



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

ELIANE RODRIGUES

**DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE COMO FERRAMENTA PARA A
GESTÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO:
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PIRAJU/SP**

Palhoça

2022

ELIANE RODRIGUES

**DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE COMO FERRAMENTA PARA A
GESTÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO:
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PIRAJU/SP.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof. Silene Rebelo, Msc.

Coorientador: Eduardo Fernandes Pauly

Palhoça

2022

ELIANE RODRIGUES

**DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE COMO FERRAMENTA PARA A
GESTÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO:
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PIRAJU/SP.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheira ambiental e Sanitarista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 29 de junho de 2022.

Professora e orientadora Silene Rebelo, Msc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Engenheiro Eduardo Fernandes Pauly
SANOVA – Soluções para Gestão da Água

Prof. José Gabriel da Silva, Msc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico à Deus, por seu amor e bondade infinita.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida.

Aos meus pais, por todo amor, carinho, ensinamento e sustentabilidade financeira para que este momento chegasse.

À minha irmã Josiane, que desde sempre se fez presente na minha vida como mãe, me dando amor, conselho e incentivo para cursar alguma faculdade. E claro, a minha irmã Juliana, que sempre esteve ao meu lado, dando todo amor e carinho de uma irmã mais velha.

Ao meu namorado Daniel, por todo companheirismo, amor, cuidado e apoio durante esta caminhada, me motivando a ser uma pessoa melhor a cada dia.

A minha amiga e colega de profissão Marisa Pacheco, que sempre esteve ao meu lado apoiando e incentivando, não deixando com que eu desanimasse.

Aos meus colegas de faculdade, em especial, Isis Borchardt e Gabriel Lichtenfels, por toda troca de conhecimento, risadas e principalmente apoio nos momentos difíceis.

Aos colegas de profissão Alessandro Barreto, Débora Horn e Lucas Dalri que tive a oportunidade de conhece-los durante o estágio e que me ensinaram muitas coisas, as quais utilizei para realização deste trabalho. Desejo todo sucesso do mundo a vocês.

Aos Engenheiros, Guilherme Violato Girol e Manoel Carlos Solera, pela oportunidade de estágio em sua empresa SANOVA, a qual foi fundamental para meu desenvolvimento profissional adquirido até o presente momento.

Ao Engenheiro e coorientador Eduardo Fernandes Pauly, que desde quando comentei sobre este trabalho se colocou à disposição para me ajudar, me dando suporte técnico e ensinando muitas coisas.

À minha orientadora Silene Rabelo, por toda ajuda, motivação e carinho, me mostrando o quanto sou capaz.

À empresa SABESP e ao profissional Renaldo Nascimento, que permitiram a realização deste trabalho e forneceram todas as informações necessárias para a concretização deste estudo.

À UNISUL e aos professores que dividiram comigo todo seu conhecimento. Em especial, a professora Elisa Helena Siegel Moecke, Marina de Medeiros Machado e o professor José Gabriel da Silva, os quais tenho grande admiração e carinho.

E por fim, as demais pessoas que contribuíram de alguma forma para que este grande dia chegasse.

“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende e não há sucesso no que não se gerencia.” (William Edwards Deming, 1990 - 1993)

RESUMO

Atualmente, as perdas de água em sistemas de abastecimento representam um grande desafio para as empresas prestadoras de serviços de água no Brasil. O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) aponta que a evolução dos indicadores sobre perdas de água em sistemas de abastecimento nos últimos anos tem sido lenta, com índices de perdas na distribuição próximos dos 40% no país, evidenciando a necessidade nacional de maiores esforços para reduzir este índice. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo propor a implementação de Distritos de Medição e Controle (DMC) como ferramenta para auxiliar na gestão de perdas de água do sistema de abastecimento de água da cidade de Piraju/São Paulo. A definição dos DMCs foi realizada através do modelo hidráulico fornecido pela empresa SANOVA – Soluções para gestão da água, que foi utilizado como base para desenvolvimento deste estudo e através dos critérios de extensão de rede e número de ligações de água. A caracterização de cada DMC foi obtida através da *Flex Table* do *software* de modelagem *WaterGEMS*, que permite consultar a extensão de rede total de uma determinada área selecionada bem como o número de ligações. Em seguida, foram escolhidos indicadores de perdas de água através do glossário do SNIS e a sua representatividade para a gestão de perdas de água. Através da metodologia adotada, foram definidos 12 DMCs e 5 indicadores de perdas de água, que servirão de apoio para a prestadora de serviço de água de Piraju/SP identificar regiões com índice de perdas mais elevados e estabelecer estratégias mais sólidas para controlar e reduzir as perdas de água do sistema.

Palavras-chave: Perdas de água. Sistema de abastecimento de Água. Distrito de Medição e Controle.

ABSTRACT

Currently, water losses in supply systems represent a major challenge for water service companies in Brazil. The National Sanitation Information System (SNIS) points out that the evolution of indicators on water losses in supply systems in recent years has been slow, with loss rates in distribution close to 40% in the country, evidencing the national need for greater efforts to reduce this rate. In this context, the present work aims to propose the implementation of Measurement and Control Districts (DMC) as a tool to assist in the management of water losses in the water supply system of the city of Piraju/São Paulo. The definition of the DMCs was carried out through the hydraulic model provided by the company SANOVA – Soluções para Gestão da Água, which was used as a basis for the development of this study and through the criteria of network extension and number of water connections. The characterization of each DMC was obtained through the Flex Table of the WaterGEMS modeling software, which allows consulting the total network extension of a certain selected area as well as the number of connections. Then, water loss indicators were chosen through the SNIS glossary and their representativeness for water loss management. Through the adopted methodology, 12 DMCs and 5 water loss indicators were defined, which will serve as support for the water service provider of Piraju/SP to identify regions with higher loss rates and establish more solid strategies to control and reduce the system water losses.

Keywords: Water losses. Water supply system. District of Measurement and Control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes de um SAA.....	19
Figura 2 - Evolução do índice de perdas na distribuição do Brasil (%).	22
Figura 3 - Matriz do Balanço Hídrico da IWA.....	23
Figura 4 -Tipos de vazamentos e ações corretivas.	25
Figura 5 - Principais ações para o controle e redução das Perdas Reais.	27
Figura 6 - Síntese das ações para o controle e redução de perdas reais.	29
Figura 7 - Principais ações para o controle das Perdas Aparentes.	30
Figura 8 - Síntese das ações para o controle e redução de perdas aparentes.	31
Figura 9 - Distritos de Medição e Controle.	32
Figura 10 - Categorias de DMCs.....	33
Figura 11 - Localização da área de estudo.	41
Figura 12 - Modelo Hidráulico do SAA de Piraju.	43
Figura 13 - Ferramenta <i>Flex Table</i> utilizada para quantificar a extensão de rede dos DMCs.	44
Figura 14 - Ponto de captação de água bruta do SAA de Piraju/SP, 2014.....	47
Figura 15 - Adutora de água bruta de ferro fundido do SAA de Piraju/SP, 2014.....	48
Figura 16 - Vista da ETA do SAA de Piraju/SP, 2022.....	49
Figura 17 - Reservatório R-1 do SAA de Piraju/SP, 2022.	50
Figura 18 - Reservatório R-2 do SAA de Piraju/SP, 2022.	51
Figura 19 - DMCs existentes do SAA de Piraju.....	52
Figura 20 - Distritos de Medição e Controle propostos para o SAA de Piraju/SP.....	54
Figura 21 - Intervenções necessária para implantação do DMC 1 - Doreto.....	57
Figura 22 - Intervenções necessária para implantação do DMC 2 - Boa Vista.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização geral das perdas.	23
Quadro 2 - Indicadores de perdas da IWA.	37
Quadro 3 - Indicadores de Desempenho relativos às Perdas de Água.	38
Quadro 4 - Dados Gerais do Sistema de água de Piraju/SP.	46
Quadro 5 - Relação de indicadores de perdas de água para acompanhamento dos DMCs.	58
Quadro 6 - Valores de referência dos Indicadores de Perdas de Água.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Recomendações de diversos autores quanto ao número mínimo e máximo de ligações de água para um DMC.....	35
Tabela 2 - Características dos Distritos de Medição e Controle existentes.....	53
Tabela 3 - Caracterização dos DMCs através da extensão de rede e número de ligações de água.	55

LISTA DE SIGLAS

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AESBE – Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento
CCO – Centro de Controle Operacional
DMC – Distrito de Medição e Controle
ETA – Estação de Tratamento de Água
EEAT – Estação Elevatória de Água Tratada
EPAT – Estação Pressurizadora de Água Tratada
FUNASA – Fundação Nacional de Saúde
GPRS - *General Packet Radio Service* (Serviço de Rádio de Pacote Geral)
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID – Indicador de Desempenho
Iot – *Internet of Things* (Internet das Coisas)
IWA – *International Water Association*
ONU – Organização das Nações Unidas
PLANASA – Plano Nacional de Saneamento
PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico
SAA – Sistema de Abastecimento de Água
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
VRP – Válvula Redutora de Pressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	GERAL	16
2.2	ESPECÍFICOS	16
3	JUSTIFICATIVA	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1	IMPORTÂNCIA DA ÁGUA	18
4.2	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	19
4.3	PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	20
4.3.1	Perdas reais.....	24
4.3.2	Perdas aparentes	25
4.4	CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA	26
4.4.1	Ações para o controle de perdas reais	26
4.4.2	Ações para o controle de perdas aparentes.....	29
4.5	DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE	31
4.5.1	Critérios para implantação	34
4.5.2	Recomendações operacionais	35
4.6	INDICADORES DE PERDAS DE ÁGUA	36
4.7	MODELAGEM HIDRÁULICA.....	38
5	MATERIAS E MÉTODOS.....	41
5.1	APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA	42
5.3	DEFINIÇÃO DOS DMCS.....	42
5.3.1	Caracterização dos DMCs	43
5.4	INTERVENÇÕES NECESSÁRIA PARA A SETORIZAÇÃO DOS DMCS.....	44
5.5	INDICADORES DE PERDAS DE ÁGUA E METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	45
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
6.1	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA	46
6.1.1	DMCs existentes	51
6.2	DEFINIÇÃO DOS DMCS.....	53
6.2.1	Caracterização dos DMCs	55
6.3	INTERVENÇÕES NECESSÁRIAS PARA A SETORIZAÇÃO DOS DMCS.....	56

6.4	INDICADORES DE PERDAS DE ÁGUA E METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	58
7	CONCLUSÃO.....	62
7.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
	REFERÊNCIAS	64
	ANEXO A – Intervenções necessária para implantação do DMC 2.1 - R. Jardim Cristal	67
	ANEXO B – Intervenções necessária para implantação do DMC 3 - Jardim Ana Carolina	68
	ANEXO C – Intervenções necessária para implantação do DMC 4 – Vila Piratininga ..	69
	ANEXO D – Intervenções necessária para implantação do DMC 5 – Zona Baixa.....	70
	ANEXO E – Intervenções necessária para implantação do DMC 5.1 – R. Quebra de Pressão	71
	ANEXO F – Intervenções necessária para implantação do DMC 6 – Monte Belo	72
	ANEXO G – Intervenções necessária para implantação do DMC 7 – Alto da Bela Vista	73
	ANEXO H – Intervenções necessária para implantação do DMC 8 – Nosso Teto.....	74
	ANEXO I – Intervenções necessária para implantação do DMC 9 – R. José Martignoni	75
	ANEXO J – Intervenções necessária para implantação do DMC 9.1 – R. José Ribeiro .	76

1 INTRODUÇÃO

A importância da água para as atividades vitais do ser humano e para o desenvolvimento da sociedade é de conhecimento de todos. E ao mesmo tempo, sabe-se que com o crescimento acelerado da população a sua disponibilidade na natureza tem sido insuficiente para suprir a demanda requerida em muitas regiões do planeta, fenômeno este que vem preocupando as companhias de abastecimento de água (HELLER; PÁDUA, 2006).

Embora o Brasil seja um dos países com maior disponibilidade de recursos hídricos, sua distribuição ocorre de forma desigual no território e mais da metade se encontra localizada na região amazônica. Por conta disto, a situação de falta de água tende a ser ainda pior nas regiões mais secas e que não apresentam em seu território grande disponibilidade hídrica.

O aumento da demanda de água, aliado a redução da disponibilidade hídrica causada pela poluição ambiental e a má distribuição deste recurso no território brasileiro, representa hoje um grande desafio para as companhias de abastecimento de água, que precisam fornecer água com qualidade, regularidade e de forma acessível a população (AUGUSTO *et al.*, 2012). Garantir que seu sistema de abastecimento de água (SAA) possua o menor desperdício de água no processo produtivo e de distribuição, é um dos fatores mais importantes para assegurar que as gerações futuras possuam acesso a este recurso.

Para identificar este desperdício de água gerado nos sistemas de abastecimento, utiliza-se o índice de perdas na distribuição. Este índice é considerado mundialmente como um dos principais indicadores de desempenho operacional das empresas de saneamento, sendo amplamente utilizado para identificar a porcentagem de água perdida durante o processo de produção e distribuição de água.

As perdas de água são influenciadas por fatores relacionados a infraestrutura e operação dos sistemas, sendo diretamente relacionadas com as características das instalações, práticas de operação, nível de tecnologia aplicada aos sistemas e da experiência do corpo técnico envolvidos nos processos de gestão e controle em um SAA (BEZERRA; GOMES, 2013).

No Brasil, este índice encontra-se bastante alto. Segundo último relatório publicado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2020 o índice de perdas de água médio brasileiro foi de 40,1%, representando a região norte o maior valor, chegando em 51,2%.

Mediante a complexidade dos sistemas de abastecimento, a gestão das perdas de água não é tão simples de ser realizada. Com o objetivo de facilitar as ações a serem tomadas para controlar e reduzir as perdas, divide-se o sistema em áreas menores e mais gerenciáveis,

conhecidas no saneamento como Distritos de Medição e Controle (DMC). A ABNT NBR 12.218/2017 define o Distrito de Medição e Controle como área delimitável e isolável, que permite a gestão do sistema por meio do monitoramento, medição e controle de vazões e/ou pressões, permitindo definir indicadores operacionais, avaliar e controlar perdas.

Embora a implantação de DMCs seja relativamente recente, trata-se de uma prática internacionalmente aceita como uma das mais eficientes para controlar e reduzir as perdas de água em sistemas de abastecimento, pois norteia as ações a serem tomadas através da análise e identificação de problemas (SOUZA JÚNIOR, 2015).

Portanto, o presente trabalho possui como objetivo propor Distritos de Medição e Controle para o SAA da cidade de Piraju/ São Paulo, como uma ferramenta para auxiliar na gestão das perdas de água. Através dos DMCs a companhia responsável pela gestão do sistema de distribuição de água da cidade poderá analisar e acompanhar os indicadores de perdas de água de forma individual para cada DMC, fornecendo subsídios e informações mais específicas de cada local para traçar as estratégias necessárias para reduzir as perdas de água do SAA.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Propor Distritos de Medição e Controle como ferramenta para auxiliar na gestão de perdas de água do sistema de abastecimento de água da cidade de Piraju/São Paulo.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar o sistema de abastecimento de água da cidade em estudo;
- Definir os Distritos de Medição e Controle;
- Identificar as intervenções necessárias para setorização dos DMCs;
- Definir indicadores de perdas de água e metodologia de cálculo para cada DMC.

3 JUSTIFICATIVA

Analisando o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS, 2020), o principal problema enfrentado pelas empresas de saneamento no Brasil refere-se ao elevado índice de perdas de água. De acordo com o SNIS (2020), os SAA do Brasil perdem em média 40,1% do volume de água distribuído em relação à água captada, sendo fundamental a adoção de estratégias para reduzir e controlar as perdas de água, principalmente em regiões em que existe escassez e conflitos pelo seu uso.

Sobre a visão econômica, as perdas de água geram desperdício dos recursos públicos, o que normalmente é repassado para o usuário. Com a redução das perdas de água os custos com produção de água, reservação e distribuição diminuiria através da redução de gastos energéticos, produtos químicos para o tratamento da água, mão de obra, entre outros, permitindo o melhor aproveitamento do sistema existente para aumentar a oferta de água (PEREIRA, 2016).

Mas não é só a questão econômica que deve ser levada em consideração. Sobre o ponto de vista ambiental, as perdas de água carregam consigo o desperdício de um recurso natural importantíssimo para manutenção e qualidade da vida, a água. Quanto maior o volume de água requerido pelo sistema, conseqüentemente maior será a exploração dos recursos hídricos para suprir a necessidade da sociedade.

Portanto, este trabalho justifica-se pela importância de reduzir as perdas de água em sistemas de abastecimento através da aplicação de ferramentas e/ou tecnologias que auxiliem a gestão das perdas de água.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA

A água, um recurso natural e essencial para a vida e as atividades humanas, tornou-se ao longo dos últimos anos um dos temas principais de discussão. De um lado, nem todas as pessoas possuem acesso a água potável, por outro, os níveis de desperdício e poluição são crescentes (SOBRINHO; BORJA, 2016).

Segundo a GO Associados (2021), cerca de 35 milhões de brasileiros não possuem acesso a água tratada, e os mananciais vem sendo alvo de intensa exploração e degradação. Foi através da sua importância para os povos do mundo, que a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu o acesso a água potável um direito humano essencial, fundamental e universal, indispensável à vida. Com a crescente demanda por água para os diversos usos e a intensificação da degradação ambiental, fizeram emergir no Brasil uma série de ações para adoção de tecnologias e práticas para o uso racional da água e controle de perdas em sistema de abastecimento de água (SOBRINHO; BORJA, 2016).

Reduzir as perdas de água em sistemas públicos de abastecimento não é apenas uma questão econômico-financeira, ela é, principalmente, fator de sustentabilidade ambiental e está diretamente associada à otimização do uso de um recurso natural finito e de acesso restrito. De toda água presente no planeta Terra, estima-se que 97,5% é água salgada ou não adequada ao consumo humano e o maior volume de água doce está localizado em áreas de difícil acesso. O Brasil apesar de ser privilegiado por possuir cerca de 12,0% da água doce do Planeta possui sua distribuição desigual no território. Há enorme disponibilidade na macrorregião Norte, onde vive a menor parcela da população, e no Sudeste e Nordeste, com cerca de 69,0% da população, dispõem de menos de 10,0% do volume disponível para consumo (SNIS, 2020).

Além da importância da água doce para o consumo humano, dela também dependem atividades como irrigação agrícola e produção industrial, dentre outras. Porém, a concentração de atividades humanas nas regiões metropolitanas, aliada à incapacidade dos governos, nos remete a cenários de riscos ambientais urbanos e rurais que comprometem a disponibilidade hídrica à população. De modo geral, a degradação, desperdício e a má gestão dos recursos hídricos comprometem o objetivo de assegurar a atual e as futuras gerações o acesso a água potável de forma suficiente, segura e economicamente acessível para as atividades humana (CONFERÊNCIA DE BERLIM, 2004 *apud* SILVA e GONÇALVES, 2016).

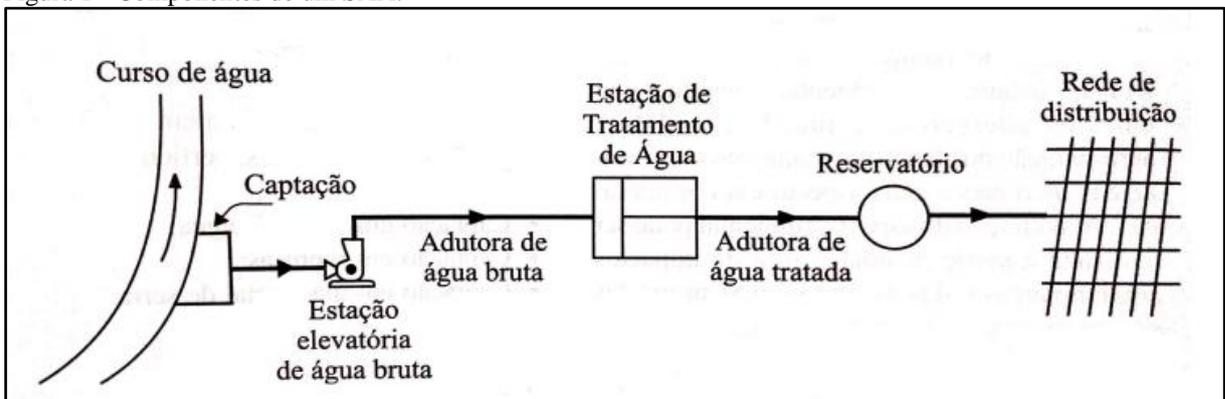
4.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Uma das principais preocupações e prioridades da população é o atendimento por abastecimento de água em quantidade e qualidade, devido a importância que representa para saúde da população e desenvolvimento econômico da sociedade (SOBRINHO; MARTINS, 2006).

Desde que as pessoas passaram a ter atividades agrícolas e criar animais, a necessidade de água para atender as necessidades da população fez com que as primeiras obras visando o abastecimento de água fossem construídas. As primeiras obras com sucesso para controlar o fluxo de água foram feitas na Mesopotâmia e no Egito, onde ruínas de canais e irrigação pré-históricas ainda existem (SOBRINHO; MARTINS, 2006).

Os sistemas de abastecimento de água são caracterizados por um conjunto de obras, instalações, equipamentos e serviços hidráulicos, destinado a produzir e distribuir água a uma comunidade em quantidade, qualidade e regularidade (FUNASA, 2006 *apud* MENESES, 2011).

Figura 1 - Componentes de um SAA.



Fonte: MARTINS e SOBRINHO (2006).

De acordo com Sobrinho e Martins (2006) e conforme apresentado na Figura 1, o sistema de abastecimento de água é composto pelas seguintes unidades:

- **Manancial:** é um corpo de água superficial ou subterrâneo, onde é realizado a captação de água para abastecimento da população. Este deve fornecer vazão para atender a demanda de água requerida durante a operação do sistema e a sua qualidade deve ser adequada do ponto de vista sanitário.
- **Captação:** Conjunto de estruturas e dispositivos localizados próximos ao manancial responsável pela retirada de água destinada ao sistema de abastecimento de água.

- Estação elevatória: Conjunto de obras e equipamentos que podem ser utilizados na captação, adução, tratamento e distribuição, destinados a deslocar a água para níveis mais baixos ou altos.
- Adutora: Tubulação que se destina ao transporte de água para as unidades que antecedem a rede de distribuição do sistema. As adutoras não distribuem água aos consumidores, mas fazem o papel de interligar a captação, estação de tratamento de água e reservatórios.
- Estação de tratamento de água: Apesar da água retirada dos mananciais ter que atender os parâmetros de qualidade sanitário para sua captação, há ainda a necessidade de torná-la potável para consumo humano. As estações de tratamento são estruturas destinadas ao tratamento da água recebida dos mananciais, através de processos físicos, químicos e biológicos para atender aos padrões de potabilidade.
- Reservatório: O reservatório é um dos principais elementos do sistema de distribuição de água, possui a função de prevenir possíveis irregularidades garantindo o fornecimento de água sem interrupção, destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.
- Rede de distribuição de água: as redes de distribuição de água são constituídas por órgãos acessórios e tubulações responsáveis por destinar a água potável da estação de tratamento até os consumidores, em quantidade, qualidade e pressão adequada, de acordo com os parâmetros estabelecidos na norma.

4.3 PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

As perdas de água em sistemas de abastecimento podem ser entendidas como todo o volume de água perdido/desperdiçado entre os processos de captação, adução, tratamento e distribuição que não chega ao consumidor final, ou seja, que não é contabilizada/medida. (ABES, 2015).

As perdas acontecem em todas as etapas de distribuição de água, desde a captação até a distribuição aos consumidores finais, porém a maior porcentagem de perda de água acontece na fase de tratamento até a chegada para consumo, ou seja, nas redes de distribuição. Segundo Melato (2010) até os países mais desenvolvidos que apresentam um controle mais rigoroso apresentam parcelas de perdas de água, pois tecnicamente é impossível obter um sistema com perdas nulas devido a complexidade dos SAA.

Bezerra (2013, *apud* SANTOS, 2018) afirma que diversos são os fatores que influenciam as perdas de água em um sistema de abastecimento, relacionados com a infraestrutura e a operação dos sistemas. Como por exemplo, características da rede de distribuição (idade, material, diâmetro), práticas de operação e o nível de tecnologia disponível no sistema.

Para Tardelli Filho (2006), a conscientização do problema de perdas, o conhecimento de técnicas e o envolvimento de todos os profissionais da companhia, são considerados fundamentais para reverter a preocupante situação que ocorre na grande maioria dos sistemas de abastecimento de água, com perdas de água elevadas e uma imagem negativa perante seus clientes.

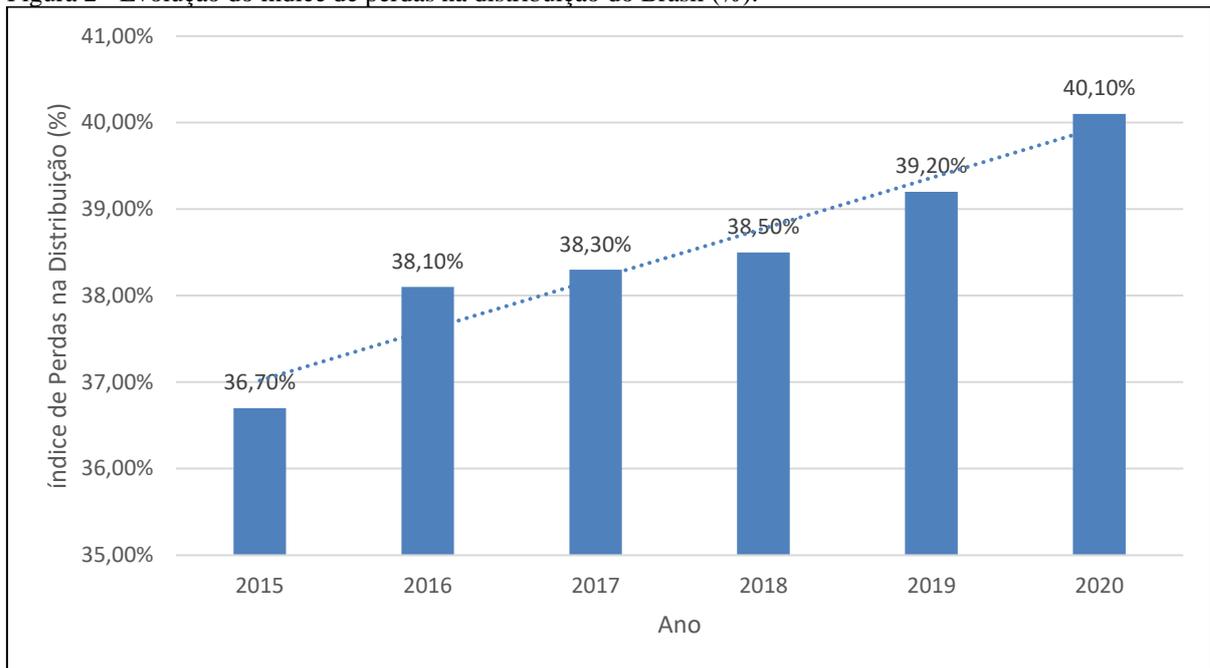
Do ponto de vista operacional, o nível de perdas de água constitui um índice relevante para medir a eficiência dos prestadores de serviços no processo de distribuição, planejamento, investimentos e manutenção dos sistemas de água (GO ASSOCIADOS, 2020). Sistemas com elevado índice de perdas, podem exigir frequentes interrupções no abastecimento, comprometendo a qualidade dos serviços (ALMANDOZ *et al.*, 2005 *apud* BIASUTTI, 2016).

No aspecto econômico, Sobrinho e Borja (2016) afirmam que as perdas de água nos sistemas de abastecimento geram um grande desperdício dos recursos públicos, sendo conseqüentemente repassados aos usuários, portanto a diminuição dos gastos provenientes das perdas poderia proporcionar as companhias um melhor aproveitamento do sistema e direcionaria a aplicação dos recursos economizados para melhorias necessárias.

Vicentini (2012) afirma que no caso do Brasil, somente no final de década de 70 começaram a surgir as primeiras iniciativas por parte do Governo Federal para o combate as perdas, através da criação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA). As principais ações deste plano foram em micromedição, pitometria e pesquisa de vazamentos.

O PLANASA obteve resultados expressivos com relação ao índice de abastecimento total de água, elevando a cobertura de 50,4% para 87,5% em apenas 15 anos (MONTEIRO, 1993 *apud* DALRI, 2020). Porém, como pode ser observado na Figura 2, o índice de perdas de água na distribuição no Brasil não acompanhou esse resultado, demonstrando uma tendência de crescimento ano após ano, evidenciando a necessidade nacional de maiores esforços para reduzir estes índices.

Figura 2 - Evolução do índice de perdas na distribuição do Brasil (%).



Fonte: SNIS (2020).

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) (2015), até final do século XX não havia ainda um entendimento comum sobre o que eram as “perdas”, que por consequência da desuniformização dos conceitos impossibilitava a avaliação e comparação dos indicadores de perdas entre os sistemas de abastecimento de água. Mediante isto, a *International Water Association* - IWA propôs uma padronização mundial da terminologia, conceitos e indicadores de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água, conhecida como a matriz do balanço hídrico.

De acordo com a matriz do balanço hídrico proposto pela IWA, as perdas de água são classificadas de acordo com a sua natureza, em reais (físicas) e aparentes (Comerciais). A primeira, refere-se ao volume de água perdido durante a etapa de produção, captação, tratamento, armazenamento e distribuição – antes de chegar ao consumidor. Já as perdas aparentes, correspondem ao volume de água consumido, mas não autorizados e nem faturados.

A Figura 3 apresenta a matriz do Balanço Hídrico nos moldes da IWA.

Figura 3 - Matriz do Balanço Hídrico da IWA.

VOLUME PRODUZIDO OU DISPONIBILIZADO	CONSUMOS AUTORIZADOS	Consumos Autorizados Faturados	Consumos medidos faturados (inclui água exportada)	ÁGUAS FATURADAS
			Consumos não medidos faturados (estimados)	
	CONSUMOS AUTORIZADOS NÃO FATURADOS	Consumos Autorizados Não Faturados	Consumos medidos não faturados (usos próprios, caminhões-pipa)	ÁGUAS NÃO FATURADAS
			Consumos não medidos não faturados (combate a incêndios, suprimento de água em áreas irregulares)	
	PERDAS	Perdas Aparentes (Comerciais)		Consumos não autorizados (fraudes)
				Falhas do sistema comercial
				Submedição dos hidrômetros
		Perdas Reais (Físicas)		Vazamentos nas adutoras e redes de distribuição
				Vazamentos nos ramais prediais
				Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios setoriais e aquedutos

Fonte: Adaptado de ABES (2016).

Já o Quadro 1 apresenta as características gerais das perdas reais e aparentes.

Quadro 1 - Caracterização geral das perdas.

ITEM	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Tipo de ocorrência mais comum	Vazamento.	Erro de medição.
Custos associados ao volume de água perdido	Custos de produção de água tratada.	Valor cobrado no varejo do consumidor.
Efeito no meio ambiente	Desperdício de recursos naturais; Maiores Impactos ambientais devido à necessidade de ampliação das explorações dos mananciais.	Não é relevante.
Efeito na saúde pública	Riscos de contaminação	Não é relevante
Ponto de vista empresarial	Perda de produto "industrializado".	Perda elevada de receita.
Ponto de vista do consumidor	Imagem negativa da empresa, associada ao desperdício e ineficiência.	Não é uma preocupação imediata.
Efeitos finais no consumidor	Repasse de custos à tarifa; Desincentivo ao uso racional da água.	Repasse de custos à tarifa; Incitamento ao roubo e fraudes.

Fonte: TSUTIYA (2013) *apud* DALRI (2020).

4.3.1 Perdas reais

As perdas reais, também conhecida como perdas físicas, representam toda água perdida no interior do sistema de abastecimento de água através de vazamentos ou extravasamentos, antes da chegada da água até o consumidor, representando a ineficiência de reservatórios, redes, válvulas, conexões e ramais domiciliares do sistema (AESBE, 2015).

Segundo Costa (2009), as principais causas apontadas para a ocorrência de vazamentos são: pressões elevadas; variações bruscas de pressão; manobras de redes e reparo que geram transientes hidráulicos; má qualidade na execução das obras e escolha de materiais; falhas na operação do sistema; deficiências ou erros de projeto; mão de obra desqualificada; utilização de equipamentos inadequados; mudança no tipo de tráfego existente; ligações clandestinas, entre outros.

Tardelli Filho (2006), menciona que a água perdida nos sistemas de abastecimento de água através dos vazamentos carrega consigo despesas provenientes dos processos de produção de água (tratamento) e ao transporte.

Além dos custos gerados à companhia, Tardelli Filho (2006) descreve sobre dois pontos de extrema importância relacionados com as perdas reais:

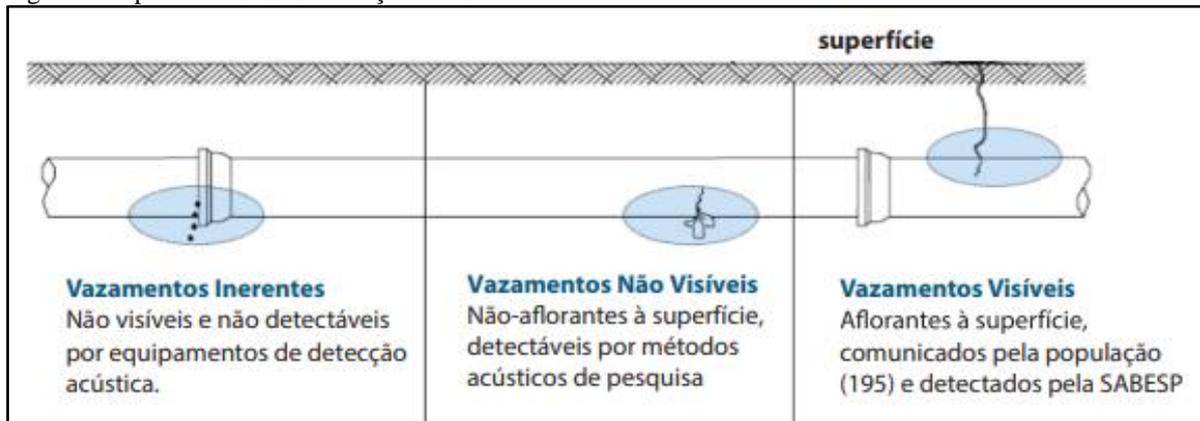
- a) Um é a conservação dos recursos naturais, pois o principal elemento perdido é a água, por isto, quanto menores forem as perdas no sistema, menor será a necessidade de explorar e ampliar as captações de água, reduzindo os impactos ambientais causados pela exploração dos mananciais.
- b) Outro refere-se à saúde pública, a existência de vazamentos pode ocasionar a depressurização do sistema através de rupturas na rede de abastecimento, que facilita a contaminação da água através da entrada de agentes nocivos.

Segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) (2001, *apud* DE CARVALHO *et al.*, 2004), os vazamentos de água que ocorrem nos sistemas de abastecimento de água e que compõe as perdas reais, podem ser considerados como:

- Vazamentos Inerentes: Não são visíveis, apresentam baixa pressão, não afloram a superfície e não são detectáveis por métodos acústicos de pesquisa;
- Vazamentos Não Visíveis: Não são aflorantes a superfície, possuem magnitude considerável e podem ser detectados por métodos acústicos de pesquisa;
- Vazamentos Visíveis: Afloram a superfície e por serem mais facilmente detectados, geralmente pela população, são reparados rapidamente.

A Figura 4 apresenta os tipos de vazamentos e as ações corretivas.

Figura 4 -Tipos de vazamentos e ações corretivas.



Fonte: FUNASA (2014).

4.3.2 Perdas aparentes

As perdas aparentes correspondem ao volume de água distribuído, consumido mas não contabilizado pela companhia de saneamento devido a presença de ligações clandestinas, roubo ou uso ilegal (água retirada das válvulas de descarga das adutoras), fraude nos hidrômetros, erros de leitura dos hidrômetros (micromedição) e falhas no cadastro comercial (cadastro desatualizado, ligação não cadastrada, etc) (CHEUNG; BEZERRA, 2013).

Em comparação com as perdas reais, as perdas aparentes apresentam um efeito negativo muito maior sobre o orçamento das companhias, pois, além do custo gerado para a produção da água, perde-se todo o valor agregado a água que foi entregue ao consumidor (CHEUNG; BEZERRA, 2013)

Portanto, um elevado índice de perdas aparentes reduz a capacidade financeira da prestadora de serviço e, conseqüentemente, diminui os recursos disponíveis para investir em melhorias do sistema, qualidade dos serviços e manutenção, uma vez que o custo de produção e distribuição da água não foi faturado pela concessionária (GO ASSOCIADOS, 2015).

De acordo com Cheung e Bezerra (2013), as perdas aparentes ocorrem principalmente das seguintes formas:

- Erro de medição (submedição): é considerada uma das principais causas de perdas aparentes nas companhias de abastecimento de água. A existência de um parque de hidrômetro com uma ampla variedade de tamanho, tipo, classe, aliada a variação de padrões de consumo existentes nos sistemas, dificulta a correta especificação dos medidores pelos profissionais.
- Erros cadastrais: apesar de serem considerados pouco significativos na somatória das perdas aparentes, podem ainda gerar impacto no faturamento através de erros cometidos

durante o processo de cadastro. Os principais motivos que ocasionam erros no manuseio da conta dos clientes são: alteração no banco de dados das empresas, clientes que consomem água temporariamente sem registros de faturamento, erro de leituras dos medidores, erro humano na análise de dados e do faturamento e desatualização do cadastro dos clientes.

- Consumo não autorizado: ocorrem através consumidores que buscam consumir água sem pagar pelo seu uso. Dentre as causas mais comuns do consumo não autorizado, temos as ligações clandestinas, uso proibido de água nos pontos de descarga e hidrantes distribuídos ao longo do sistema de distribuição.

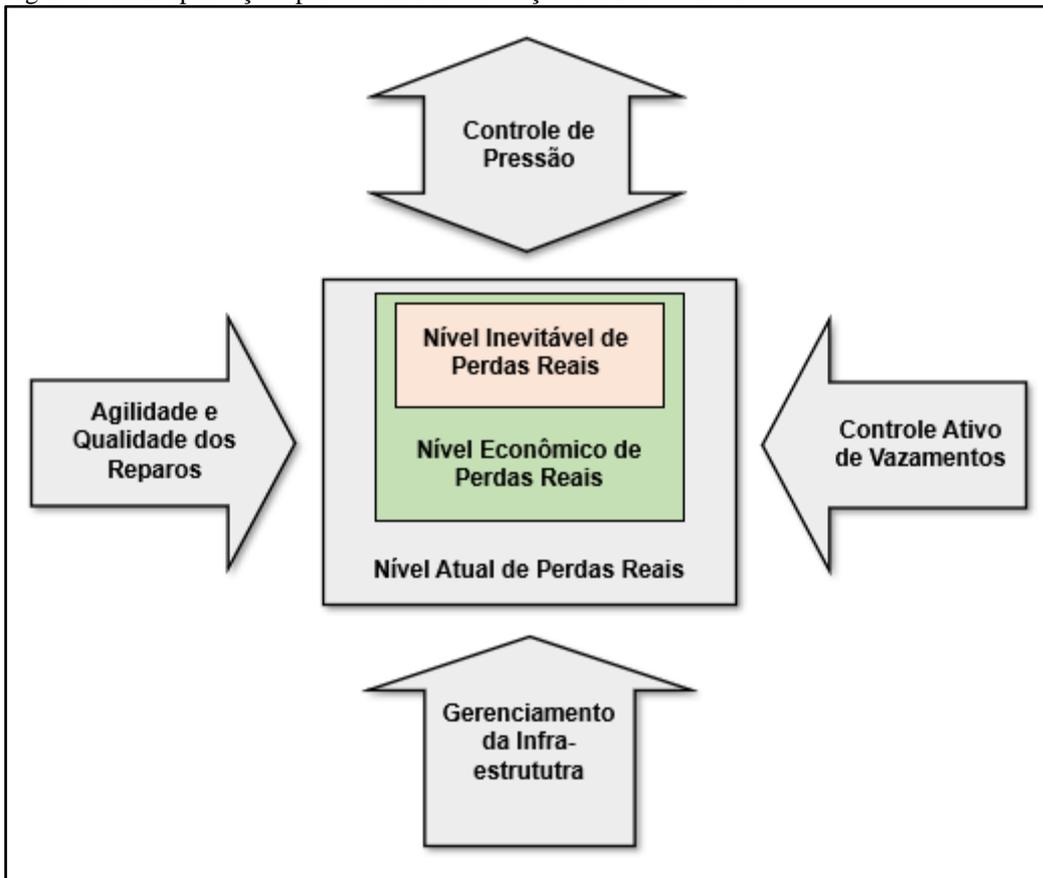
4.4 CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA

4.4.1 Ações para o controle de perdas reais

Segundo Werdine (2002, *apud* GONÇALVES, 2018), a redução das perdas reais permite a diminuição com custos de produção através da redução dos custos com energia, produtos químicos, entre outros, sendo possível utilizar as instalações já existentes para aumentar a oferta de água, sem que seja necessário a expansão do sistema.

O diagrama apresentado na Figura 5 mostra as principais ações a serem implantadas em um programa de controle e redução de Perdas Reais.

Figura 5 - Principais ações para o controle e redução das Perdas Reais.



Fonte: Adaptado de MELATO (2010).

De acordo com Tsutiya (2006), o Nível Atual de Perdas Reais, representado pelo quadrado maior ao centro da Figura 5, apresenta dois níveis de perdas: o “Nível econômico de Perdas Reais” e as “Perdas Reais Inevitáveis”. A área remanescente entre o nível atual de perdas e o nível referencial das Perdas Reais Inevitáveis, representa o volume de perdas potencial a ser recuperado através de ações para combate e redução das perdas. As setas direcionadas ao quadrado do centro representam as ações mínimas e necessárias de um programa de controle e redução de perdas. Segundo Melato (2010), para obter uma redução efetiva das perdas, as ações devem ocorrer de forma simultânea, de modo a comprimir o quadrado maior “Nível existente de Perdas Reais” até que se consiga chegar no “Nível econômico de Perdas Reais”.

Melato (2010) também cita sobre outro aspecto a ser observado através da Figura 5, é que uma ação se contrapõe à outra axialmente. Analisando-se primeiramente o eixo horizontal, o controle ativo de vazamentos só será eficaz na redução das perdas reais se estiver associado à agilidade e qualidade dos reparos dos vazamentos. Da mesma forma, no eixo vertical, um controle de pressão eficaz precisa estar vinculado ao gerenciamento da infraestrutura.

O Controle de Pressão possui por objetivo adequar as pressões em valores compatíveis com a boa operação do sistema, para evitar altas pressões e variações bruscas, mas sem deixar

de garantir as pressões mínimas de atendimento aos consumidores. Para o controle das pressões, as soluções mais utilizadas são a instalação de válvulas redutoras de pressão (VRP), que visam diminuir a pressão na rede ou a instalação de Boosters que permitem elevar as pressões nos pontos mais altos. Também são utilizados o rebaixamento do nível operacional dos reservatórios, instalação de reservatórios de quebra de pressão ou a modificação da pressão de saída das bombas através dos inversores de frequência, que visam regular as pressões através do consumo do sistema (ABES, 2015).

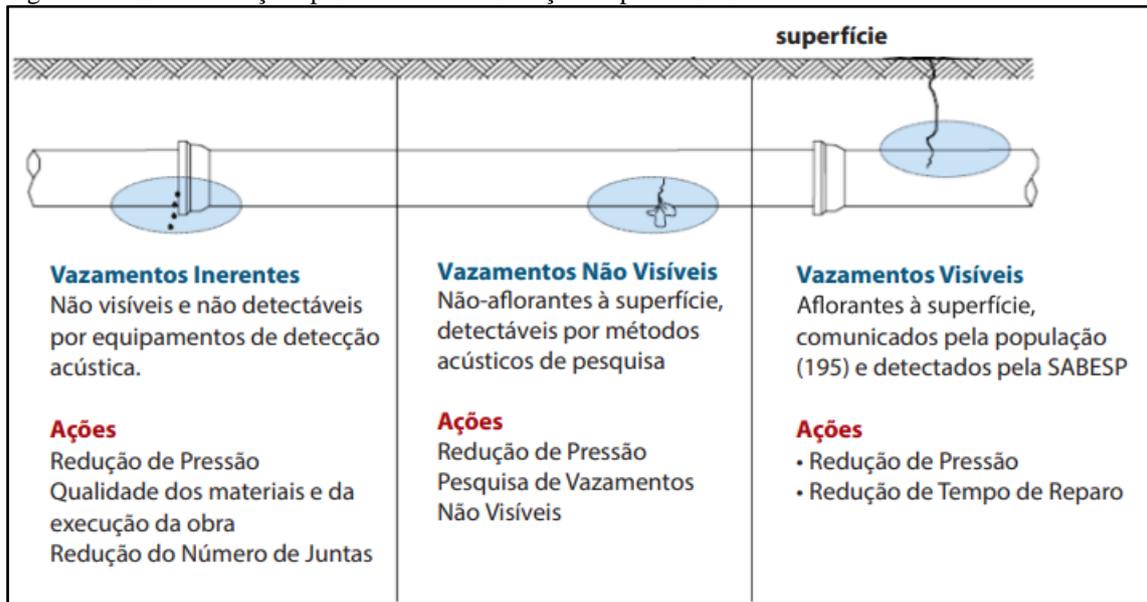
O Controle Ativo de Vazamentos representa uma ação sistemática que possui como objetivo localizar os vazamentos não-visíveis, ou seja, antes de aflorar, através de métodos acústicos de pesquisa e repará-lo (TSUTIYA, 2006).

Tsutiya (2006) explica que a Agilidade no Reparo dos Vazamento refere-se à redução do tempo entre o conhecimento/localização do vazamento e o efetivo serviço para consertar o vazamento, seja visível ou não-visível. Além da agilidade no reparo, outro fator importante diz respeito a qualidade dos equipamentos/materiais e a experiência dos profissionais para executar os reparos, pois sem isso os vazamentos retornam e desperdiçam os esforços promovidos para reduzir as perdas.

A Melhoria da Condição da Infraestrutura está diretamente ligada ao conhecimento das condições das redes de distribuição existentes (idade, materiais, manutenção, instalações de equipamentos de controle, treinamento, entre outros), de modo que permita o direcionamento dos recursos para onde seja necessário (MELATO, 2010).

A Figura 6 apresenta as ações mais importantes e efetivas para o controle e redução das perdas reais para os três tipos de vazamentos existentes.

Figura 6 - Síntese das ações para o controle e redução de perdas reais.



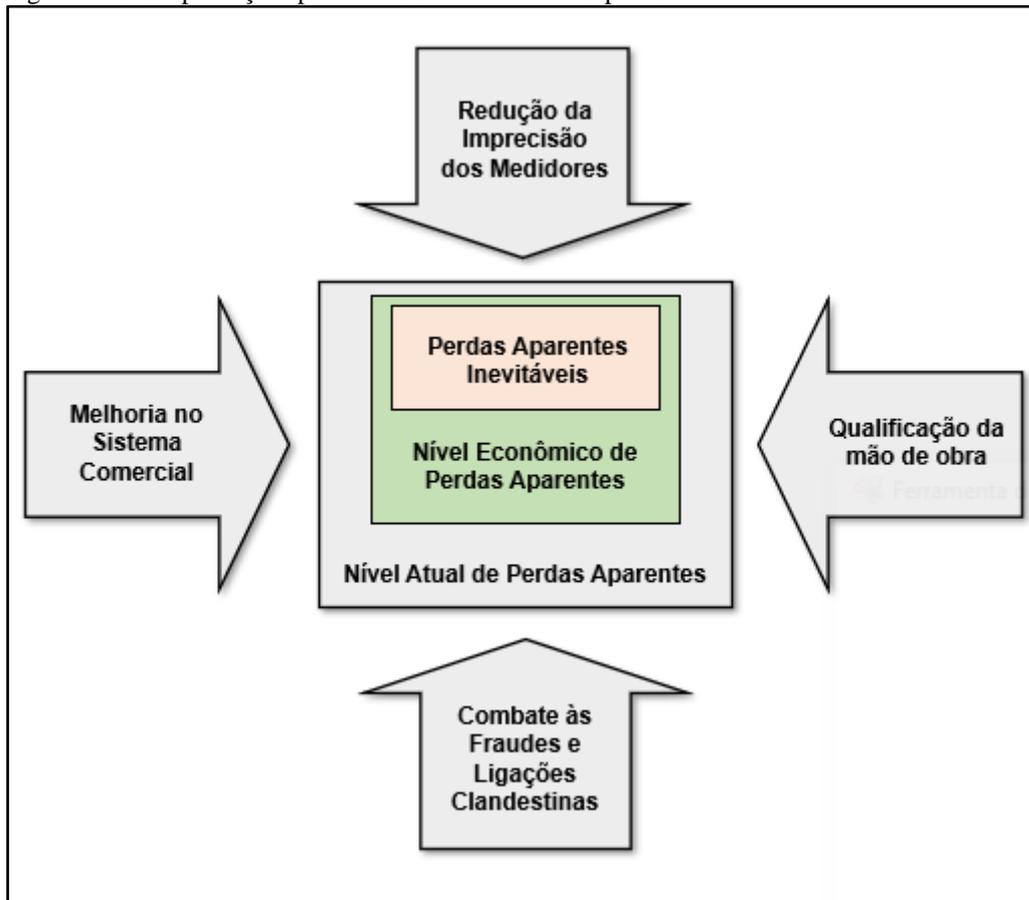
Fonte: FUNASA (2014).

4.4.2 Ações para o controle de perdas aparentes

Diversas são as ações para controle e redução das perdas, porém as condições do sistema definirão quais as melhores alternativas para compor um programa para reduzir as perdas em níveis aceitáveis.

Da mesma forma que o controle de perdas reais, as perdas aparentes também possuem um diagrama similar, composto por quatro ações necessárias para um eficiente Controle das Perdas Aparentes, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Principais ações para o controle das Perdas Aparentes.



Fonte: Adaptado de MELATO (2010).

Segundo Melato (2010) é importante ressaltar que a redução das perdas aparentes possui um impacto financeiro significativo, pois aumenta o volume micromedido, que por consequência aumenta o faturamento da empresa.

Assim como as perdas reais, o quadrado mais interno da Figura 7 representa as perdas aparentes inevitáveis, o quadro intermediário representa o nível econômico de perdas aparentes e o quadro externo representa o nível atual de perdas aparentes.

A redução da imprecisão dos medidores envolve ações tanto para melhoria da macromedição, como a micromedição, tendo como principais ações o correto dimensionamento dos equipamentos de medição (hidrômetros e macromedidores), calibração periódica dos mesmos, leitura correta, troca corretiva (quando necessário) e a troca preventiva no decorrer da sua vida útil (MELATO, 2010).

De acordo com Melato (2010), a Qualificação da mão-de-obra envolve a seleção e o treinamentos dos profissionais responsáveis pela leitura dos medidores, gestão comercial, e a instalação, calibração e manutenção dos medidores, de modo a reduzir erros.

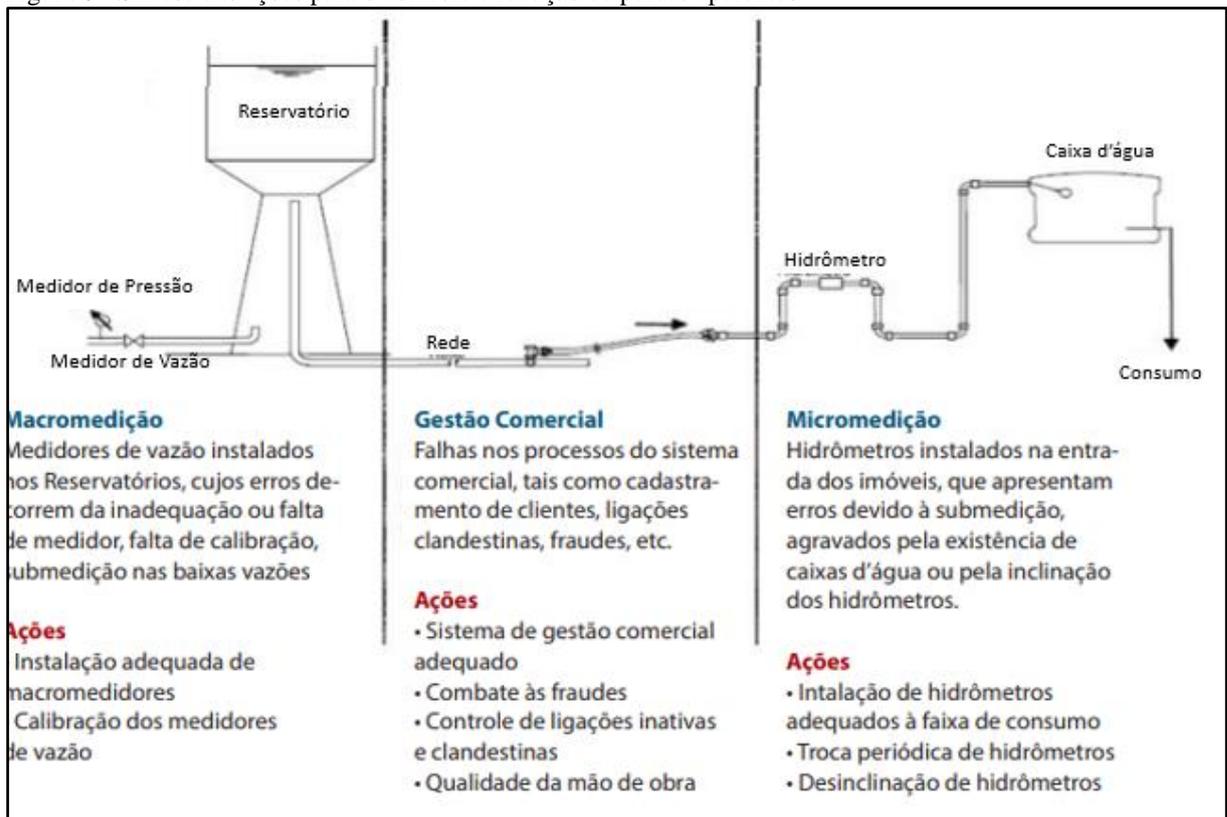
O Combate às fraudes e Ligações Clandestinas está ligado a fiscalizações nas ligações suspeitas e medidas de coibição dessa prática. Geralmente o levantamento de uma possível

fraude é obtida a partir de denúncias da população, através dos leituristas de hidrômetros e análise do histórico de consumo. Melato (2010) ressalta que as fraudes podem ocorrer tanto em ligações ativas como inativas.

E as Melhorias no Sistema Comercial diz respeito ao aperfeiçoamento do sistema de gestão comercial, principalmente no cadastramento de novas ligações, atentando-se sempre a categoria da ligação (residencial, comercial, industrial ou pública), pois cada categoria apresenta tarifas de água diferentes, e na apuração dos consumos dos clientes. Outro ponto importante, refere-se ao processo de corte das ligações de água, pois se a companhia não possui constância neste processo mensalmente, os consumidores tendem a consumir água sem pagar, uma vez que a companhia não executa os cortes (MELATO, 2010).

A Figura 8 apresenta as principais ações para o controle e redução das perdas aparentes.

Figura 8 - Síntese das ações para o controle e redução de perdas aparentes.



Fonte: TARDELLI FILHO (2006).

4.5 DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE

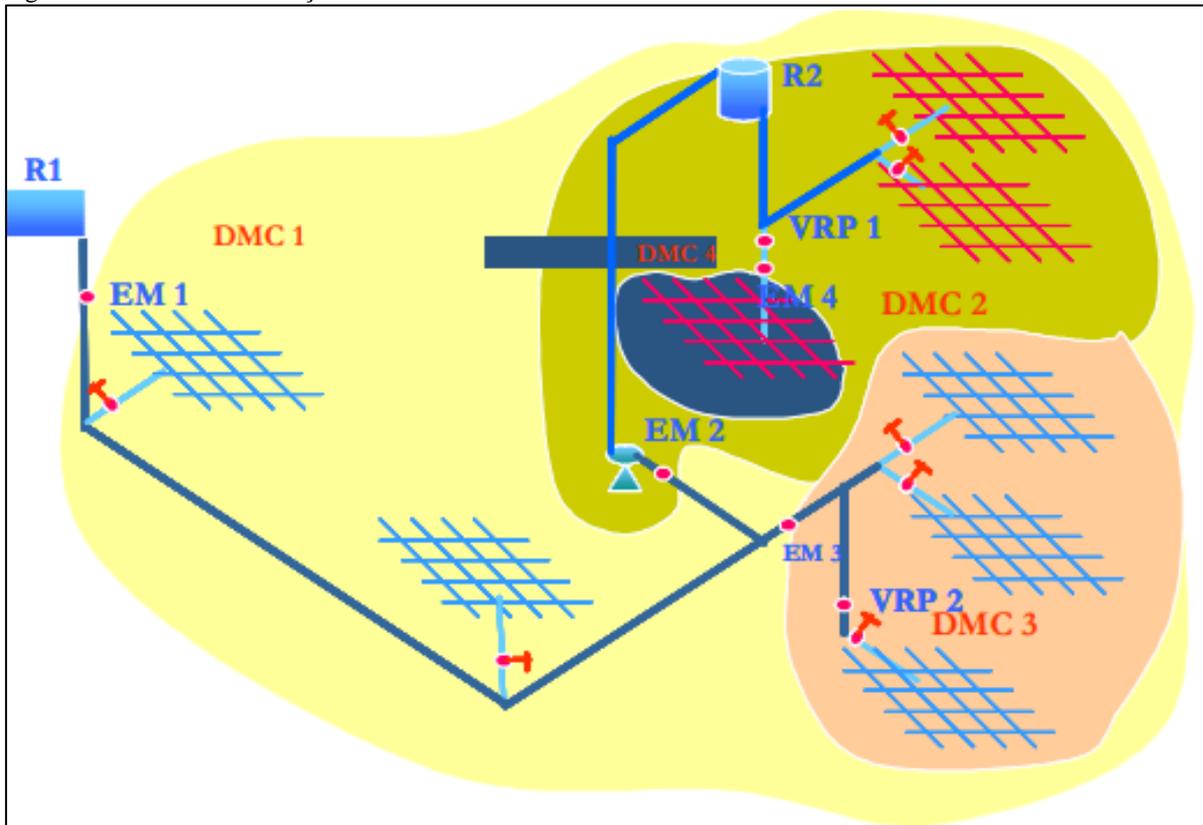
A ABNT NBR 12.218/2017 define os Distritos de Medição e Controle (DMCs) como áreas delimitadas e isoladas, que possibilitam a gestão do sistema por meio do monitoramento,

medição e controle de vazões e/ou pressões, permitindo definir indicadores operacionais, avaliar e controlar perdas.

Os Distritos de Medição e Controle são áreas de medição e controle perfeitamente delimitadas e isoladas, sendo possível fragmentar um setor de abastecimento de água em diversos DMCs desde que as condições de distribuição ofereçam a possibilidade de fragmentação sem prejuízo ao abastecimento (MOTTA, 2010).

A Figura 9 apresenta uma rede de distribuição de água dividida em áreas menores e isoladas, com uma entrada de água conhecida e associada a um medidor de vazão e pressão. Na Figura, os setores de controle representam os Distritos de Medição e Controle e as “EMs” são os pontos de medição.

Figura 9 - Distritos de Medição e Controle.



Fonte: COPASA (2005).

Para Tardelli Filho (2006), o controle e redução das pressões em áreas de maior porte são pouco eficazes, pois, a quantidade de variáveis que interferem nos resultados das ações de controle não permite a distinção clara dos resultados de cada ação. Para o controle de perdas de água, quanto maior o conhecimento de uma determinada área, melhores serão os resultados e mais eficazes serão as ações adotadas no combate as perdas.

Segundo Farley *et al.* (2008), dividir um sistema de abastecimento de água em distritos de medição e controle, que são áreas menores e mais gerenciáveis, é aceito internacionalmente

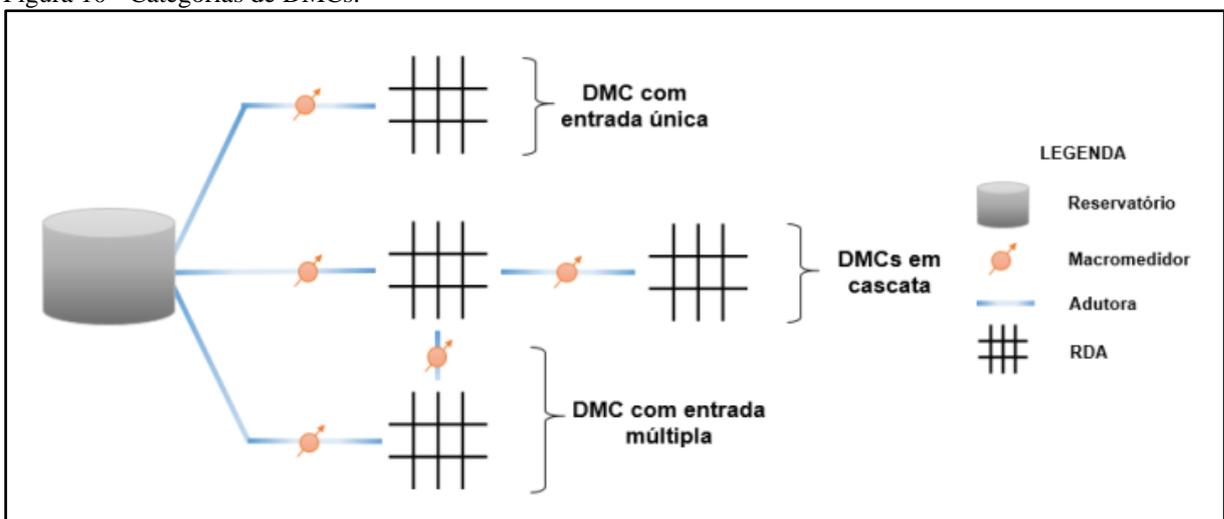
como uma das melhores ações para redução das perdas de água, pois facilita a análise das pressões e vazões e permite a identificação de problemas.

De acordo com Klingel e Knobloch (2011, *apud* MOLL, 2019), os DMCs podem ser categorizados de três maneiras distintas, conforme a posição do medidor de vazão:

- Entrada única, este permite a obtenção da vazão de forma direta;
- Entrada múltipla, exige a soma das vazões de todos os macromedidores envolvidos;
- Entrada em cascata, necessita a subtração do medidor a jusante.

As três categorias de distritos de medição e controle podem ser observadas na Figura 10.

Figura 10 - Categorias de DMCs.



Fonte: MOLL (2019).

Após a implantação dos DMCs, é possível realizar o gerenciamento das perdas de água através do monitoramento das pressões e vazões. O gerenciamento das pressões possibilita, com sua redução, a diminuição das perdas e a medição das vazões permite identificar áreas com níveis elevados de vazamentos (JÚNIOR, 2015).

Segundo Ministério do Desenvolvimento Regional (2018), a gestão operacional realizada através de DMCs é a estratégia mais eficaz para combater e reduzir as perdas de água, pois possibilita:

- Reduzir o tempo de conhecimento dos vazamentos, possibilitando uma ação imediata;
- Integrar as ações de combate a perdas reais e aparentes e de mobilização comunitária;
- Quantificar as perdas reais e aparentes com segurança;
- Evitar a dispersão de poucos recursos em áreas enormes de monitoramento precário;
- Monitorar e acompanhar os resultados detalhadamente e permanentemente;
- O DMC permite a modelagem *Bottom Up* para conhecimento direto do volume de perdas reais além da calibração do modelo hídrico *Top Down*;

- Melhorar a gestão da infraestrutura, pois se trata de uma área menor e monitorada.

4.5.1 Critérios para implantação

A concepção dos DMCs é algo muito individual e dependerá da experiência do profissional, sendo muito improvável que duas pessoas trabalhando em um mesmo projeto apresentem a mesma ideia de configuração de DMCs para um determinado sistema. Porém, para criar um DMC, os engenheiros devem seguir um conjunto de critérios, que devem ser testados em campo ou através de um modelo hidráulico (FARLEY et al., 2008).

A ABNT NBR 12.218/2017 recomenda que o DMC ao ser definido deverá apresentar no mínimo um dos critérios abaixo, com o objetivo de proporcionar controle e eficiência:

- Máximo 5 mil ligações de água;
- Extensão máxima de 25 km de rede no DMC;

A norma ainda faz uma ressalva sobre áreas com características diferentes a essas apresentadas, sendo que serão somente aceitas pela operadora se justificada sua viabilidade tecnicamente.

Além destes critérios, a ABNT NBR 12.218/2017 apresenta as seguintes recomendações:

- O processo de delimitação deve minimizar os custos de instalação e manutenção do sistema;
- O seccionamento das redes limítrofes, evitando-se ao máximo manter ou instalar válvulas de fechamento;
- O abastecimento do DMC deve ser feito pelo menor número de pontos possíveis;
- O DMC deve ser equipado com medidores de vazão em todas as entradas e saídas;
- E o DMC deve ser subdividido em setores de manobra.

Segundo Gomes (2011, *apud* BROGNOLI, 2018), as estações elevatórias, boosters, válvulas redutoras de pressão (VRP's) e reservatórios de pequena capacidade podem ser utilizados para a implantação dos DMCs. Ele também comenta a necessidade de avaliar locais que apresentam comportamento hidráulico, padrões de consumo, estado de conservação e parâmetros de qualidade da água semelhantes para o estabelecimento dos DMCs.

De acordo com Morrison *et al.* (2007, *apud* GOMES, 2011), o tamanho de cada DMC irá impactar sobre seu custo de implantação, pois quanto menor for a área de abrangência de um DMC maior será seu custo para implantação, mediante a necessidade de um número maior de medidores de vazão, válvulas e intervenções necessárias para garantir a estanqueidade do

DMC, além dos custos posteriores com manutenção. São diversas as opiniões sobre os tamanhos ideais de DMCs porém na prática sempre haverá uma variação significativa do tamanho, pois isto dependerá intrinsecamente da configuração do sistema existente (LAMBERT e TAYLOR, 2010 *apud* GOMES, 2011).

A Tabela 1 apresenta as recomendações de diversos autores relativo ao número mínimo e máximo de ligações de água para um DMC.

Tabela 1 - Recomendações de diversos autores quanto ao número mínimo e máximo de ligações de água para um DMC.

Fonte	Mínimo	Máximo
Morrison et al. (2007)	500	3.000
Farley et al. (2008)	1.000	2.500
Sabesp (2008)	500	2.500
Thornton et al. (2008)	1.000	5.000
Lambert & Taylor (2010)	500	3.000
EPA (2010)	1.500	2.000
Gomes (2011)	500	3.000
Média	786	3.000

Fonte: SOUZA JÚNIOR (2014) *apud* BROGNOLI (2018).

4.5.2 Recomendações operacionais

Para cada DMC proposto, seja ele abastecido por gravidade, bombeamento ou em áreas de VRP's deve ser instalado na sua entrada um medidor de vazão capaz de quantificar o volume disponibilizado, ou seja, os volumes de água que entraram no DMC. Através desse volume de entrada será possível realizar um comparativo entre os volumes micromedidos (volume consumido através dos clientes), para obter o volume de água perdido (GOMES, 2011 *apud* SOUZA JÚNIOR, 2014).

Farley (2001, *apud* MOTTA, 2010) afirma que o sucesso do monitoramento das perdas em distritos de medição e controle depende da sua estanqueidade. Para isso recomenda-se a realização do teste de “estanqueidade zero”.

Esse teste consiste em fechar todas as entradas de água do DMC, garantindo que o DMC seja abastecido por uma única entrada. A seguir instalam-se medidores de pressão em pontos estratégicos do sistema (próximo as divisas de setores, entrada do DMC, pontos baixos e pontos altos do distrito). Em seguida, fecha-se a rede responsável pelo abastecimento do DMC e realiza-se a análise das pressões nos medidores até que se atinja o valor “zero”. Caso não se atinjam pressões “zero”, é possível que ainda esteja ocorrendo a passagem de água por alguma

das entradas, portanto, deve-se verificar válvula a válvula, qual o ponto de passagem ou investigar através das medições de pressões redes que não estão cadastradas (MOTTA, 2010).

E por fim, parte-se para as ações corretivas (fechamento de válvula, substituição de válvulas danificadas, instalação de novas válvulas, etc). Somente após atingir-se a estanqueidade “zero” é que se configura um Distrito de Medição e Controle (FARLEY, 2001 *apud* MOTTA, 2010).

Após realizar as ações necessárias para configurar os DMCs, é necessário que seja realizado o monitoramento e controle das variáveis aferidas pelo equipamento de medição (macromedidor). Este acompanhamento pode ser realizado através da implantação de um sistema de telemetria. A telemetria nada mais é do que um equipamento instalado no macromedidor, capaz de registrar e transmitir os dados aferidos para uma estação receptora da telemetria. Essa transferência de dados pode ser realizada através de rádio transmissor, uma antena, *General Packet Radio Service* (GPRS) (em português, Serviço de Rádio de Pacote Geral), *Internet of Things* (IoT) (em português, Internet das Coisas), entre outros.

Após a implantação do sistema de telemetria, é fundamental um Centro de Controle Operacional (CCO), em que todas as informações coletadas através do sistema de telemetria estejam integradas em um único local, além de necessário o treinamento dos profissionais da companhia para interpretação dos dados transmitidas através da telemetria. Através da implantação de uma telemetria e um CCO, será possível analisar a operação do SAA, permitindo a identificação de problemas no abastecimento com sua rápida resolução, e principalmente, na gestão das perdas de água através de análises de vazão, pressão, nível de reservatórios, etc.

4.6 INDICADORES DE PERDAS DE ÁGUA

Os indicadores de desempenho (ID) são instrumentos utilizados para dar apoio ao monitoramento da eficiência e eficácia de uma entidade gestora. A eficiência mede até que ponto os recursos são utilizados, para a produção do serviço, enquanto a eficácia mensura até que ponto os objetivos de gestão são cumpridos (GOMES, 2019).

Para Tardelli Filho (2004), os IDs permitem retratar a situação atual das perdas, gerenciar a evolução dos volumes perdidos, redirecionar as ações de controle e comparar sistemas de abastecimento de água distintos. Portanto, servem para conhecer o índice atual das perdas, definir as metas de onde deseja-se chegar e para medir o desempenho ao longo do tempo, sendo fundamental o seu cálculo periódico.

Através dos indicadores é possível identificar os pontos fortes e fracos dos sistemas, fornecendo informações importantes para a tomada de decisões e monitoramento das ações. Já para a administração nacional e regional, os indicadores fornecem um quadro de referência comum para os operadores, servindo de apoio para a formulação de políticas e programas para o setor, contribuindo para os interesses dos consumidores (MIRANDA, 2002).

De acordo com Gomes (2019), os IDs são utilizados como instrumentos de avaliação que envolvem aspectos econômicos e operacionais, sendo sua maior qualidade o fornecimento de valores numéricos que permitem os técnicos dispor de informações claras, concisas e simples sobre o desempenho de um SAA.

Porém, para que o resultado obtido através dos cálculos desses indicadores apresente certa confiabilidade é necessário que seja realizada uma padronização, de modo que permita a comparação entre os dados de diferentes sistemas. Foi através dessa importância que a *International Water Association* (IWA) publicou em 2000 o guia técnico “*Performance indicators for water supply services*” (em português, Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água), definindo uma metodologia a ser seguida para o cálculo desses indicadores.

A segunda edição do manual da IWA, publicada em 2006, apresenta um grupo de dez indicadores de perdas de água agrupados em três categorias: econômico e financeiros, operacional e recurso hídrico (ALEGRE *et al.*, 2006 *apud* BIASUTTI, 2016).

O Quadro 2 apresenta os indicadores de perdas de água propostos pela IWA.

Quadro 2 - Indicadores de perdas da IWA.

Grupo	Nomenclatura	Código	Unidades
Econômico e Financeiro	Água não faturada por volume	Fi46	%
	Água não faturada por custo	Fi47	%
Operacional	Perdas de água (Total)	Op23	m ³ /lig/ano
		Op24	m ³ /Km/dia
	Perdas aparentes	Op25	%
		Op26	%
	Perdas reais	Op27	L/lig/dia
		Op28	L/Km/dia
Índice de vazamento na infraestrutura	Op29	Adimensional	
Recurso Hídrico	Ineficiência de utilização dos recursos hídricos	WR1	%

Fonte: Autora, 2022.

A nível nacional, o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), criado em 1994, publica anualmente informações enviadas pelas companhias de saneamento de todo o país dados relativos à sua operação, representados pelos indicadores de desempenho. Os principais indicadores do SNIS relacionados à gestão de perdas de água são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Indicadores de Desempenho relativos às Perdas de Água.

Código	Indicadores de Desempenho	Unidade
IN009	Índice de Hidrometração	%
IN010	Índice de Micromedição relativo ao Volume Disponibilizado	%
IN013	Índice de Perdas de Faturamento	%
IN014	Consumo Micromedido por Economia	m ³ /mês/economia
IN022	Consumo Médio Per Capita de Água	litros/hab.dia
IN025	Volume de água disponibilizado por economia	m ³ /mês/economia
IN049	Índice de Perdas da Distribuição	%
IN050	Índice Bruto de Perdas Lineares	m ³ /dia/km
IN051	Índice de Perdas por Ligação	litros/ligação/dia
IN052	Índice de Consumo de Água	%
IN053	Consumo Médio de Água por Economia	m ³ /mês/economia

Fonte: Adaptado de SNIS (2018).

4.7 MODELAGEM HIDRÁULICA

O conhecimento da eficiência dos sistemas de abastecimento e as decisões a serem tomadas com o objetivo de aumentá-la, dependem do conhecimento e controle da operação do sistema como um todo. Por muito tempo o controle operacional dos sistemas era feito pelas empresas de saneamento através de equipamentos de comunicação, de controle e principalmente por meio de mão-de-obra encarregada do serviço (GOMES, 2019).

Porém, devido à complexidade dos sistemas de abastecimento de água, nos últimos anos ferramentas computacionais vêm sendo aplicadas, cada vez mais, para representarem os sistemas físicos e fornecerem subsídios para auxiliar nas tomadas de decisão, objetivando a melhoria da eficiência dos sistemas. Essas ferramentas computacionais são conhecidas como modelos matemáticos de simulação, que representam o sistema de abastecimento como um todo e simulam sua operação ao longo do tempo (GOMES, 2019).

Para Pizzo e Luvizotto (2004), os modelos matemáticos de simulação são ferramentas capazes de reproduzir, através de um computador, o comportamento de um sistema físico, com elevado grau de precisão.

Palo (2010), afirma que um modelo matemático é capaz de representar simplificada a realidade, apresentando um cenário baseado em informações coletadas em campo. Também comenta que os modelos permitem análises de sensibilidade rápidas e eficazes através da simulação dos cenários mais variados, sem a necessidade de interferir no sistema ou arriscá-lo a modos de operação desconhecidos.

De acordo com Coelho *et al.* (2006), os modelos de simulação hidráulica são muito utilizados e conceituados no campo de projetos e de diagnósticos do funcionamento de sistemas de abastecimento de água, sendo, portanto, uma ferramenta importante ao discernimento e experiência dos profissionais envolvidos. Ele ainda destaca as utilizações mais comuns dos modelos de simulação hidráulica:

- Permitem o dimensionamento dos sistemas da forma mais eficaz, através da análise das topologias, escolhas de diâmetros e materiais, reservação necessária e instalações de elevatórias.
- Apoio à elaboração de planos de desenvolvimento estratégico, com recurso à simulação das grandes opções, em escala não detalhada, mas com projeções no tempo, sobretudo das solicitações (consumos);
- Reabilitação de sistemas deficientes e a programação das intervenções com redução dos impactos aos consumidores;
- Apoio a setorização dos sistemas, através das análises de viabilidade e impacto da criação dos setores;
- Auxílio no programa de controle e redução de perdas de água, através de análises para redução das pressões.

Segundo Gomes (2013 *apud* DALRI, 2020), a modelagem hidráulica pode ajudar na gestão de um SAA, através das análises de alternativas que influenciam na qualidade do abastecimento, redução das perdas e no aumento da eficiência energética.

Cunha e Pinto (2014), comentam que a utilização destes modelos visa o aumento na qualidade dos serviços prestados pelas concessionárias, auxiliando na designação mais correta de recursos financeiros, além do aumento na segurança da operação e ajuda no planejamento e gestão dos sistemas de distribuição de água.

Portanto, pode-se afirmar, que os modelos de simulação hidráulica fornecem subsídios importantes que podem ser utilizados na tomada de decisões referentes à manutenção e funcionamento do sistema, com o objetivo de aprimorar seu funcionamento, sendo indispensáveis para um bom gerenciamento.

5 MATERIAS E MÉTODOS

5.1 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

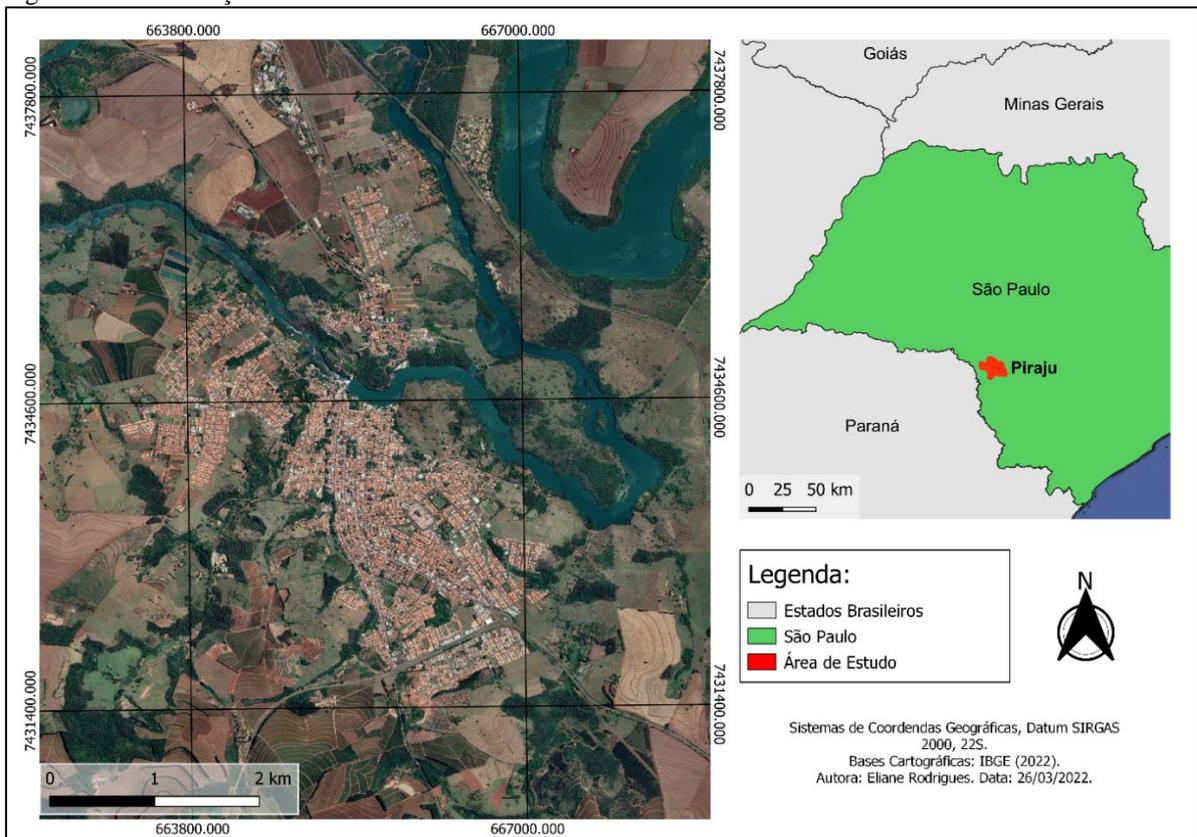
O Sistema de Abastecimento de Água em estudo refere-se ao município de Piraju, localizado na região sudoeste do Estado de São Paulo na região do Vale do Paranapanema, próximo à divisa do Estado do Paraná.

Os municípios que fazem divisa com Piraju são: Sarutaiá, Bernardino de Campos e Manduri. Piraju se situa a 40 km a Sul-Leste de Santa Cruz do Rio Pardo, a maior cidade nos arredores. A uma altitude de 563 metros, Piraju tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 23° 11' 39" Sul, Longitude: 49° 23' 5" Oeste.

O município se estende por uma área de 504,5 km² e possui para 2021, população estimada de 29.930 habitantes, com densidade demográfica de 56,44 hab/km², dados levantados pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

A Figura 11 apresenta o mapa de localização da região em estudo.

Figura 11 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autora, 2022.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

Para caracterização do sistema de abastecimento de água de Piraju, foram coletadas informações no Plano Municipal de Saneamento da cidade, através da empresa Sabesp e o SNIS.

A empresa Sanova, responsável pelo projeto de modelagem hidráulica do sistema de abastecimento de água de Piraju, forneceu o modelo hidráulico construído para realização deste trabalho, que serviu de base para definição dos DMCs.

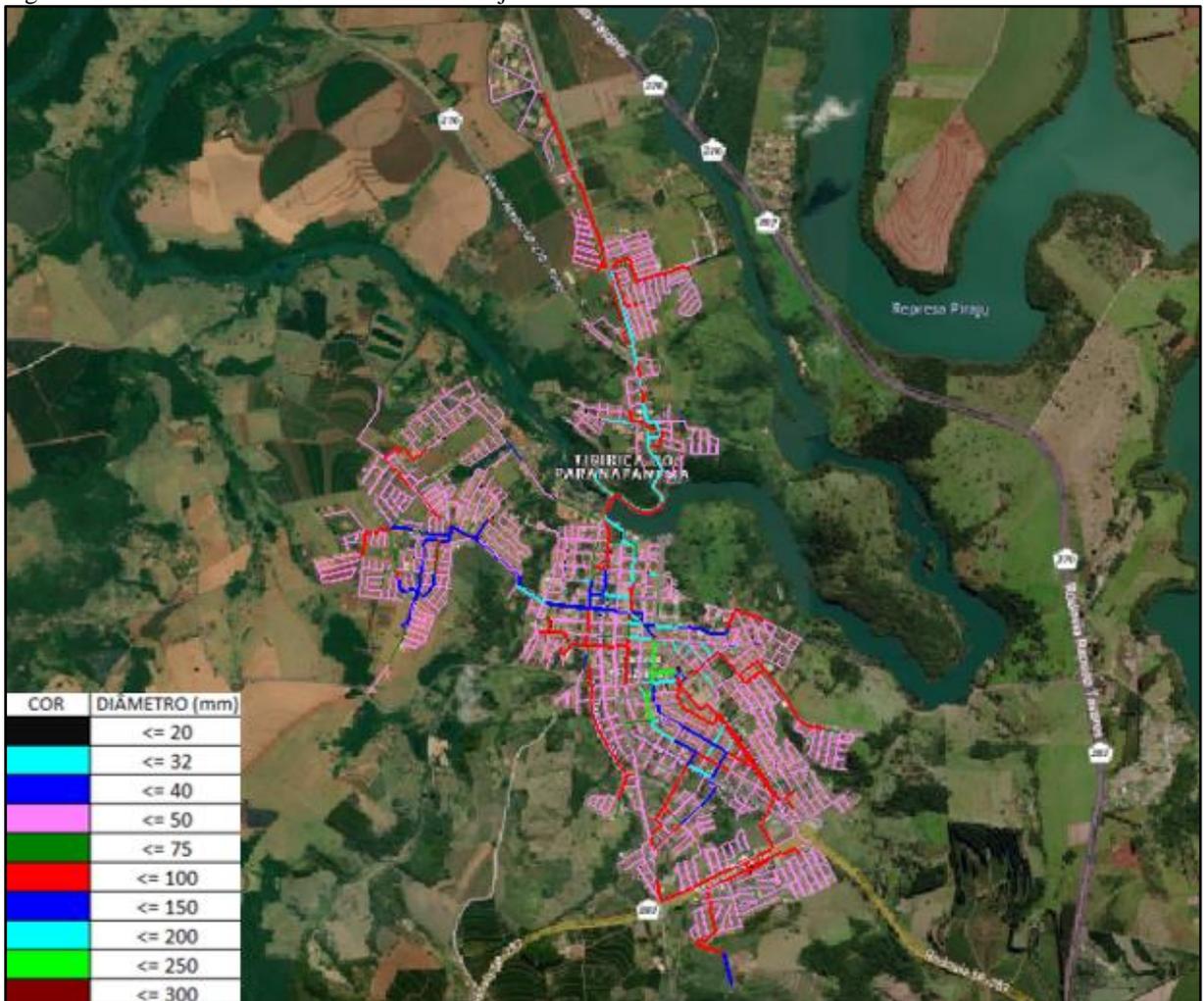
5.3 DEFINIÇÃO DOS DMCS

A delimitação dos Distritos de Medição e Controle do sistema de abastecimento de água de Piraju foi realizada através do modelo hidráulico do SAA de Piraju construído no software de modelagem *WaterGEMS* pela empresa de consultoria Sanova. O modelo hidráulico abrange o traçado das redes de distribuição, discriminando seus respectivos diâmetros e materiais das tubulações e os elementos do sistema: reservatórios, bombas, registros, válvulas redutoras de pressão, ligações de água georreferenciadas, etc.

O modelo hidráulico foi construído seguindo as seguintes etapas: levantamento de dados referentes ao sistema, redesenho do cadastro de redes numa base georreferenciada (GIS), importação dos dados para dentro do *software* de modelagem e validação do modelo hidráulico com a equipe local da Sabesp.

A Figura 12 apresenta o cadastro do sistema de abastecimento de água de Piraju/SP dentro do *software* de modelagem *WaterGEMS*, mais conhecido como modelo hidráulico.

Figura 12 - Modelo Hidráulico do SAA de Piraju.



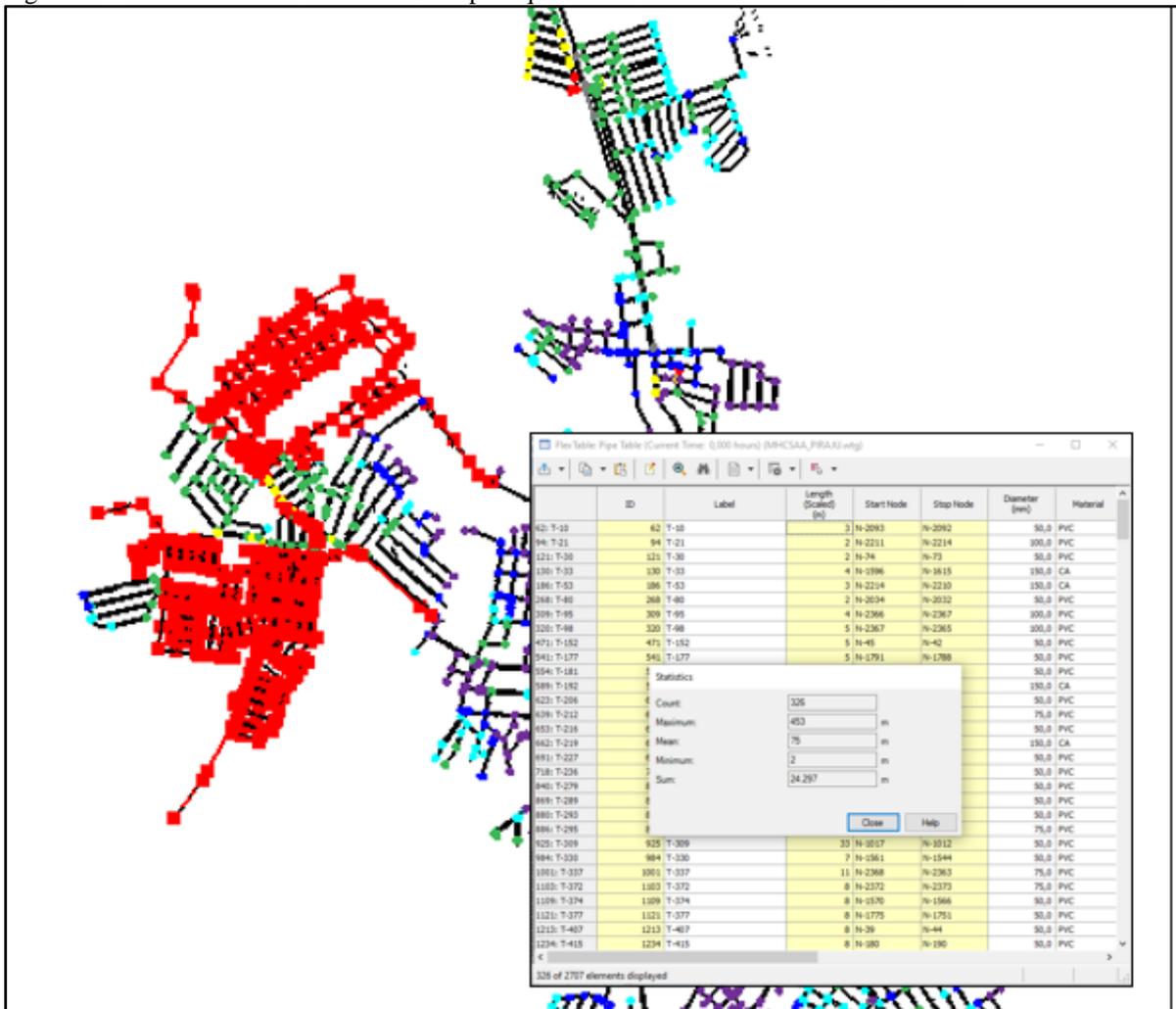
Fonte: Autora (2022).

Através do modelo hidráulico, foi possível compreender o funcionamento do sistema e visualizar a forma como o sistema encontra-se dividido. Mediante esta análise, foram definidos os Distritos de Medição e Controle, seguindo os critérios apresentadas no Tópico 4.5.1 da revisão bibliográfica deste trabalho.

5.3.1 Caracterização dos DMCs

Em paralelo com a delimitação dos DMCs, foram levantadas informações referentes a extensão de rede e a quantidade de ligações de água dos DMCs. A extensão de rede de cada DMC foi obtida através da seleção da área de abrangência de cada DMC juntamente com a tabela de atributo das tubulações, conhecida no software *WaterGEMS* como *Flex Table*, que permite consultar a extensão de rede de qualquer região selecionada, conforme demonstrado na Figura 13.

Figura 13 - Ferramenta *Flex Table* utilizada para quantificar a extensão de rede dos DMCs.



Fonte: Autora (2022).

Para obter o número de ligações utilizou-se a seleção das redes de cada DMC juntamente com a ferramenta *Find Associated Customer Meters* do *Watergems*, que permite vincular os consumos georreferenciados inseridos no modelo hidráulico com as tubulações de cada DMC. Através da seleção das ligações realizadas utilizou-se também a ferramenta *Flex Table* para consultar a quantidade de ramais em cada DMC.

5.4 INTERVENÇÕES NECESSÁRIA PARA A SETORIZAÇÃO DOS DMCs

Para configurar um DMC, sua área deverá possuir uma única entrada de água e sua área não deverá haver influência de abastecimento de outros DMCs, uma vez que o DMC sofrerá variações de pressões e vazões de outro local, dificultando as análises. Mediante isto, os DMCs foram definidos seguindo os critérios de áreas estanques e durante sua delimitação identificou-se locais que precisarão de novas redes, instalação de registros ou o capeamento de redes para

a setorização do DMC. Esses pontos foram identificados através do software de modelagem, que permite a visualização da área de abrangência de cada DMC e os locais a serem realizados essas intervenções.

5.5 INDICADORES DE PERDAS DE ÁGUA E METODOLOGIA DE CÁLCULO

Definido os Distritos de Medição e Controle, é necessário que haja o acompanhamento dos indicadores de desempenho para medir a eficiência e a eficácia do abastecimento de água dos DMCs. Diversos são os indicadores de desempenho que poderiam ser acompanhados em Distritos de Medição e Controle, porém como o foco deste estudo está relacionado com ações que visam controlar e reduzir as perdas de água, os IDs foram definidos para monitorar as informações relativas as perdas de água.

A escolha dos IDs foi realizada através do glossário do SNIS e a representatividade do indicador para a gestão das perdas de água. O glossário do SNIS apresenta a listagem de indicadores de perdas de água utilizados nas companhias de saneamento e todas as informações necessárias que as empresas precisam ter acesso para calcular cada indicador. Somente após a análise dessas informações e o entendimento da realidade do SAA de Piraju, é que foi possível definir a listagem de indicadores de perdas de água a serem utilizadas nos DMCs propostos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

A Sabesp é hoje a empresa responsável pelo abastecimento de água da cidade de Piraju/SP. A Sabesp é uma empresa mista, de capital aberto, responsável pelos serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto de mais de 360 municípios do estado (SABESP, 2017).

O Quadro 4 apresenta as características gerais do sistema de abastecimento de água de Piraju/SP.

Quadro 4 - Dados Gerais do Sistema de água de Piraju/SP.

População Atendida	26.857 (SNIS, 2020)
Índice de Hidrometração	100% (SNIS, 2020)
Índice de Macromedição	100 %
Índice de Perdas no Faturamento	20 %
Índice de Perdas na Distribuição	32,47 %
Índice de Perdas por ligação	196,39 litros/ramal.dia
Vazão Total de Captação	95 l/s (SABESP, 2022)
Vazão de produção de água da ETA	60 l/s (SABESP, 2022)
Volume Total de Reservação	4.196 m ³ (SABESP, 2022)
Extensão de Rede de Água	162.568 (SABESP, 2022)
Volume Anual Micromedido	1.794.448 m ³ (SISPERDAS, 2022)
Volume Anual Faturado	2.123.879 m ³ (SISPERDAS, 2022)
Nº de ligações	12.157 (SABESP, 2022)
Nº de economias	12.103 (SABESP, 2022)
Porcentagem de Atendimento	100% (SNIS, 2020)

Fonte: Adaptado do PMSB (2014).

No que se refere à infraestrutura do SAA, o manancial utilizado para captação de água é o Rio Paranapanema, pertencente à Bacia hidrográfica do Alto Paranapanema. A adução de água bruta até a Estação de tratamento de água é feita através de uma adutora de ferro fundido, com diâmetro de 300 mm e extensão de 1.161 m.

A Figura 14 apresenta o ponto de captação de água bruta do SAA de Piraju/SP.

Figura 14 - Ponto de captação de água bruta do SAA de Piraju/SP, 2014.



Fonte: PMSB (2014).

E a Figura 15 apresenta a adutora de ferro fundido responsável pela adução de água bruta até a estação de tratamento de água do SAA de Piraju/SP.

Figura 15 - Adutora de água bruta de ferro fundido do SAA de Piraju/SP, 2014.



Fonte: PMSB (2014).

A ETA existente em Piraju é do tipo convencional, com capacidade nominal de 60 l/s. A estação realiza o tratamento completo e é composta por dois flocculadores mecânicos, dois decantadores e três filtros rápidos de fluxo descendente. A Figura 16 apresenta a vista da ETA do SAA de Piraju/SP.

Figura 16 - Vista da ETA do SAA de Piraju/SP, 2022.



Fonte: Autora (2022).

No município de Piraju/SP existem atualmente 11 reservatórios que, juntos possuem uma capacidade de reserva de 4.196 m³. Os reservatórios R1 e R2, com volume total de 2.500 m³ são responsáveis por abastecer por gravidade a rede de distribuição do sistema. Estes reservatórios abastecem ainda:

- A Estação Pressurizadora de Água Tratada (EPAT) Zona Alta;
- A EPAT São Lourenço, Sombras do Paraíso e Jardim Meira, que abastecem a zona alta dessas regiões;
- A Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT) Nosso Teto responsável por abastecer os reservatórios R7 e R8;
- A EEAT Alto da Bela Vista responsável por abastecer o reservatório R10;
- O reservatório R3 (quebra de pressão);
- E os reservatórios R6 e R9 da Vila Tibiriçá.

A estação elevatória EEAT Zona Alta abastece a Zona Alta Central da cidade e a EEAT Jardim Cristal, que realiza o recalque até o reservatório R11 responsável por abastecer a rede de distribuição da Vila Codespaulo, residencial Maria da Mota, Jardim Cristal e Jardim Primavera.

A EEAT Nosso Teto realiza o recalque da água até os reservatórios R7 e R8, responsáveis por abastecer os conjuntos habitacionais José Maria Arbex, Augusto Morini, Osvaldo de Castilho e Cemitério além do Jardim Morada do Sol, São Roque e Shangrilá.

A EEAT Alto da Bela Vista recalca água até o reservatório R9, responsável por distribuir água ao bairro Jardim Flaboyant, Alto da Bela Vista e Jardim Celeste.

O reservatório R3 é abastecido por gravidade e é responsável por quebrar a pressão para distribuir água a zona baixa central.

O reservatório R6 abastecido por gravidade através do reservatório R2, abastece por gravidade a Vila Santo Antônio e a EEAT José Martignoni, que abastece o Portal da Ilha, as Vilas São Roque e Paraíso, a Zona Baixa da Vila Tibiriçá, além de recalcar água até o reservatório R9.

O reservatório R9 abastece por gravidade o Conjunto habitacional Sérgio Garcia e a EEAT José Riberio, responsável por distribuir água para a vila José Ribeiro, Distrito Industrial e recalcar água para o reservatório R12 do Jardim Planalto.

A Figura 17 e a Figura 18 ilustram os reservatórios R1 e R2 consecutivamente.

Figura 17 - Reservatório R-1 do SAA de Piraju/SP, 2022.



Fonte: Autora (2022).

Figura 18 - Reservatório R-2 do SAA de Piraju/SP, 2022.



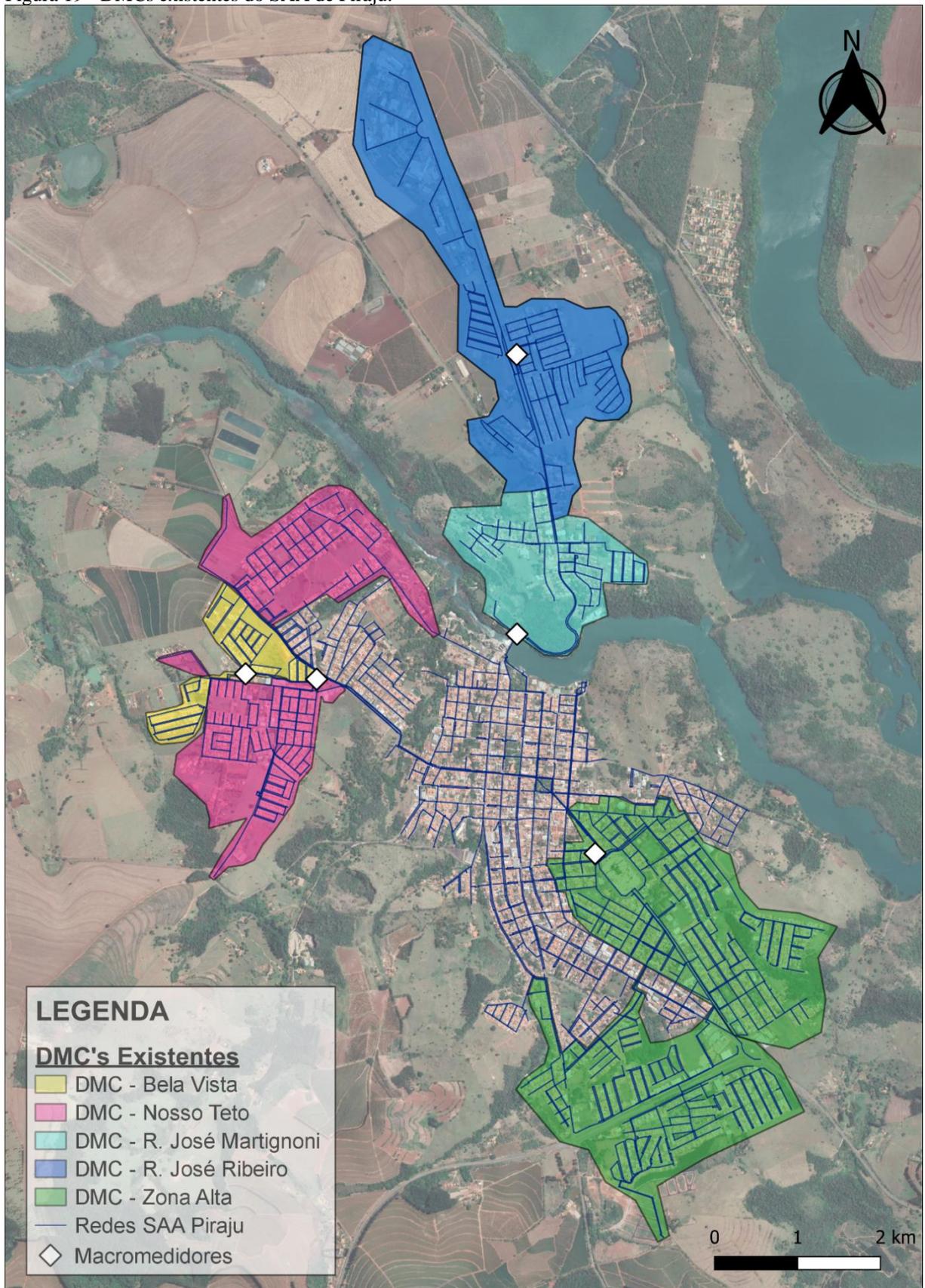
Fonte: Autora (2022).

6.1.1 DMCs existentes

Atualmente o SAA de Piraju possui 5 macromedidores instalados que se caracterizam como DMC, porém não abrangem todo o volume de água requerido pelo sistema, ficando, portanto, uma parte no sistema sem medição de vazão e pressão, dificultando a gestão de perdas de água do sistema.

A Figura 19 apresenta os 5 DMCs existentes no sistema de abastecimento de água da cidade, sendo eles: DMC Bela Vista representado através do polígono de cor amarela, DMC Nosso Teto representado pela cor rosa, DMC Reservatório José Martignoni representado pela cor azul claro, DMC Reservatório José Ribeiro representado pela cor azul escuro e DMC Zona Alta representado pela cor verde.

Figura 19 - DMCs existentes do SAA de Piraju.



Fonte: Autora (2022).

A Tabela 2 apresenta as características dos DMCs do SAA de Piraju.

Tabela 2 - Características dos Distritos de Medição e Controle existentes.

DMC	Extensão de rede (m)	Ramais de água (unidades)
Bela Vista	8.656	296
Nosso Teto	24.566	1.903
R. José Martignoni	10.778	593
R. José Ribeiro	18.312	940
Zona Alta	58.251	3.504
Total	120.563	7.236

Fonte: Autora (2022).

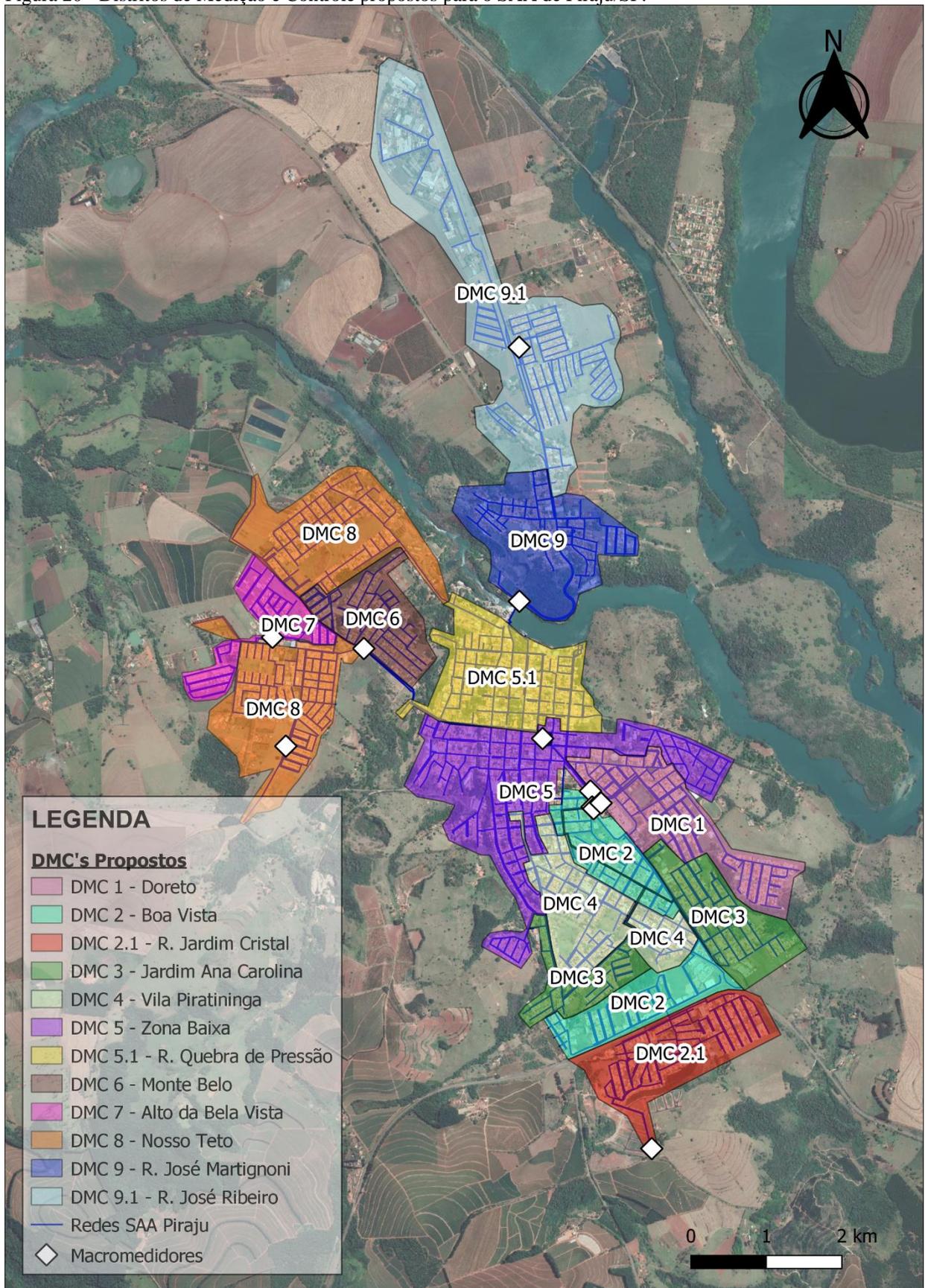
O SAA de Piraju possui atualmente uma extensão de rede de aproximadamente 186 km e atende cerca de 12.157 ligações de água. Observando-se a Tabela 2, percebe-se que os DMCs existentes abrangem somente 64,5% da extensão de rede total e 59,5% das ligações de água, demonstrando a necessidade aumentar o índice de cobertura dos DMCs, de modo que abranja todo o sistema.

6.2 DEFINIÇÃO DOS DMCS

Através dos critérios sugeridos pela bibliografia estudada e a metodologia proposta, foi possível definir 12 áreas propícias de se implantar DMCs. Estes DMCs abrangem praticamente todo o sistema de abastecimento de água e precisarão de poucas intervenções para sua implantação, devido a setorização do sistema ser bem definida.

A Figura 20 apresenta a área geográfica dos DMCs propostos para o sistema de abastecimento de água da cidade de Piraju.

Figura 20 - Distritos de Medição e Controle propostos para o SAA de Piraju/SP.



Fonte: Autora (2022).

Ao analisarmos os DMCs apresentando na Figura 20, é possível perceber que dos 12 (doze) DMCs propostos, 3 (três) DMCs são categorizados como Distritos de Medição e Controle em cascata, sendo eles: DMC 2 - Boa Vista, DMC 5 - Zona Baixa e DMC 9 - Reservatório José Martignoni. Conforme apresentado na revisão bibliográfica, os DMCs são categorizados como DMC em cascata quando apresentam um medidor e logo em seguida outro a jusante. Essa configuração foi adotada pois esses DMC ficariam com uma extensão de rede e quantidade de ligações maior do que a sugerida pela ABNT NBR 12.2018/2017, o que dificultaria o acompanhamento das perdas de água devido ao tamanho do DMC.

Os demais, são categorizados como DMCs de entrada única pois apresentam um único medidor de vazão localizado no ponto de entrada de água do DMC.

6.2.1 Caracterização dos DMCs

Após a identificação das regiões passíveis de serem implantadas DMCs, foi realizado o levantamento da extensão de rede e número de ligações de água para cada DMC, de modo que atenda as recomendações sugeridas pela ABNT NBR 12.218/2017 para a definição dos DMCs.

Conforme apresentado na metodologia, a extensão de rede foi obtida através do modelo hidráulico do SAA de Piraju e o número de ligações de água através da seleção dos consumos georreferenciados inseridos no modelo. O conhecimento destas duas informações é importante para caracterizar um DMC e identificar se possuem as características recomendadas, além da sua importância para compor os parâmetros dos índices de perdas de água.

A Tabela 3 apresenta a extensão de rede e o número de ligações de água de cada DMC proposto.

Tabela 3 - Caracterização dos DMCs através da extensão de rede e número de ligações de água.

DMC	Extensão de rede (m)	Ramais de água (unidades)
1 - Doreto	14.843	930
2 - Boa Vista	17.236	826
2.1 - R. Jardim Cristal	10.759	540
3 - Jardim Ana Carolina	15.121	1.206
4 - Vila Piratininga	11.624	1.301
5 - Zona Baixa	20.594	1.736
5.1 - R. Quebra De Pressão	11.745	998
6 - Monte Belo	7.646	588
7 - Alto Da Bela Vista	8.656	296
8 - Nosso Teto	23.284	1.867
9 - R. José Martignoni	11.768	606

DMC	Extensão de rede (m)	Ramais de água (unidades)
9.1 - R. José Ribeiro	18.312	938
Total	171.588	11.832
Média	14.299	986

Fonte: Autora (2022).

De acordo com as recomendações da ABNT NBR 12.218/2017 e dos estudos apresentados na Tabela 1 deste trabalho, recomenda-se que os DMCs possuam entre 500 a 5.000 ramais de água. A quantidade mínima de ligações de água está relacionada com o custo de implantação de cada DMC, pois DMCs com áreas muito pequenas apresentam alto custo de implantação e manutenção. No que se refere a extensão de rede, recomenda-se que os DMCs possuam no máximo 25 km de rede, pois, quanto maior a região a ser monitorada, maior é a dificuldade de identificar vazamentos e os custos para identificá-los aumentam. Portanto, áreas menores que 25 km de rede e com menos de 5.000 ligações apresentam vantagens financeiras e técnicas para a gestão das perdas de água. Sendo assim, considera-se que os DMCs propostos apresentam características adequadas comparadas às condições recomendadas.

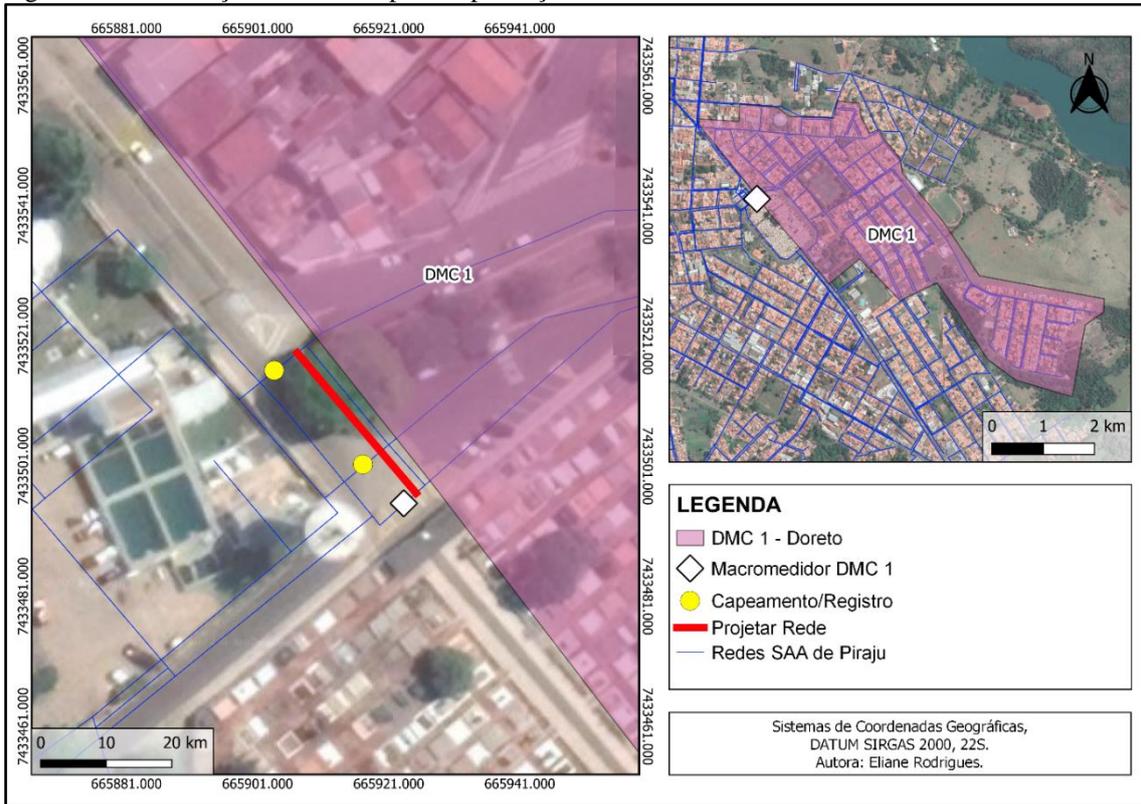
6.3 INTERVENÇÕES NECESSÁRIAS PARA A SETORIZAÇÃO DOS DMCs

Para que seja possível realizar a setorização dos DMCs apresentados, foram identificados pontos a serem realizados capeamento de rede ou a instalação de registros, além de locais a serem projetadas novas redes para obter uma única entrada de água.

A Figura 21 e a Figura 22 apresentam as intervenções necessárias para a implantação do DMC 1 - Doreto e DMC 2 - Boa Vista, consecutivamente. Os pontos em amarelo indicam os locais a serem instalados os registros ou a realização do capeamento da rede, e a linha vermelha indica onde deverá ser projetada uma nova rede para que a vazão requerida pelo DMC seja toda contabilizada pelo macromedidor.

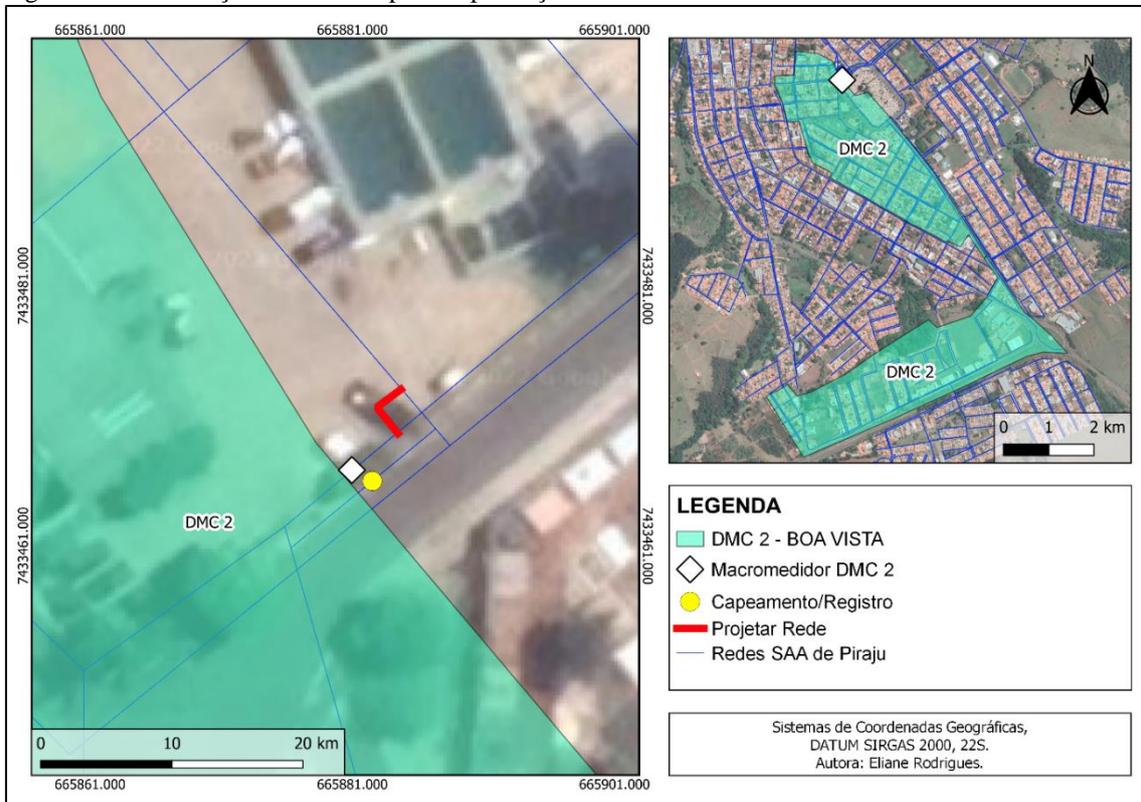
As intervenções para os demais DMCs são apresentadas em anexo no final deste trabalho.

Figura 21 - Intervenções necessária para implantação do DMC 1 - Doreto.



Fonte: Autora, 2022.

Figura 22 - Intervenções necessária para implantação do DMC 2 - Boa Vista.



Fonte: Autora, 2022.

Para o DMC 8 - Nosso Teto sugere-se apenas a realocação do macromedidor já existente no local, pois encontra-se instalado a montante do reservatório. O recomendado é que os macromedidores sejam instalados na saída dos reservatórios, ou seja, nas redes de distribuição de água, pois ao vincular os dados aferidos pelos macromedidores com a telemetria, será possível analisar as vazões mínimas noturnas e identificar com mais facilidade vazamentos no sistema. No caso do DMC 7 - Alto da Bela Vista, o mesmo se aplicaria, porém o reservatório possui compartimentos e saídas de água separadas, o que exigiria maiores esforços para realocação do macromedidor, portanto para este caso, sugere-se manter o macromedidor no local que se encontra instalado.

E para o DMC 9 – R. José Martignoni e DMC 9.1 - R. José Riberio já existe macromedidores instalados, sendo necessário apenas a realização de estudo para verificar a estanqueidade dos setores.

6.4 INDICADORES DE PERDAS DE ÁGUA E METODOLOGIA DE CÁLCULO

Após definição dos DMCs, foram escolhidos 5 indicadores de perdas de água para serem acompanhados caso os distritos apresentados sejam implantados, pois não adianta apenas realizar a medição de vazão e pressão se não houver o acompanhamento e controle destas informações, sem isto, essas regiões não são caracterizadas como DMC. A definição destes indicadores ocorreu através da disponibilidade de informações dos DMCs e a representatividade que possuem para a gestão das perdas de água.

Vale lembrar que os indicadores definidos neste estudo poderão ser aplicados em qualquer sistema, desde que o mesmo possua as informações necessárias para obtenção dos indicadores.

O Quadro 5 apresenta os 5 indicadores de desempenho escolhidos para acompanhamento das perdas de água nos DMCs propostos.

Quadro 5 - Relação de indicadores de perdas de água para acompanhamento dos DMCs.

Código	Indicadores de desempenho	Unidade
IN009	Índice de Hidrometração	%
IN013	Índice de Perdas de Faturamento	%
IN049	índice de Perdas na Distribuição	%
IN050	Índice Bruto de Perdas Lineares	m ³ /dia/km
IN051	Índice de Perdas por Ligação	litros/ligação/dia

Fonte: Adaptado SNIS (2022).

Para calcular esses indicadores é necessário utilizar algumas informações do sistema. Para isto, a seguir serão apresentadas as informações que a empresa responsável pela gestão do SAA de Piraju/SP precisará coletar para obter os indicadores de desempenho apresentados no Quadro 5, além de todo memorial de cálculo.

- **Índice de Hidrometração:** De acordo com o SNIS (2020), este índice corresponde ao quociente da divisão entre a quantidade de ligações ativas de água micromedidas (LM) e a quantidade de ligações ativas de água (LA). Sendo as ligações ativas de água aquelas cadastradas no sistema comercial da companhia e as ligações ativas de água micromedidas aquelas que foram possíveis de realizar a leitura do hidrômetro. A determinação deste indicador é obtida através da Equação (1).

$$IH = \frac{LM}{LA} \times 100, \quad (1)$$

onde:

IH: Índice de Hidrometração [%];

LA: Quantidade de ligações ativas de água [ligações];

LM: Quantidade de ligações ativas de água micromedidas [ligações];

- **Índice de Perdas no Faturamento:** Segundo o Go Associados (2015), este índice avalia em termos percentuais o quanto da água produzida pelo sistema de abastecimento de água não foi faturada. O Índice de Perdas no Faturamento é obtido através da Equação (2).

$$IPF = \frac{VD - VF}{VD}, \quad (2)$$

onde:

IPF: Índice de perdas faturamento [%];

VD: Volume de água distribuído [1.000 m³/ano];

VF: Volume de água faturado [1.000 m³/ano];

- **Índice de Perdas na Distribuição:** Este índice possui grande relevância para identificação das perdas de água nos SAA. Através dele, é possível obter em termos percentuais o volume de água perdido de todo o volume de água produzido pelo sistema, ou seja, qual parcela de água não foi consumida pelos clientes e se perdeu durante a distribuição através de vazamentos de rede, extravasamento de reservatórios, ligações clandestinas (fraudes), entre outros. Este indicador é calculado através da Equação (3).

$$IPD = \frac{VD - VC}{VD} \times 100, \quad (3)$$

onde:

IPD: Índice de Perdas na Distribuição [%]

VC: Volume de água consumido [1.000 m³/ano];

- Índice Bruto de Perdas Lineares: Este indicador determina qual volume de água perdido (volume distribuído – volume consumido) pela extensão de rede. Para o cálculo deste indicador utiliza-se a (4).

$$IBPL = \frac{VD - VC}{ERA * } \times \frac{1.000}{365}, \quad (4)$$

onde:

IBPL: Índice Bruto de Perdas Lineares [m³/dia/km]

ERA: Extensão de rede de água [km]

* Utiliza-se a média aritmética dos valores do ano de referência e do ano anterior ao mesmo.

- Índice de Perdas por Ligação: Fornece as perdas de água por dia e por ligação, sendo utilizado como complemento ao Índice de Perdas na Distribuição. Determina-se este indicador através da Equação (5).

$$IPL = \frac{VD - VC}{LA * } \times \frac{1.000.000}{365}, \quad (5)$$

onde:

IPL: Índice de perdas por ligação [litros/ligação/dia].

* Utiliza-se a média aritmética dos valores do ano de referência e do ano anterior ao mesmo.

Além da utilização das equações apresentadas para cada indicador, os DMCs categorizados em cascatas apresentam algumas particularidades que devem ser levadas em consideração na hora de calcular os indicadores, sendo elas:

- Para obter o volume de água distribuído dos DMCs em cascata deverá ser descontado o volume aferido pelo primeiro macromedidor do volume aferido pelo medidor a jusante do primeiro DMC, de modo que se obtenha apenas o volume distribuído na área de cada DMC;
- Para obter informações como volume consumido, extensão de rede, ligações de água e volume de água faturado dos DMCs em cascata, a companhia deverá inserir no sistema comercial a área de abrangência de cada DMC;

Exemplo: Suponha-se que o DMC 5 mediu durante todo o mês uma vazão de 100 m³/mês, sabe-se que logo em seguida existe um outro medidor responsável por medir toda a vazão distribuída para o DMC 5.1, suponha-se que este outro medidor contabilizou durante o mês 30 m³/mês, portanto, a vazão do DMC 5 será o 100 m³/mês aferido pelo seu macromedidor menos a vazão aferida pelo macromedidor do DMC 5.1, totalizando em 70 m³/mês.

Após o cálculo desses indicadores apresentados, a companhia responsável pelo SAA de Piraju/SP precisará analisar os resultados obtidos para que seja possível acompanhar a evolução das perdas de água em cada DMC proposto. Com o uso desses indicadores a companhia possuirá subsídios para programar as ações para o controle e redução das perdas de água, de modo que os indicadores apresentem valores próximos aos desejáveis.

Os valores de referência para cada indicador são disponibilizados pelo SNIS e podem ser visualizados no Quadro 6.

Quadro 6 - Valores de referência dos Indicadores de Perdas de Água.

Código	Indicadores de desempenho	Valores de referência
IN009	Índice de Hidrometração (%)	Bom: 98 a 100 Médio: 95 a 98 Insatisfatório: inferior a 95
IN013	Índice de Perdas de Faturamento (%)	Bom: entre 0 e 20 Médio: entre 20 e 30 Insatisfatório: entre 30 e 100
IN049	índice de Perdas na Distribuição (%)	Bom: entre 0 e 15% Médio: entre 15 e 22,5% Insatisfatório: superior a 22,5%
IN050	Índice Bruto de Perdas Lineares (m ³ /dia/km)	Bom: entre 0 e 5 Médio: 5 a 7,5 Insatisfatório: superior a 7,5
IN051	Índice de Perdas por Ligação (l/dia/lig.)	Bom: até 122,5 Médio: entre 122,5 e 250 Insatisfatório: superior a 25

Fonte: FERREIRA (2017) *apud* DALRI (2021).

7 CONCLUSÃO

Através da caracterização do sistema foi possível entender o funcionamento do abastecimento de água do SAA de Piraju, facilitando assim a definição dos DMCs. O abastecimento de água de Piraju/SP é realizado através de 3 saídas dos reservatórios principais do sistema, R1 e R2, cuja capacidade de reservação é 2.500 m³. Esses reservatórios abastecem todo o setor de gravidade do sistema além de distribuir água para as EEATs e EPATs.

Foi possível definir 12 Distritos de Medição e Controle para o SAA de Piraju/SP, sendo que todos atendem os critérios para implantação de DMCs recomendados pela ABNT NBR 12.218/2017, possuindo menos de 5.000 ligações de água e extensões de rede menores que 25 km, contemplando 92% das redes de distribuição e 97% das ligações de água.

Dos 12 DMCs, 9 são categorizados como DMC de entrada única, pois apresentam uma única entrada de água no DMC, sendo eles: DMC 1 – Doreto, DMC 2.1 – R. Jardim Cristal, DMC 3 – Jardim Ana Carolina, DMC 4 – Vila Piratininga, DMC 5.1 – R. Quebra de Pressão, DMC 6 – Monte Belo, DMC 7 – Alto da Bela Vista e DMC 8 – Nosso Teto, DMC 9.1 – R. José Ribeiro, sendo os demais categorizados como DMCs em cascata.

Para setorizar os DMCs serão necessárias poucas intervenções no sistema, uma vez que o mesmo se encontra bem setorizado. As principais intervenções previstas para o sistema são: instalação ou capeamento de rede e a projeção de novas redes. Dos 12 DMCs apenas 5 precisarão destas intervenções, sendo eles: DMC 1 - Doreto, DMC 2 - Boa Vista, DMC 5 – Zona Baixa, DMC 5.1- R. Quebra de Pressão e DMC 8 - Nosso Teto. Os demais precisarão apenas da instalação dos macromedidores.

Com relação aos indicadores de perdas de água, foram propostos 5 para serem acompanhados em cada DMC, sendo eles: 1) Índice de hidrometração: Este representa em porcentagem a quantidade de hidrômetros que está sendo realizada a leitura efetiva do consumo; 2) Índice de Perdas no Faturamento: Representa em porcentagem quanto a companhia deixa de receber através das perdas de água; 3) Índice de Perdas na Distribuição: Este compõe o principal indicador utilizado nas companhias e representa em porcentagem quanto o sistema perde de água do volume distribuído; 4) Índice Bruto de Perdas Lineares: Este indica em m³/dia/km o volume de água perdido diariamente por quilometragem de rede; 5) Índice de Perdas por Ligação: Representa em litros/ligação/dia o volume de água perdido por ligação de água.

Através da implantação dos DMCs e o acompanhamento dos indicadores de perdas de água propostos, a prestadora de serviço de água de Piraju poderá estabelecer estratégias mais

sólidas para controlar e reduzir as perdas do sistema, uma vez que a análise individual de cada DMC indicará qual região do sistema apresenta maior índice de perdas.

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As recomendações feitas a seguir tem como objetivo complementar os resultados apresentados neste trabalho para aumentar a eficiência da gestão das perdas de água nos DMCs propostos.

- Realizar a calibração do modelo hidráulico e simulações hidráulicas para verificar o dimensionamento das redes de distribuição do sistema a partir dos DMCs propostos;
- Acompanhar os indicadores de perdas de água sugeridos neste trabalho e se possível, aprimorá-los, aumentando a quantidade de indicadores a serem analisados.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE SOBRINHO, Renavan; BORJA, Patrícia Campos. **Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 21, p. 783-795, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 30 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). **Controle e Redução de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água: Posicionamento e Contribuições Técnicas da ABES**, 2015. Disponível em: <https://www.abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf>. Acesso em: 18 out. 2021
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO (AESBE). **Série Balanço Hídrico - Guia Prático de Procedimentos para Estimativa de Submedição no Parque de Hidrômetros**. 1. ed. Brasília: [s.n.], v. 3, 2015.
- AUGUSTO, Lia Giraldo da Silva et al. **O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano**. Ciência & saúde coletiva, v. 17, p. 1511-1522, 2012.
- BIASUTTI, Saulo. **Indicadores de perdas de água: padronização e limitações da aplicação no Brasil**. 2016. 164 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/9518>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **FUNASA Fundação Nacional da Saúde. Redução de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**. Brasília, 2014.
- BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. **Perdas de água: tecnologias de controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.
- BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; GOMES, Heber Pimentel. **Controle de Perdas de Água**. João Pessoa: UFPB, 2013. 55 p.
- BROGNOLI, Fellipo Ferreira. **Proposta de implantação de distritos de medição e controle no Sistema de abastecimento de água de Balneário Camboriú**. 2018.
- COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais). **Cooperação técnica COPASA – ABAE. Curso de Metodologia de Combate e Controle de Perdas**. Belém, 2005.
- CUNHA, Agne Pereira da et al. **Calibração de modelo hidráulico via algoritmos genéticos para rede de abastecimento de água**. 2014. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.
- COSTA, R. F. **Análise da infraestrutura em redes de abastecimento: Gestão de combate a perdas de água**. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, 2009.

DALRI, Lucas da Silveira et al. **Diagnóstico e execução de estratégias de controle e redução de perdas de água com uso da modelagem hidráulica: estudo de caso em um DMC no município de Brusque/sc.** 2020.

DE CARVALHO, F. S. et al. **Estudos sobre perdas no sistema de abastecimento de água da cidade de Maceió.** VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 2004. p. 18

DOS SANTOS, Joana Andreazza Claudino. **Controle De Perdas De Água Em Um Distrito De Medição E Controle No Sistema Costa Norte Em Florianópolis/Sc.** 2018.

FARLEY et al.. **The Manager's Non-Revenue Water Handbook a Guide to Understanding Water Losses.** Ranhill Utilities Berhad and the United States Agency for International Development (USAID). 110p. Malaysia, 2008.

GONÇALVES, Débora Fernanda Horn et al. **Análise Das Perdas De Água Do Sistema De Abastecimento Do Município De Pomerode/Sc.** 2018.

GOMES, Heber Pimentel. **Abastecimento de água.** João Pessoa: Editora Universitária - Ufpb, 2019, 2019. 464 p.

GO ASSOCIADOS. **Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica.** São Paulo, p. 112. 2015.

GO ASSOCIADOS. **Perdas de água 2020 (SNIS 2018):** Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. Instituto Trata Brasil. São Paulo, p. 86. 2020.

GO ASSOCIADOS. **Perdas de água 2021 (SNIS 2019):** Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. Instituto Trata Brasil. São Paulo, p. 71. 2021.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de Água para Consumo Humano.** 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2010.

MELATO, Débora Soares. **Discussão de uma metodologia para diagnóstico e ações para redução de perdas de água: Aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo.** 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MENESES, Ronaldo Amâncio et al. **Diagnóstico operacional de sistemas de abastecimento de água: o caso de Campina Grande.** 2011.

MOLL, Anna Carolina Bonilauri. **Nível econômico de perdas em sistemas de abastecimento de água por distrito de medição e controle.** 2019.

MOTTA, Renato Gonçalves da. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público.** 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PALO, Paulo Rogério. **Avaliação da eficácia de modelos de simulação hidráulica na obtenção de informações para diagnóstico de perdas de água.** 2010. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PEREIRA, Manoel Felipe Araujo. **Modelagem hidráulica computacional como ferramenta de gestão para sistemas de abastecimento de água**. 2016. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

SABESP. **Relatório anual de qualidade da água - 2017**. 2017. Disponível em: http://www.sabesp.com.br/calandraweb/toq/2017/rqa2017_Piraju.pdf. Acesso em: 10 maio 2022.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico temático Serviços de Água e Esgoto - 2021**. Brasília, DF, 2020.

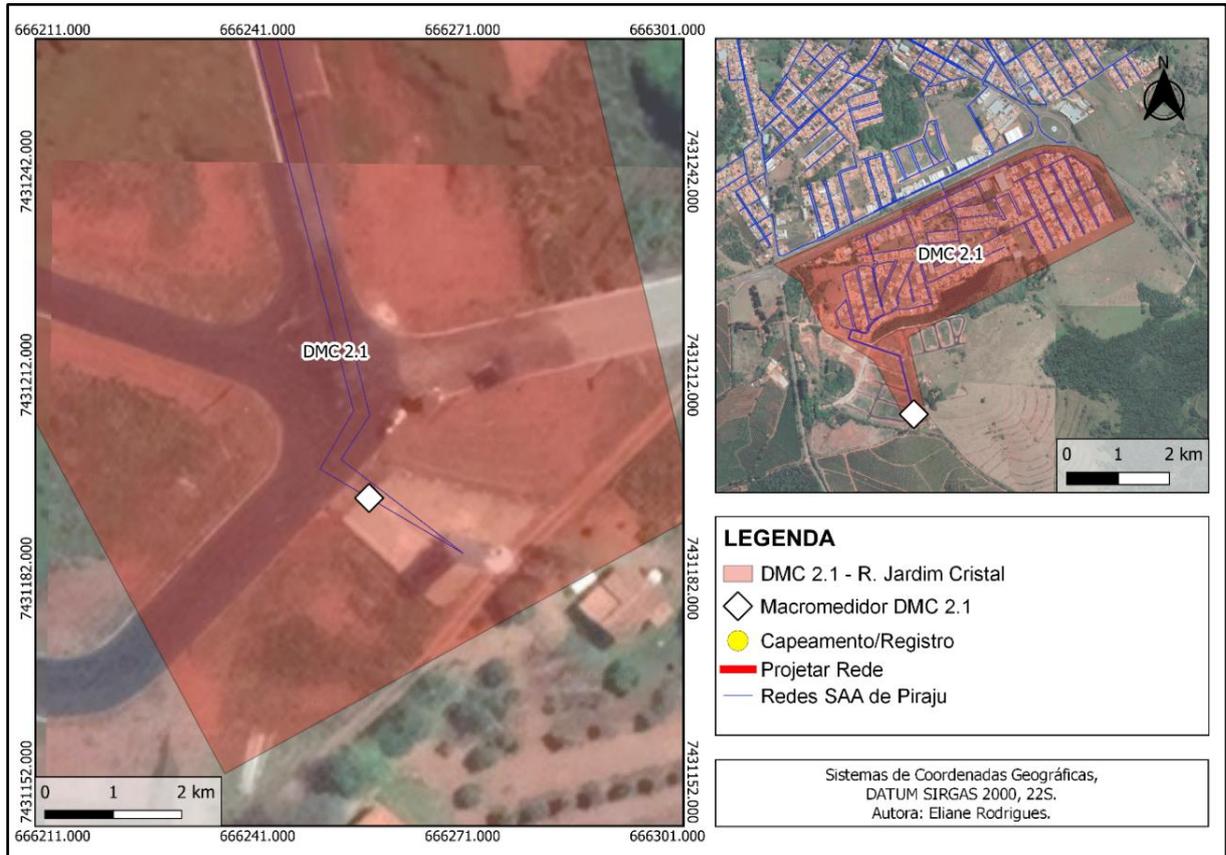
SOBRINHO, R. A.; BORJA, P. C. **Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 783-795, out/dez 2016.

SOBRINHO, P. A.; MARTINS, G. Abastecimento de água. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: 96 Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Cap. 1, p. 1-8.

SOUZA JÚNIOR, José do Carmo de. **Sistema controla perdas de água em redes de distribuição**. Jornal da Unicamp. Campinas, p. 9-9. 30 mar. 2015. Disponível em: https://www.unicamp.br/unicamp/sites/default/files/jornal/paginas/ju_621_paginacor_09_web.pdf. Acesso em: 25 abr. 2022.

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Cap. 10, p. 457-525.

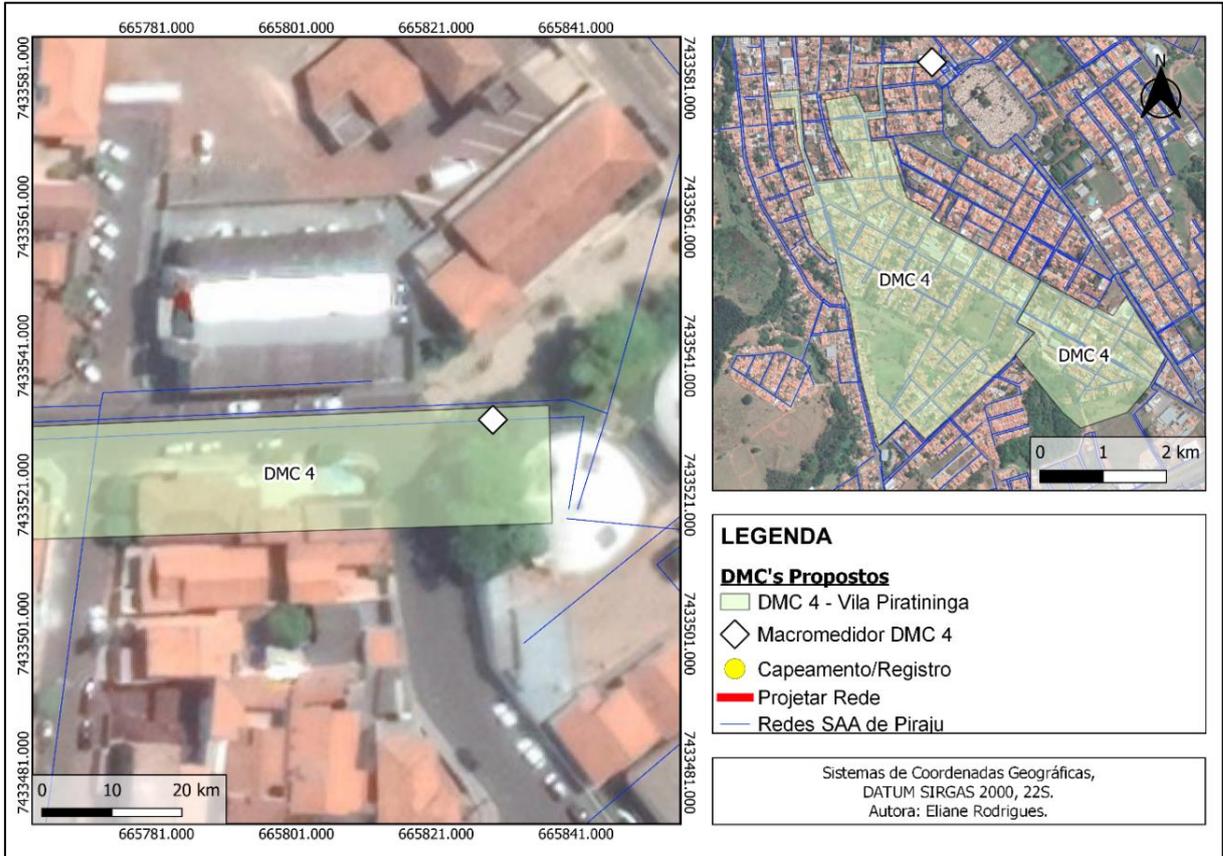
VICENTINI, Liliana Pedroso. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ANEXO A – Intervenções necessária para implantação do DMC 2.1 - R. Jardim Cristal

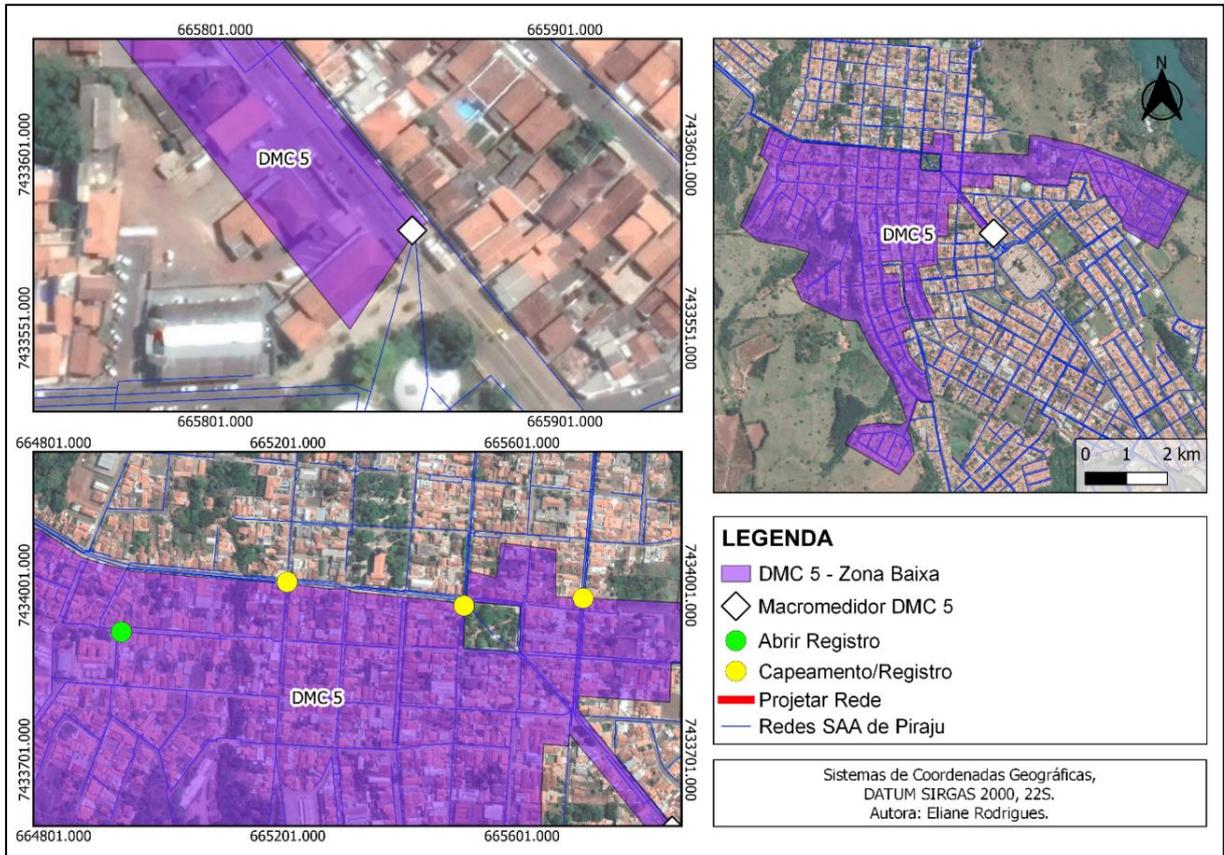
ANEXO B – Intervenções necessária para implantação do DMC 3 - Jardim Ana Carolina



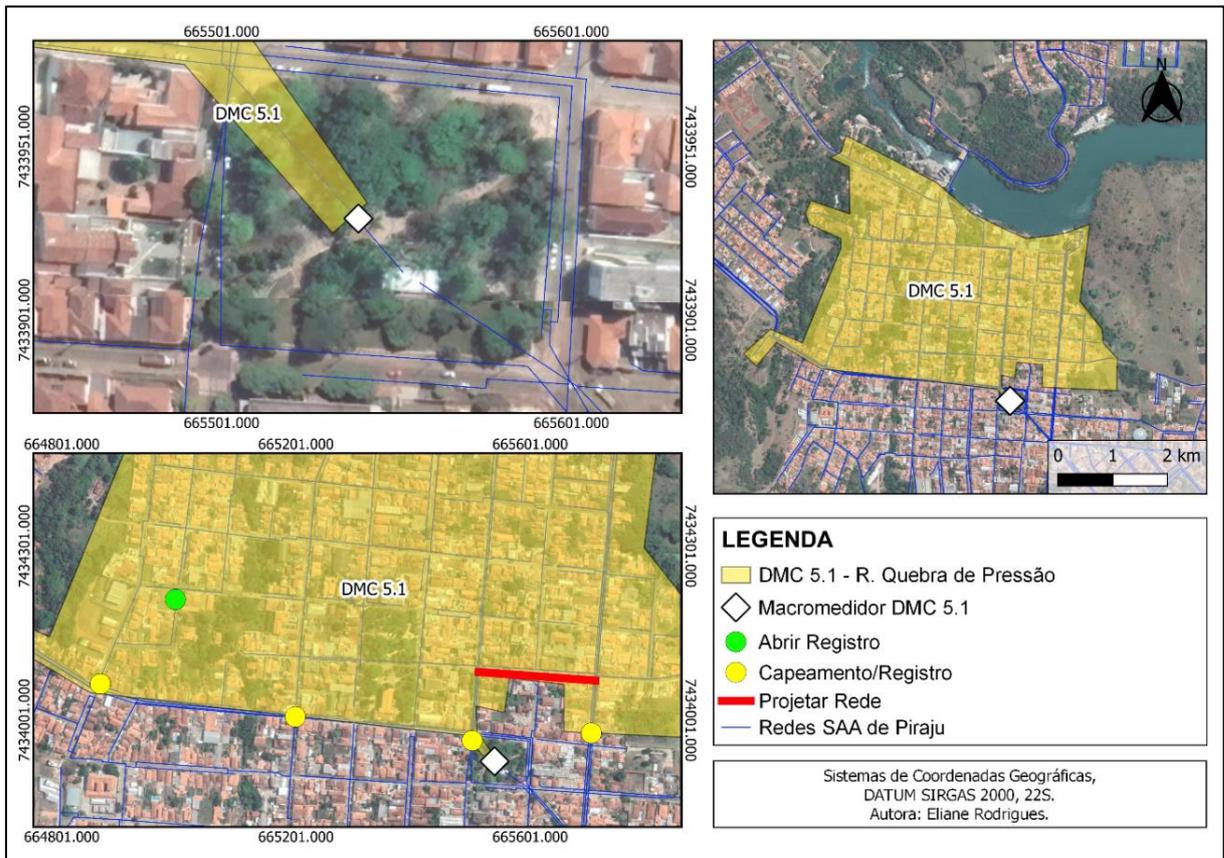
ANEXO C – Intervenções necessária para implantação do DMC 4 – Vila Piratininga

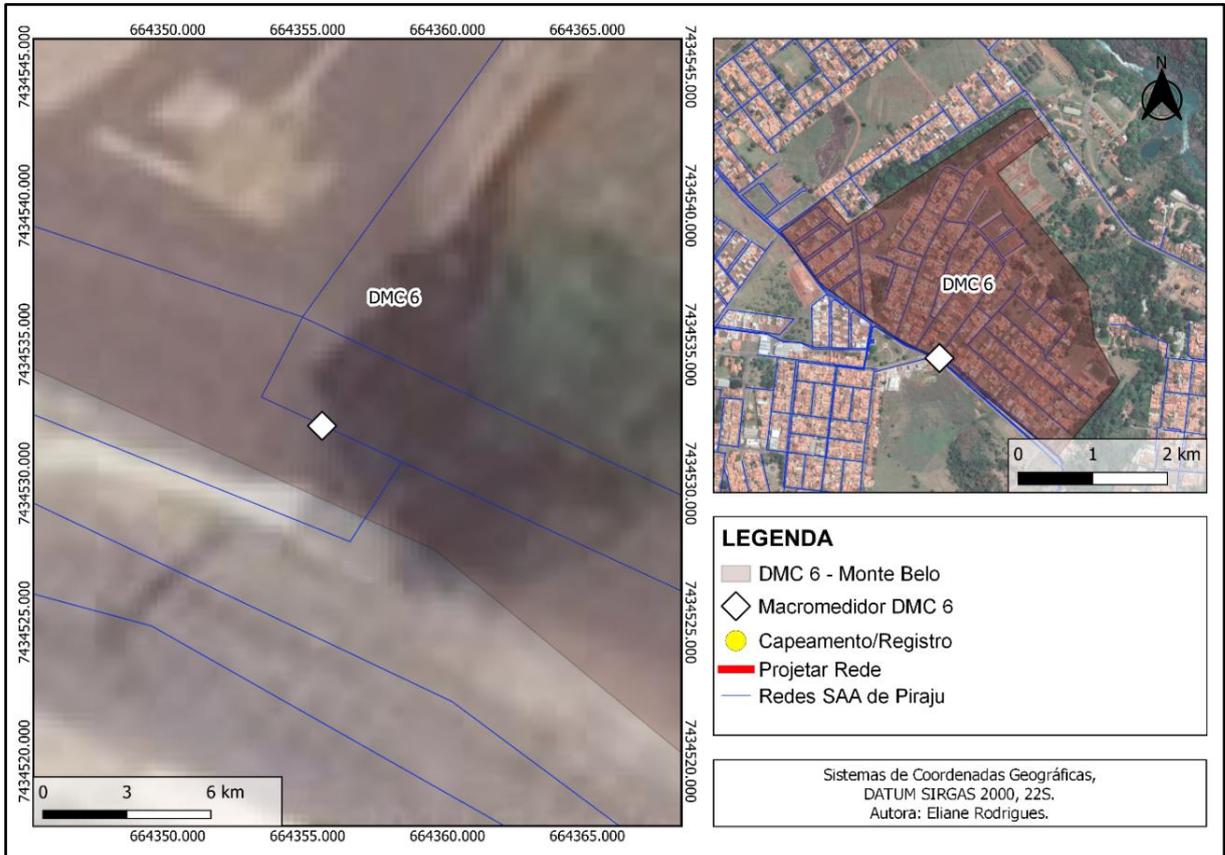


ANEXO D – Intervenções necessária para implantação do DMC 5 – Zona Baixa.

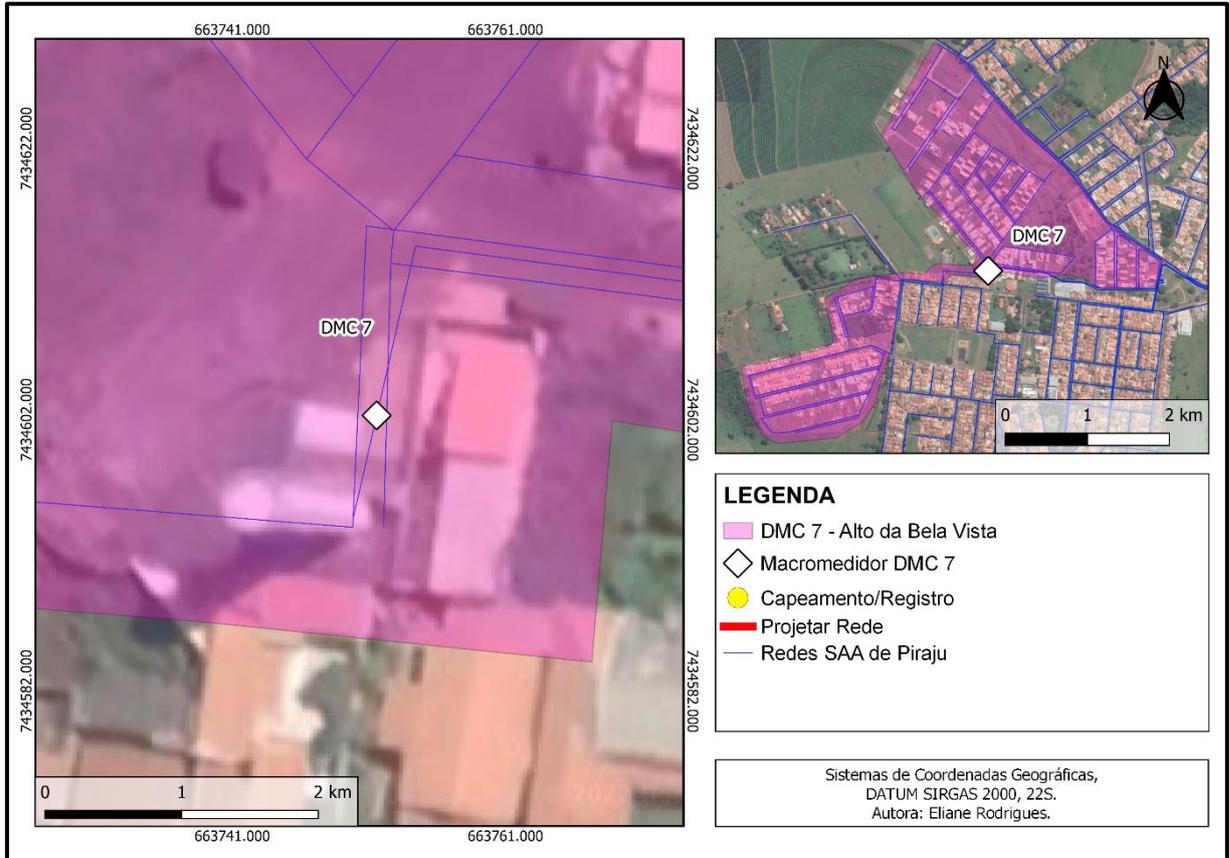


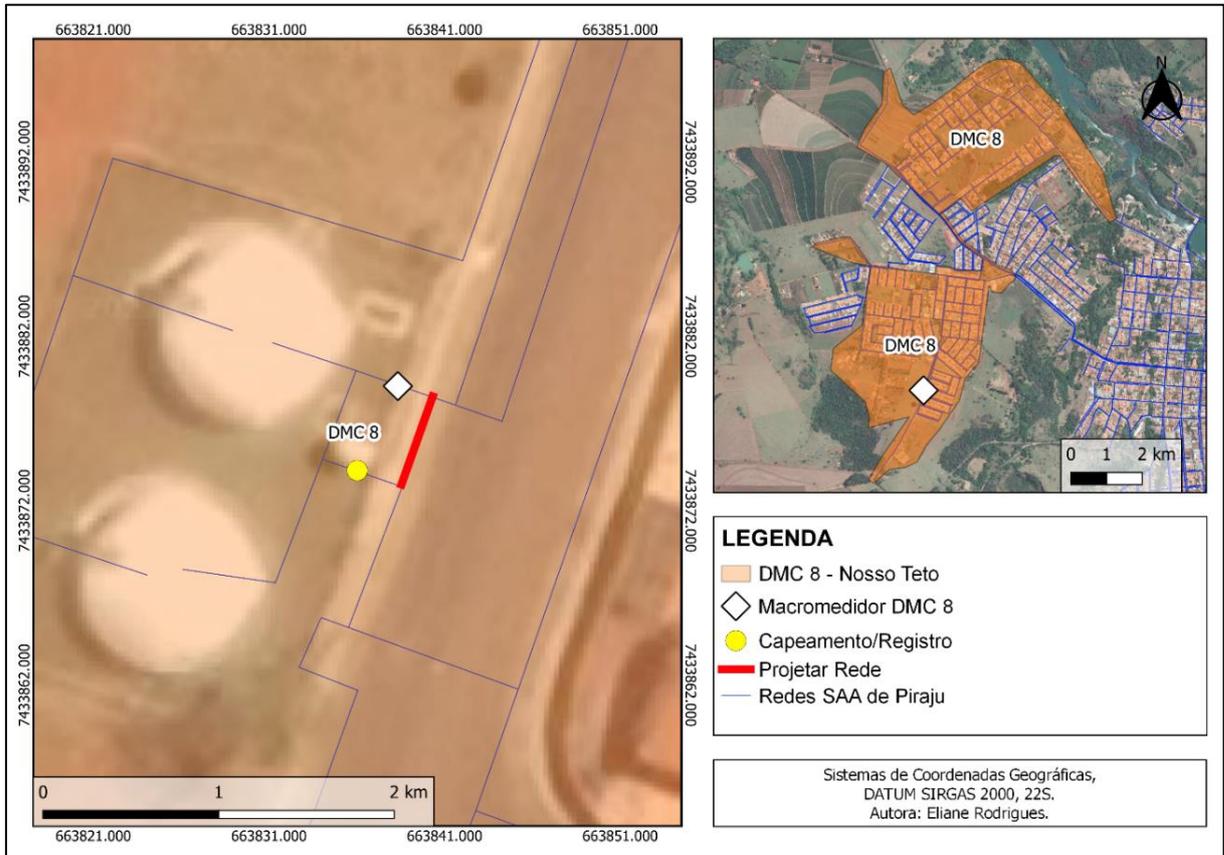
ANEXO E – Intervenções necessária para implantação do DMC 5.1 – R. Quebra de Pressão



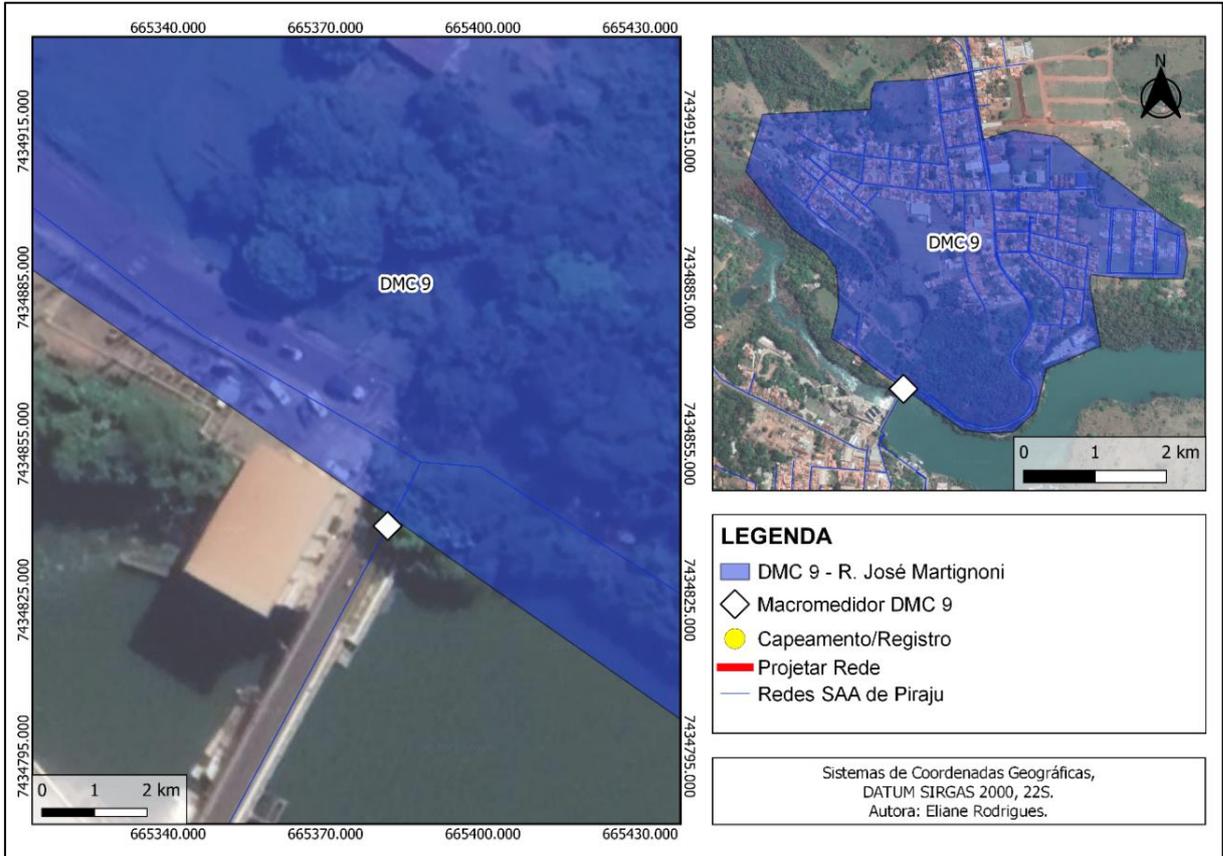
ANEXO F – Intervenções necessária para implantação do DMC 6 – Monte Belo

ANEXO G – Intervenções necessária para implantação do DMC 7 – Alto da Bela Vista



ANEXO H – Intervenções necessária para implantação do DMC 8 – Nosso Teto

ANEXO I – Intervenções necessária para implantação do DMC 9 – R. José Martignoni



ANEXO J – Intervenções necessária para implantação do DMC 9.1 – R. José Ribeiro

