pressurização em linha (booster) na alimentação do setor.

Fonte: Próprio autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O programa desenvolvido foi testado com base em verificação manual do funcionamento das lógicas no protótipo em planilha eletrônica

O programa desenvolvido foi testado com base em verificação manual do funcionamento das lógicas no protótipo em planilha eletrônica

A simulação do uso em sistemas reais foi realizada com base em informações do Departamento de Água do Município de Pirangi do ano de 2020, com os resultados apresentados no Anexo 1. O programa foi capaz de identificar que a produção de água é suficiente para abastecimento da população, que possui reservação adequada, e que também não há perdas de arrecadação, e que possíveis problemas, como falta de hidrômetros em todas ligações cadastradas, acarretam a submedição da leitura e conseqüentemente prejudicam o faturamento. Informou a quantidade de 357 hidrômetros faltantes nas ligações cadastradas, resultando no índice de 7,73% e uma possível perda de receita anual de R\$ 149.509,04. O custo para instalação dos hidrômetros faltantes foi estimado em R\$ 26.775,00, de forma que o programa obteve um período de retorno de 5,6 meses caso esses hidrômetros fossem instalados. Também foi constatado que há inadimplência, pois somente 3500 contas foram pagas de um total de 4618 contas e ainda informou que o Índice de ligações de água que poderão ter interrupção do fornecimento de água por inadimplência é de 24,21%. A análise efetuada pelo programa informou também que, mesmo havendo inadimplência, o órgão gestor de água está tendo um superávit R\$ 460.931,51. Além disso, constatou que há possíveis perdas de água e assim sendo, solicitou que se preenchesse um questionário do procedimento 1 ao 10 para verificar possíveis problemas que podem ocasionar perdas no sistema de abastecimento de Água.

Após esta etapa concluída, foram avaliados os procedimentos operacionais adotados, e os resultados foram os seguintes:

- Quanto aos hidrômetros: Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes. Além disso, quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.

- Quanto aos macromedidores (mecânico e eletrônico): Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento e em todos os locais de produção de água, e também que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.
-
- Quanto a leitura do volume produzido e hidrometrado: Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores instalados. Neste caso especial foi obtida a informação verbal de que não há nenhum macromedidor no sistema de produção de água. Pode-se propor a inclusão da verificação sobre a existência de macromedidores na próxima versão do programa.
- Quanto ao volume de água perdido na distribuição devido às fraudes e falhas de cadastro. o sistema informou que não há indícios de possíveis perdas de água com relação às fraudes e falha de cadastro.
- Quanto a vazão mínima noturna e bombeamento direto na rede de distribuição com variação de rotação (Inversor de Frequência): Recomenda-se realizar a medição da vazão mínima noturna, para obter um suporte efetivo nas investigações de perdas. Com a variação de rotação do motor é possível controlar a pressão e vazão no período noturno para minimizar as perdas de água nos vazamentos existentes de redes e ramais.
- Quanto à pesquisa por geofone na rede de distribuição, pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e reparos executados: a rede de distribuição de água é vistoriada com frequência e pesquisada com geofone, e os ramais e cavaletes de água também são vistoriados com frequência e pesquisados com haste de escuta e quando os vazamentos são encontrados, os reparos são executados com agilidade. Com esses dados o programa informou que não há indícios de possíveis perdas de água com relação à pesquisa por geofone da rede de distribuição e pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e ainda quanto ao tempo de execução dos reparos.
- Quanto à setorização (divisão das redes por setor) para redução de pressão e cadastro técnico da redes e ramais de água: há setorização, mas não há cadastro técnico;

recomenda-se analisar a criação de um cadastro técnico para melhorar a confiabilidade e qualidade na manutenção no sistema de abastecimento de água

- Quanto à substituição de sede e ramais de água comprometidos: são substituídas as redes e ramais de água comprometidos. O programa indica que não há indícios de possíveis perdas de água pela falta de substituição de redes e ramais comprometidos.
- Quanto ao Corte do fornecimento de água: o corte do abastecimento de água é realizado pela falta de pagamento e se comprovado que está havendo fraude. Como resultado o programa indica que não há indícios de possíveis perdas de água por falta de corte do fornecimento de água devido a falta de pagamento e fraudes.
- Quanto a Pressão na Rede de Distribuição: não é conhecida a pressão estática máxima e não é medida a pressão dinâmica mínima. Como resultado, o programa apresentou as seguintes recomendações: a pressão estática máxima da rede em todos os pontos deve ser de até 50 mca para evitar aumento das perdas e rompimento da tubulação. Recomenda-se realizar estudo técnico para analisar a divisão existente da rede em setores ou criar novo setor alimentado por reservatório em cota mais baixa ou por tubulação com válvula redutora de pressão. A pressão dinâmica mínima medida nos diversos setores deve ser de 10 mca para garantir o mínimo de pressão para o abastecimento de água. Recomenda-se efetuar estudo técnico para melhoria da rede, analisando possíveis soluções como reforço dos diâmetros de trechos, modificação nos setores existentes ou criação de novo setor elevado com reservatório em cota adequada ou com pressurização em linha booster) na alimentação do setor.

A partir da constatação do funcionamento adequado do protótipo em planilha foi realizada a implementação do aplicativo WEB, este elaborado por um desenvolvedor de software, com a Linguagem de Marcação de Hipertexto (HTML), que é utilizada para produção de páginas na WEB, e pela biblioteca Java Script JQuery, a partir de um protótipo em Excel desenvolvido e fundamentado por lógicas Fuzzy elaborado pelo autor, com código aberto e está pronto para ser disponibilizado e adicionado na página do programa ProfÁgua, ou qualquer órgão público interessado. Os interessados em ter acesso ao código fonte do aplicativo poderão fazer a solicitação através do email do autor ou da secretaria do ProfÁgua.

Para ilustrar o funcionamento do programa na interface WEB, são mostradas as figuras 14 a 16 a seguir.

Figura 14 - Parte A – Ilustração do funcionamento do programa na interface WEB

 [Ajuda e informações do sistema](#)

ENTRADA DE DADOS DO SISTEMA

Cidade - Nome da cidade ou setor com ano base Pirangi (2020)	Hab - Nº de habitantes atendidos por abastecimento de água 11471	qm (L/hab.dia) - Consumo per capita 130,8	Ht (horas/dia) - Horas trabalhadas de captação do manancial por dia 7,5
Q (m³/h) - Vazão máxima de captação do manancial 364,7	Re (m³) - Reserva existente do sistema 2120	Vh (m³) - Volume de água hidrometrado mensal 56830	Vf (m³) - Volume de água faturado mensal 75730
d (dias) - Quantidade de dias decorridos entre as leituras 25	k1 - Coeficiente de máxima vazão diária 1,20	NL (un.) - Número de ligações de água cadastradas 4618	Qh (un.) - Quantidade de hidrômetros instalados 4261
Cp (un.) - Contas pagas 3500	Va - Valor da arrecadação anual (R\$) 2417481.55	Vd - Valor das despesas anuais (R\$) 1956550.04	Phid (R\$) - Preço do hidrômetro 75,00

RESULTADOS QUANTITATIVOS

Vp(m³) =	68375	Volume de água produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre a realização das leituras
Pd(m³) =	2735	Produção diária de água
Pnec(m³) =	1800	Produção necessária diária de água
Vnec(m³) =	54015	Volume de água produzido necessário mensalmente
Ri(m³) =	360	Reserva combate incêndio
Rad(m³) =	720	Reservação adequada
Qmédia (m³/h) =	62.52	Vazão média
D(m³/h) =	75.02	Demanda

Fonte: Próprio autor.

Figura 15 - Parte B – Ilustração do funcionamento do programa na interface WEB



Fonte: Próprio autor.

Figura 16 - Parte C – Ilustração do funcionamento do programa na interface WEB

ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA DO COMBATE ÀS PERDAS E NO DESPERDÍCIO DE ÁGUA TRATADA

Selecione as opções correspondentes do seu sistema e ao final clique em Calcular Análises

- Quanto aos micromedidores (hidrômetros).**
 - ☐ Hidrômetros estão instalados em todas ligações de água
 - ☒ Hidrômetros que atingiram a vida útil (adotado 5 anos como base para avaliação) são regularmente substituídos
 - ☐ Hidrômetros são substituídos com adequação de caixa padrão

Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes. Além disso, quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.
- Quanto aos macromedidores (mecânico e eletrônico).**
 - ☐ Macromedidores estão instalados em todos reservatórios ou poços que estão ligados diretamente na rede de distribuição de água
 - ☐ Macromedidores estão instalados em locais de produção de água
 - ☐ Macromedidores danificados ou deteriorados ou incrustação são regularmente substituídos e calibrados anualmente

Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento e em todos os locais de produção de água, e também que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.
- Quanto a leitura do volume produzido e hidrometrado.**
 - ☐ A leitura dos macromedidores é realizada
 - ☒ A leitura dos hidrômetros é realizada
 - ☒ A leitura dos medidores é realizada com leitorista capacitado

Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores instalados.
- Quanto ao volume de água perdido na distribuição devido às fraudes e falhas de cadastro.**
 - ☒ Os consumos com falha de cadastro são verificados
 - ☒ Os consumos não autorizados e fraudes são verificados

Não há indícios de possíveis perdas de água com relação às fraudes e falha de cadastro.
- Quanto a vazão mínima noturna e bombeamento direto na rede de distribuição com variação de rotação (Inversor de frequência).**
 - ☐ A vazão mínima noturna está sendo macromedida
 - ☐ Utiliza bombeamento direto na rede de distribuição com variação de rotação (Inversor de frequência)

Recomenda-se realizar a medição da vazão mínima noturna, para obter um suporte efetivo nas investigações de perdas. Com a variação de rotação do motor é possível controlar a pressão e vazão no período noturno para minimizar as perdas de água nos vazamentos existentes de redes e ramais.
- Quanto à pesquisa por geofone da rede de distribuição, pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e reparos executados.**
 - ☒ As redes de distribuição de água são vistoriadas com frequência e pesquisadas com geofone
 - ☒ Os ramais e cavaletes de água são vistoriados com frequência e pesquisados com haste de escuta
 - ☒ Quando os vazamentos são encontrados, os reparos são executados com agilidade

Não há indícios de possíveis perdas de água com relação à pesquisa por geofone da rede de distribuição e pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e ainda quanto ao tempo de execução dos reparos.
- Quanto à setorização (divisão das redes por setor) para redução de pressão e cadastro técnico da rede e ramais.**
 - ☒ Há setorização (divisão das redes por setor) para medição e controle
 - ☐ Há cadastro técnico das redes e ramais de água

Recomenda-se analisar a criação de um cadastro técnico para melhorar a confiabilidade e qualidade na manutenção no sistema de abastecimento de água.
- Quanto à substituição de rede e ramais de água comprometidos.**
 - ☒ As redes de água comprometidas com corrosão, excesso de remendos, ou incrustação são substituídas
 - ☒ Os ramais de água comprometidos com corrosão, excesso de remendos, ou incrustação são substituídos

Não há indícios de possíveis perdas de água pela falta de substituição de redes e ramais comprometidos.
- Quanto ao corte do fornecimento de água.**
 - ☒ O corte do abastecimento de água é realizado pela falta de pagamento
 - ☒ O corte do abastecimento de água é realizado se comprovado que está havendo fraude

Não há indícios de possíveis perdas de água por falta de corte do fornecimento de água devido a falta de pagamento e fraudes.
- Quanto a pressão na rede de distribuição.**
 - ☐ A pressão estática máxima é de até 50 m.c.a em todos os pontos da rede.
 - ☐ É verificada a pressão dinâmica mínima? (adotada 10 m.c.a como base para avaliação)

A pressão estática máxima da rede em todos os pontos deve ser de até 50 mca para evitar aumento das perdas e rompimento da tubulação. Recomenda-se efetuar estudo técnico para analisar a divisão existente da rede em setores ou criar novo setor alimentado por reservatório em cota mais baixa ou por tubulação com válvula redutora de pressão. A pressão dinâmica mínima medida nos diversos setores deve ser de 10 mca para garantir o mínimo de pressão para o abastecimento de água. Recomenda-se efetuar estudo técnico para melhoria da rede, analisando possíveis soluções como reforço dos diâmetros de trechos, modificação nos setores existentes ou criação de novo setor elevado com reservatório em cota adequada ou com pressurização em linha (booster) na alimentação do setor.

Calcular Análises
Imprimir

Fonte: Próprio autor.

6 CONCLUSÕES

Os estudos bibliográficos que visam identificar perdas por meio de modelagem computacional dos sistemas indicam que a viabilidade da aplicação prática dos resultados dessa vertente de pesquisas depende da implementação em grande escala de instrumentação remota de aquisição de dados e de controle de dispositivos, uma situação ainda distante na grande maioria dos sistemas de abastecimento de água, colocando essa abordagem do problema como uma meta para o futuro. Já a questão gerencial e operacional é um problema mais consolidado na literatura, com inúmeros trabalhos apresentando diretrizes de aplicação mais imediata, considerando as estruturas atuais dos sistemas de abastecimento. Nessa linha de atuação insere-se a contribuição do software desenvolvido neste trabalho.

No Brasil, ainda há muitos problemas com a questão do gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água, pois ainda na sua maioria, não há controle, instrumentação e equipes técnicas qualificadas necessárias para aprimorar as operações dos sistemas de abastecimento. Nesse contexto, considera-se que o software desenvolvido será de grande valia para melhorar o nível técnico da gestão dos sistemas brasileiros.

O Aplicativo *WEB* desenvolvido é uma ferramenta que permitirá auxiliar o gerenciamento de possíveis problemas com relação a produção, reservação, abastecimento e na mitigação das perdas em sistemas de abastecimento de água com as seguintes capacidades.

- ✓ Fazer um diagnóstico dos problemas e apresentar um prognóstico;
- ✓ Melhorar o gerenciamento, e ter como resultado um possível aperfeiçoamento na governança das águas;
- ✓ Fornecer informações para os gestores atuarem no desperdício de água tratada e também prejuízos financeiros;
- ✓ Fornecer informações que possibilitem aos gestores atuar no aumento da eficiência e da eficácia dos sistemas de abastecimento de água.

Foi aplicada a metodologia desenvolvida na cidade de Pirangi, utilizando os dados de entrada obtidos por meio do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) site do governo federal e também informações junto ao Órgão Gestor, e também pode ser aplicado em outras cidades ou outros setores.

Assim sendo, conclui-se que houve êxito da aplicabilidade da teoria *Fuzzy* no desenvolvimento das lógicas de controle. Além disso, a praticidade e confiabilidade da metodologia usada deve ser manifestada como avanço tecnológico por trazer também: redução no consumo de água; redução no consumo de energia; modernização dos sistemas de

abastecimento; monitoramento da real condição do sistema, facilitando a tomada de decisão por parte dos gestores.

E ainda, a prática de uma boa gestão é o caminho a seguir, pois, por vezes, verifica-se a má utilização dos fatores produtivos. A aplicação de tarifas acima do necessário para recuperar os custos é um outro problema existente no setor (Carvalho,2014).

Diante disso, mostra-se a importância de um programa computacional que auxilia o gestor na identificação de possíveis problemas na operação do sistema de abastecimentos de água, pois além da modernização e agilidade nas tomadas de decisões, há ganhos significativos em diminuição de tarifas aplicadas aos consumidores.

Como sugestão para trabalhos futuros podem ser citados os seguintes:

- Elaboração de lógicas de diagnóstico dos resultados do sistema e da rotina operacional, para gerenciamento de perdas do sistema de abastecimento de água, a partir de Lógicas Fuzzy, com funções características de pertinência trapezoidal.
- Elaboração de Lógicas Fuzzy, para verificar a qualidade do sistema de abastecimento de água.
- Incluir a consideração da qualidade da água (dureza e pH) em conjunto com a idade dos hidrômetros e o volume medido para gerar o diagnóstico quanto à necessidade de substituição.
- Acrescentar ao programa uma seção de cálculo para transformar o conjunto das saídas Fuzzy em número real (defuzzificador), que permitiria classificar o sistema com relação a outros, ou com relação a situação anterior do mesmo sistema, situando o resultado numa única escala de eficiência no combate às perdas.
- A escala de eficiência poderia ser acrescentada a páginas contendo o ranking dos resultados abrangendo os sistemas que autorizassem a divulgação dos resultados. Com isso seria possível ao usuário avaliar a posição relativa de seus resultados quando comparados a outros sistemas brasileiros.

REFERÊNCIAS

AGUADO, A. G.; CANTANHEDE, M. A. **Lógica fuzzy**. [S. l.: s. n.], Disponível em: https://www.academia.edu/12285191/Lógica_Fuzzy. Acesso em: 23 setembro 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12218/94: **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1994.

AZEVEDO NETTO, J. M. Perdas, volume não faturável e desperdício de água. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Fortaleza. **Anais [...]** Fortaleza: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES), 1981. 22 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Redução de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**, Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), 2. ed. Brasília, DF, 2014. 172 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/reducao_de_perdas_em_saa74.pdf>. Acesso em: 20 outubro 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto**. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), Brasília, DF, 2019. Disponível em: <http://appsniis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua_esgoto/mapa-agua>. Acesso em: 12 janeiro 2021.

CARVALHO, H.R.F. **Redução de Perdas Reais de Água em Sistemas de Abastecimento de Água**: definição de Critérios para Delimitação de Zonas de Medição e controle. 2014. 103 f. Tese (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2014.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=37>. Acesso em: 12 nov. 2021.

FUNDO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - FEHIDRO. Plano diretor e projetos de redução e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. *In*: **Roteiros básicos para apresentação de termos de referência para o FEHIDRO**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: http://www.comitepp.sp.gov.br/fehidro/files/02_abastecimento.pdf. Acesso em: 13 set. 2021.

CORTÊS, A. S. B. **Fugas e Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**. 2015. 69 f. Tese (Mestrado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015.

COSTA, L. H. M. **Utilização de um algoritmo genético híbrido na operação de sistemas de abastecimento de água com ênfase na eficiência energética**. 2010. 146 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

FERREIRA JR, P.A. **Eficiência Energética em Ambientes Prediais Utilizando Rede Sem fio ZigBee e Controle Fuzzy**. 2009. 111 f. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FREIRE, M.R. **Modelo para Setorização de Redes de Distribuição de Água**. 2017. 111 f. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

GHIDETTI, A.J. **Eficácia do Método das Vazões Mínimas Noturnas para Diagnosticar as Perdas de Água**. 2013. 117 p. Tese (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Campinas, Campinas, 2013.

GONÇALVES, E. **Metodologias para Controle de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água - Estudo de Casos da CAESB**. 1998. 173 f. Tese (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION - IWA. **Partnership to Reduce Water Losses**. IWA, 2016. Disponível em: <https://iwa-network.org/news/the-world-bank-and-the-international-water-association-to-establish-a-partnership-to-reduce-water-losses/>. Acesso em: 12 jan. 2020.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION - IWA. **Historic-water-scarcity-and-drought-summit**, IWA, Brisbane, Australia, 2016. Disponível em: <https://iwa-network.org/press/historic-water-scarcity-and-drought-summit/>. Acesso em: 14 jan. 2020.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION - IWA. **World water loss day**. IWA, Colombo, Sri Lanka, 2019. Disponível em: <https://iwa-network.org/press/special-event-marks-first-world-water-loss-day/>. Acesso em: 14 janeiro 2020.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION - IWA. **About Water Loss specialist group**. Specialist Group Water Loss – IWA. Disponível em: <https://iwa-connect.org/group/water-loss?view=public>. Acesso em: 20 jan. 2020.

KAMBALIMATH, S., Deka, P.C. A basic review of Fuzzy logic applications in hydrology and water resources. **Appl. Water Sci.**, v. 10, n. 191, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01276-2>. Acesso em: 16 nov. 2021.

MAMDANI, E.H.; Assilian, S. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. **International Journal of Man- Machine Studies**, v. 7, n.1. p. 1-13, 1974.

MARTINHO, S. O. **Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água - INOVA (Cantanhede)**. 2013. 89 f. Tese (Mestrado) - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2013.

MERLI, R.F. **Modelos Clássico e Fuzzy na Educação Matemática: Um Olhar Sobre o Uso da Linguagem**. 2012. 150 f. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

MOREIRA, H. A. M. **Controle Neuro-Fuzzy para Eficiência Energética de Sistemas de Abastecimento de Água com Demanda Variável**. 2020. 106 f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

MORRISON, J.; Tooms, S.; Rogers, D. DMA Management: Guidance Notes. Technical Report 1, Water Loss Task Force – International Water Association (IWA), 2007.

MUKAIDONO, M. **Fuzzy Logic For Beginners**. Japan. Meiji University, Japan: World Scientific, 2001.

OLIVEIRA, J. K. C. **Lógica Fuzzy Aplicada na Otimização Operacional de Rede Setorizada de Distribuição de Água**. 2017. 147 f. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

OLIVEIRA, M. D. **Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Desempenho de Estações Convencionais de Tratamento de Água**. 2014. 205 f. Tese (Doutorado em Saneamento) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PATRÍCIO, R. J. O. **Análise de Perdas na Rede de Distribuição de Água em Um Subsetor da Cidade de Presidente Prudente - SP**. 2007. 131f. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Câmpus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2007.

QUINTELA, A. C. **Hidráulica**. 12. ed. [S. l.]: Fundação Calouste Gulbenkian, 2011.

RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas: Modelagem Ambiental com a Simulação de Cenários Preservacionistas**. 2004. 93 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

RIGNEL, D.G.S., CHENCI, G.P., LUCAS, C.A. Uma introdução a Lógica Fuzzy. **Revista Eletrônica de Sistemas de informação e gestão tecnológica**, [s. l.], v.1, n.1, p. 17-28. 2011. Disponível em: <https://periodicos.unifacef.com.br/index.php/resiget/article/view/153>. Acesso em: 09 ago. 2021.

SALVINO, L. R. **Eficiência Energética em Sistemas Pressurizados de Distribuição de Água com o Uso de Redes Neurais Artificiais**. 2018. 87 f. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SOARES, A. K. **Calibração de Modelos de Redes de Distribuição de Água para Abastecimento Considerando Vazamentos e Demandas Dirigidas pela Pressão**. 2003. 153 f. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água (Relevant aspects of the control of losses in public water supply systems), **Revista DAE.**, [s. l.], p. 6-20, 2016.

WU, Z. Y.; FARLEY, M.; TURTLE, D.; KAPELAN, Z.; BOXALL, J.; MOUNCE, S.; DAHASAHASRA, S.; MULAY, M.; KLEINER, Y. **Water loss reduction**. [S. l.]: Bentley Institute, 2011.

ZADEH, L.A. Fuzzy sets. **Information and Control**, [s. l.], v. 8, p. 338-353, 1965.

VICENTINI, L. P. **Componentes do Balanço Hídrico para Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**. 2012. 196 f. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ANEXOS

Anexo 1
Resultados do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Pirangi (Ano Base 2020)

ENTRADA DE DADOS DO SISTEMA		
Cidade ou Setor:	Pirangi (2020)	Nome da cidade ou setor e ano base
hab =	11.471,00	Hab - número de habitantes atendidos por abastecimento de água
qm - (Litros/hab.dia) =	130,80	qm -Consumo per capita (Litros/hab.dia)
Ht (horas/dia) =	7,50	Ht- Horas trabalhadas de captação do manancial por dia (horas/dia)
Q(m³/h) =	364,70	Q-Vazão máxima de captação do Manancial (m³/h)
Re(m³) =	2.120	Re- Reservação existente do sistema (m³)
Vh(m³) =	56.830,00	Vh -Volume de água hidrometrado mensal (m³)
Vf(m³) =	75.730,00	VF -Volume de água faturado mensal (m³)
d(dias) =	25,00	d- quantidade de dias decorridos entre as leituras
k1 =	1,20	k1-Coeficiente de máxima vazão diária
NL (un.) =	4.618	NL - Número de ligações de água cadastradas (unidade)
Qh (un.)=	4.261	Qh - Quantidade de hidrômetros instalados (unidade)
Cp (un.) =	3.500	Cp - Contas pagas (unidades)
Va (R\$) =	2.417.481,55	Va- Valor da arrecadação anual (R\$)
Vd (R\$)=	1.956.550,04	Vd - Valor das despesas anuais (R\$)
Phid(R\$) =	75,00	Phid - Preço do hidrômetro (R\$)
SAÍDA DE DADOS DO SISTEMA		
Vp(m³) =	68.381	Volume de água produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre a realização das leituras (Pd.d)
Pd(m³) =	2.735	Produção diária de água (Pd = Q.Ht)
Pnec(m³) =	1.800	Produção necessária diária de água (Pnec=HAB.qm.K1)
Vnec(m³) =	54.015	Volume de água produzido necessário mensalmente d (Pnec.30)
Ri(m³) =	360	Reserva combate Incêndio(20%Pnec)
Rad(m³) =	720	Rad - Reservação adequada (Rad=(Pnec+Ri)/3)
Qmédia (m³/h) =	62,52	Vazão Média (Qm= HAB.qm/24000)
D (m³/h) =	75,02	Demanda (D= HAB.qm.K1/24000) (Qmáxima diária)

LÓGICAS	CONDIÇÕES			ESTÁGIO/AÇÃO
Lógica 1: Verifica se a produção atual de água é suficiente para o abastecimento da população.	Se a Produção diária de água for maior que a produção necessária informar o seguinte	Se a Produção diária de água for igual a produção necessária informar o seguinte	Se a Produção diária de água for menor que a produção necessária informar o seguinte	A produção de água é suficiente.
	A produção de água é suficiente.	Em alerta, a produção de água está no limite.	A produção de água não é suficiente. Requer planos de racionamento e/ou elevação da produção de água.	
Lógica 2: Verifica se a reservação de água é adequada para o abastecimento da população.	Se a reservação existente do sistema for maior que a Reservação adequada informar o descrito abaixo	Se a Reservação Existente do Sistema for igual a Reservação Adequada informar o descrito abaixo	Se a Reservação Existente do Sistema for menor que a Reservação adequada informar o descrito abaixo	Reservação adequada.
	Reservação adequada.	Em alerta, a reservação existente está no limite.	Reservação inadequada. Requer planos para aumento do volume de reservação.	
Lógica 3: Verifica se está havendo perdas de arrecadação.	Se o Volume de Água faturado mensal for maior que o Volume produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre as leituras informar o descrito abaixo	Se o Volume de Água faturado mensal for igual ao Volume produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre as leituras informar o descrito abaixo	Se o Volume de Água faturado mensal pelo órgão gestor for menor que o Volume produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre as leituras informar o descrito abaixo	Não há perda de arrecadação.
	Não há perda de arrecadação.	Em alerta, mas não há perda de arrecadação.	Há perdas de arrecadação e as possíveis causas são: falta de hidrômetros, hidrômetros danificados nas residências, erros de leitura e hidrômetros fraudados.	
Lógica 4: Verifica a eficiência da instalação de hidrômetros.	Se a quantidade de hidrômetros instalados for maior que o número de ligações cadastradas, informar o descrito abaixo	Se a quantidade de hidrômetros instalados for igual ao número de ligações cadastradas informar o descrito abaixo	Se a quantidade de hidrômetros instalados for menor que o número de ligações cadastradas informar o descrito abaixo	Há falta de hidrômetros nas ligações de água, prejudicando a leitura e consequentemente o faturamento.
	Averiguar porque a quantidade de hidrômetros está maior que a quantidade de ligações de água, com possível falta de cadastro das ligações.	Quantidade de hidrômetros está de acordo com a quantidade ligações, possibilitando a leitura correta e contribuindo para um faturamento correto.	Há falta de hidrômetros nas ligações de água, prejudicando a leitura e consequentemente o faturamento.	

4.1: Verifica a quantidades de hidrômetros faltantes nas ligações.			Se a Quantidade de hidrômetros instalados for menor que o número de ligações cadastradas, informar a quantidade de hidrômetros a serem instalados	357
			Informa a quantidade de hidrômetros faltantes nas ligações de água.	
4.2: Informa o custo para instalar os hidrômetros faltantes.			Se a Quantidade de hidrômetros instalados for menor que o número de ligações de água cadastrada, informar o descrito abaixo	R\$ 26.775,00
			O custo para instalação dos hidrômetros faltantes	
4.3: Informa a possível perda de receita dos hidrômetros faltantes.			A quantidade de hidrômetros instalados é menor que o número de ligações cadastradas, então informar o descrito abaixo	R\$ 149.509,04
			O valor da possível perda de receita	
Procedimento 4.4: Informa o período de retorno em meses se os hidrômetros faltantes forem instalados.			Se quantidade de hidrômetros instalados é menor que o número de ligações cadastradas, então informar o descrito abaixo	5,6
			O período de retorno em meses se os hidrômetros forem instalados.	
4.5: Informa qual o Índice de falta de hidrômetros das ligações de água			Se a quantidade de hidrômetros instalados é menor que o número de ligações cadastradas, informar o descrito abaixo	7,73%
			Índice de hidrômetros a serem instalados.	
Lógica 5: Verifica se há inadimplência pela quantidade de contas de água pagas.	Se a quantidade de contas pagas for maior que a quantidade de ligações cadastradas, informar o descrito abaixo	Se a quantidade de contas pagas for igual a quantidade de ligações cadastradas, informar o descrito abaixo	Se a quantidade de contas pagas for menor que a quantidade de ligações cadastradas, informar o descrito abaixo	Há inadimplência. Notificar os inadimplentes. Caso não efetuem o pagamento será necessário interromper o fornecimento de água.
	Averiguar porque a quantidade de contas pagas está maior que a quantidade de ligações.	Não há inadimplência, o faturamento está correto.	Há inadimplência. Notificar os inadimplentes. Caso não efetuem o pagamento será necessário interromper o fornecimento de água.	

5.1: Informa a quantidade de ligações que terão interrupção do fornecimento de água por inadimplência.			Se a quantidade de contas pagas for menor que as ligações cadastradas, informar o descrito abaixo	1118
			Informar a quantidade de ligações que terão interrupção do fornecimento de água por inadimplência.	
5.2: Informa qual o índice de ligações que terão interrupção do fornecimento de água por inadimplência.			Se a quantidade de contas pagas for menor que as ligações cadastradas, informar o descrito abaixo	24,21%
			Informar o índice de ligações que terão interrupção do fornecimento de água por inadimplência.	
Lógica 6: Verifica se há perda financeira e o seu Índice.	Se o valor da arrecadação for maior que o valor das despesas informar o descrito abaixo		Se o valor da arrecadação for menor que o valor das despesas informar o descrito abaixo	Não há perda financeira considerando arrecadação e despesas.
	Não há perda financeira considerando arrecadação e despesas.		Informar o índice de perda financeira.	
6.1: Informa se há superávit ou déficit financeiro.	Se o valor da arrecadação for maior que o valor das despesas informar o descrito abaixo		Se o valor da arrecadação for menor que o valor das despesas informar o descrito abaixo	Valor do superávit.
	Valor do superávit.		Valor do déficit.	R\$ 460.931,51
Lógica 7: Verifica se está havendo perdas de água.	Se o volume de água hidrometrado mensal for maior que o volume produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre as leituras informar o descrito abaixo	Se o volume de água hidrometrado mensal for igual ao volume produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre as leituras informar o descrito abaixo	Se o volume de água hidrometrado mensal for menor que o volume produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre as leituras informar o descrito abaixo	Há possíveis perdas de água; seguem os procedimentos 1 ao 10, que irão analisar os procedimentos operacionais adotados, estágios atuais do sistema, e recomendação de ações caso necessárias, para minimizar as perdas do sistema de abastecimento de água.
	Não há aparentemente perdas de água. Fazer uma análise crítica porque o volume hidrometrado está maior que o volume produzido.	Não há perdas de água.	Há possíveis perdas de água; seguem os procedimentos 1 ao 10, que irão analisar os procedimentos operacionais adotados, estágios atuais do sistema, e recomendação de ações caso necessárias, para minimizar as perdas do sistema de abastecimento de água.	
7.1: Informa qual o possível índice de perdas de água.			Se o volume de água hidrometrado mensal for menor que o volume produzido mensalmente de acordo com dias decorridos entre as leituras informar o descrito abaixo	20,33%
			Índice de perdas de água.	

ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS QUE INFLUEM NA EFICIÊNCIA DO COMBATE ÀS PERDAS E NO DESPÉDIO DE ÁGUA TRATADA								
Preencha as opções correspondentes do seu sistema com Sim (S) ou Não (N)								
PROCEDIMENTOS	ESTÁGIO			RESPOSTAS				AÇÃO
Procedimento 1: Quanto aos Micromedidores (Hidrômetros).	Hidrômetros estão instalados em todas ligações de água?	Hidrômetros que atingiram a vida útil (adotado 5 anos como base para avaliação) são regularmente substituídos?	Hidrômetros são substituídos com adequação de caixa padrão?	C=N D=N E=N	C=N D=N	C=N E=N	D=N E=N	C=S D=S E=S
	Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes.	Recomenda-se substituir hidrômetros com mais de 5 anos	Quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.	Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes e substituição de hidrômetros com mais de 5 anos. Além disso, quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.	Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes e substituição de hidrômetros com mais de 5 anos.	Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes. Além disso, quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.	Recomenda-se substituir hidrômetros com mais de 5 anos. Além disso, quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.	Não há indícios de possíveis perdas de água com relação aos hidrômetros.
	N	S	N					Recomenda-se instalar hidrômetros nas ligações faltantes. Além disso, quando há a necessidade de substituição do hidrômetro, analisar a possibilidade da instalação de caixa padrão para melhorar a eficiência da leitura e manutenção no cavalete, e também diminuir a existência de medidores em área interna ao imóvel.
Procedimento 2: Quanto aos Macromedidores (Mecânico e Eletrônico).	Macromedidores estão instalados em todos reservatórios ou poços que estão ligados diretamente na rede de distribuição de água?	Macromedidores estão instalados em locais de produção de água?	Macromedidores danificados ou deteriorados com incorrução são regularmente substituídos e calibrados anualmente?	C=N D=N E=N	C=N D=N	C=N E=N	D=N E=N	C=S D=S E=S
	Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento.	Recomenda-se instalar macromedidores em todos os locais de produção de água.	Recomenda-se que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.	Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento e em todos os locais de produção de água, e também que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.	Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento e em todos os locais de produção de água.	Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento, e também que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.	Recomenda-se instalar macromedidores em todos os locais de produção de água, e também que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.	Não há indícios de possíveis perdas de água com relação aos macromedidores.
	N	N	N					Recomenda-se instalar macromedidores em todos reservatórios e poços que estão ligados diretamente na rede de abastecimento e em todos os locais de produção de água, e também que macromedidores danificados ou deteriorados sejam substituídos. Todos macromedidores hidromecânicos e eletrônicos deverão ser calibrados anualmente.

Procedimento 3: Quanto a leitura do Volume Produzido e Hidrometrado.	A leitura dos Macromedidores é realizada?	A leitura dos hidrômetros é realizada?	A leitura dos Medidores é realizada com Leiturista Capacitado ?	C=N D=N E=N	C=N D=N	C=N E=N	D=N E=N	C=S D=S E=S
	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores instalados.	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os hidrômetros instalados.	A leitura deve ser realizada por leiturista capacitado para haver uma melhor eficiência.	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores e hidrômetros instalados. A leitura deve ser realizada por leiturista capacitado para haver uma melhor eficiência.	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores e hidrômetros instalados.	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores. A leitura deve ser realizada por leiturista capacitado para haver uma melhor eficiência.	Recomenda-se efetuar a leitura de todos os hidrômetros instalados. A leitura deve ser realizada por leiturista capacitado para haver uma melhor eficiência.	Não há indícios de possíveis perdas de água com relação à leitura do volume produzido (macromedido) e hidrometrado (micromedido).
	N	S	S					Recomenda-se efetuar a leitura de todos os macromedidores instalados.
Procedimento 4: Quanto ao Volume de água perdido na distribuição devido às fraudes e falhas de cadastro.	Os consumos com falha de cadastro são verificados?	Os consumos não autorizados e fraudes são verificados?			C=N D=N			C=S D=S E=S
	Os cadastros e consumos deverão ter uma análise contínua para encontrar erros ou falhas cadastrais e serem devidamente corrigidos.	Os consumos não autorizados e fraudes devem ser localizados e aplicadas as sanções previstas pelo órgão gestor. Caso necessário, efetuar o desligamento do ramal na rede.			Os cadastros e consumos deverão ter uma análise contínua para encontrar erros ou falhas cadastrais e serem devidamente corrigidos. Os consumos não autorizados e fraudes devem ser localizados e aplicadas as sanções previstas pelo órgão gestor. Caso necessário, efetuar o desligamento do ramal na rede.			Não há indícios de possíveis perdas de água com relação às fraudes e falha de cadastro.
	S	S						Não há indícios de possíveis perdas de água com relação às fraudes e falha de cadastro.
Procedimento 5: Quanto à vazão mínima noturna e bombeamento direto na rede de distribuição com variação de rotação (Inversor de Frequência)	A vazão mínima noturna está sendo macromedida?	Utiliza bombeamento direto na rede de distribuição com variação de rotação (Inversor de Frequência)?			C=N D=N			C=S D=S
	Recomenda-se realizar a medição da vazão mínima noturna, para obter um suporte efetivo nas investigações de perdas.	Com a variação de rotação do motor é possível controlar a pressão e vazão no período noturno para minimizar as perdas de água nos vazamentos existentes de redes e ramais.			Recomenda-se realizar a medição da vazão mínima noturna, para obter um suporte efetivo nas investigações de perdas. Com a variação de rotação do motor é possível controlar a pressão e vazão no período noturno para minimizar as perdas de água nos vazamentos existentes de redes e ramais.			Não há indícios de possíveis perdas de água com relação à medição da vazão mínima noturna e bombeamento direto na rede de distribuição com variação de rotação (inversor de frequência).
	N	N						Recomenda-se realizar a medição da vazão mínima noturna, para obter um suporte efetivo nas investigações de perdas. Com a variação de rotação do motor é possível controlar a pressão e vazão no período noturno para minimizar as perdas de água nos vazamentos existentes de redes e ramais.

Procedimento 6: Quanto à pesquisa por geofone da rede de distribuição, pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e reparos executados.	As redes de distribuição de água são vistoriadas com frequência e pesquisadas com geofone?	Os ramais e cavaletes de água são vistoriados com frequência e pesquisados com haste de escuta?	Quando os vazamentos são encontrados, os reparos são executados com agilidade?	C=N D=N E=N	C=N D=N	C=N E=N	D=N E=N	C=S D=S E=S
	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar geofone para identificar possíveis vazamentos nas adutoras e redes de distribuição.	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar haste de escuta para identificar possíveis vazamentos nos ramais, pés de cavaletes, ligações clandestinas e torneiras.	Os reparos de vazamentos em reservatórios, redes, ramais e cavaletes devem ser executados com maior agilidade possível.	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar geofone para identificar possíveis vazamentos nas adutoras e redes de distribuição e também utilizar haste de escuta para identificar possíveis vazamentos nos ramais, pés de cavaletes, ligações clandestinas e torneiras. Além disso os reparos de vazamentos em reservatórios, redes, ramais e cavaletes, devem ser executados com maior agilidade possível.	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar geofone para identificar possíveis vazamentos nas adutoras e redes de distribuição e também utilizar haste de escuta para identificar possíveis vazamentos nos ramais, pés de cavaletes, ligações clandestinas e torneiras.	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar geofone para identificar possíveis vazamentos nas adutoras e redes de distribuição. Além disso os reparos de vazamentos em reservatórios, redes, ramais e cavaletes, devem ser executados com maior agilidade possível.	Recomenda-se vistoriar frequentemente e utilizar haste de escuta para identificar possíveis vazamentos nos ramais, pés de cavaletes, ligações clandestinas e torneiras. Além disso os reparos de vazamentos em reservatórios, redes, ramais e cavaletes, devem ser executados com maior agilidade possível.	Não há indícios de possíveis perdas de água com relação à pesquisa por geofone da rede de distribuição e pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e ainda quanto ao tempo de execução dos reparos.
	S	S	S					Não há indícios de possíveis perdas de água com relação à pesquisa por geofone da rede de distribuição e pesquisa por haste de escuta nos ramais e cavaletes e ainda quanto ao tempo de execução dos reparos.
Procedimento 7: Quanto à setorização (divisão das redes por setor) para redução de pressão e cadastro técnico de redes e ramais.	Há setorização (divisão das redes por setor) para medição e controle?	Há cadastro técnico das redes e ramais de água?			C e D			C=S D=S
	Recomenda-se analisar a criação de setores para redução de pressão nas redes e ramais, pois a existência de zonas de pressão e com pressões equalizadas, diminui o rompimento de redes e ramais, evitando o desperdício de água tratada.	Recomenda-se analisar a criação de um cadastro técnico para melhorar a confiabilidade e qualidade na manutenção no sistema de abastecimento de água.			Recomenda-se analisar a criação de setores para redução de pressão nas redes e ramais, pois a existência de zonas de pressão e com pressões equalizadas, diminui o rompimento de redes e ramais e também analisar a criação de um cadastro técnico para melhorar a confiabilidade e qualidade na manutenção no sistema de abastecimento de água.			Não há indícios de possíveis perdas de água pela falta de setorização e cadastro técnico das redes e ramais.
	S	N						Recomenda-se analisar a criação de um cadastro técnico para melhorar a confiabilidade e qualidade na manutenção no sistema de abastecimento de água.

Procedimento 8: Quanto à substituição de rede e ramais de água comprometidos.	As redes de água comprometidas com corrosão, excesso de remendos, ou incrustação são substituídas?	Os ramais de água comprometidos com corrosão, excesso de remendos, ou incrustação são substituídos?			C=N D=N			C=S D=S E=S
	Recomenda-se substituir os trechos da rede comprometida, por tubulação de materiais resistentes e de melhor durabilidade para que não haja o desperdício de água tratada.	Recomenda-se substituir os ramais por tubulação de materiais resistentes e de melhor durabilidade para que não haja o desperdício de água tratada.			Recomenda-se substituir os trechos da rede comprometida e os ramais, por tubulação de materiais resistentes e de melhor durabilidade para que não haja o desperdício de água tratada.			Não há indícios de possíveis perdas de água pela falta de substituição de redes e ramais comprometidos.
	S	S						Não há indícios de possíveis perdas de água pela falta de substituição de redes e ramais comprometidos.
Procedimento 9: Quanto ao Corte do fornecimento de água.	O corte do abastecimento de água é realizado pela falta de pagamento?	O corte do abastecimento de água é realizado se comprovado que está havendo fraude?			C=N D=N			C=S D=S
	Recomenda-se adotar medidas de corte para ligações que não efetuem o pagamento, para minimizar perdas de faturamento.	Recomenda-se adotar o corte das ligações com fraude comprovada, tanto no hidrômetro quanto em ligações clandestinas, para evitar perdas de faturamento.			Recomenda-se adotar medidas de corte para ligações que não efetuem o pagamento, para minimizar perdas de faturamento e adotar o corte das ligações com fraude comprovada, tanto no hidrômetro quanto em ligações clandestinas, para evitar perdas de faturamento.			Não há indícios de possíveis perdas de água por falta de corte do fornecimento de água devido a falta de pagamento e fraudes.
	S	S						Não há indícios de possíveis perdas de água por falta de corte do fornecimento de água devido a falta de pagamento e fraudes.
Procedimento 10: Quanto à pressão na rede de distribuição.	A pressão estática máxima é de até 50 m.c.a em todos os pontos da rede.	É verificada a pressão dinâmica mínima? (adotada 10 m.c.a como base para avaliação)			C=N D=N			C=S D=S
	A pressão estática máxima da rede em todos os pontos deve ser de até 50 mca para evitar aumento das perdas e rompimento da tubulação. Recomenda-se efetuar estudo técnico para analisar a divisão existente da rede em setores ou criar novo setor alimentado por reservatório em cota mais baixa ou por tubulação com válvula redutora de pressão.	A pressão dinâmica mínima medida nos diversos setores deve ser de 10 mca para garantir o mínimo de pressão para o abastecimento de água. Recomenda-se efetuar estudo técnico para melhoria da rede, analisando possíveis soluções como reforço dos diâmetros de trechos, modificação nos setores existentes ou criação de novo setor elevado com reservatório em cota adequada ou com pressurização em linha (booster) na alimentação do setor.			A pressão estática máxima da rede em todos os pontos deve ser de até 50 mca para evitar aumento das perdas e rompimento da tubulação. Recomenda-se efetuar estudo técnico para analisar a divisão existente da rede em setores ou criar novo setor alimentado por reservatório em cota mais baixa ou por tubulação com válvula redutora de pressão. A pressão dinâmica mínima medida nos diversos setores deve ser de 10 mca para garantir o mínimo de pressão para o abastecimento de água. Recomenda-se efetuar estudo técnico para melhoria da rede, analisando possíveis soluções como reforço dos diâmetros de trechos, modificação nos setores existentes ou criação de novo setor elevado com reservatório em cota adequada ou com pressurização em linha (booster) na alimentação do setor.			Não há indícios de possíveis perdas de água devido a pressão estática máxima, e garantia de abastecimento devido a manutenção da pressão dinâmica mínima.
	N	N						A pressão estática máxima da rede em todos os pontos deve ser de até 50 mca para evitar aumento das perdas e rompimento da tubulação. Recomenda-se efetuar estudo técnico para analisar a divisão existente da rede em setores ou criar novo setor alimentado por reservatório em cota mais baixa ou por tubulação com válvula redutora de pressão. A pressão dinâmica mínima medida nos diversos setores deve ser de 10 mca para garantir o mínimo de pressão para o abastecimento de água. Recomenda-se efetuar estudo técnico para melhoria da rede, analisando possíveis soluções como reforço dos diâmetros de trechos, modificação nos setores existentes ou criação de novo setor elevado com reservatório em cota adequada ou com pressurização em linha (booster) na alimentação do setor.