



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CTC -CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Amanda Luiza Petri

**AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE ÁGUA E  
ESGOTO PEDRA BRANCA EM PALHOÇA/SC.**

Florianópolis

2024

Amanda Luiza Petri

**AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE ÁGUA E  
ESGOTO PEDRA BRANCA EM PALHOÇA/SC.**

Trabalho de Conclusão do Curso submetida ao Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Ramon Lucas Dalssasso, Dr.  
Coorientador: Eduardo Fernandes, Eng.

Florianópolis

2024

Petri, Amanda Luiza

Avaliação da gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água : Estudo de caso do Sistema de Água e Esgoto Pedra Branca em Palhoça/SC / Amanda Luiza Petri ; orientador, Ramon Lucas Dalssasso, coorientador, Eduardo Fernandes, 2024.

93 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Sistemas de abastecimento de água . 3. Gestão de perdas. 4. Balanço Hídrico. 5. Distritos de Medição e Controle. I. Dalssasso, Ramon Lucas. II. Fernandes, Eduardo. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Amanda Luiza Petri

**Avaliação da gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água:** estudo de caso do sistema de água e esgoto pedra branca em Palhoça/SC.

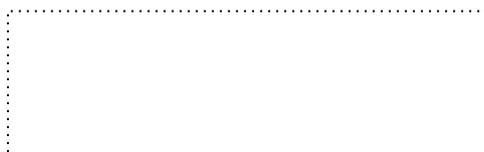
O presente trabalho em nível de graduação foi avaliado e aprovado, em 05 de julho de 2024 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Renata Iza Mondardo, Dr.(a)  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

Fernando Hymnô de Souza, Dr.  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ramon Lucas Dalsasso, Dr.  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental



Coordenação de Graduação



Prof. Ramon Lucas Dalsasso, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2024

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal de Santa Catarina, por ter sido um espaço de grande aprendizado pessoal e profissional.

Ao ENS e aos professores do departamento, por todo aprendizado ao longo destes 5 anos e meio, que me fizeram ter certeza da profissão que escolhi.

Ao professor Ramon Lucas Dalsasso, pela orientação neste trabalho, e por despertar meu interesse na disciplina de abastecimento de água, que me fez procurar me aprofundar neste tema.

A SANOVA, em especial ao Guilherme Girol, pela oportunidade de realizar o estágio, e ao Eduardo Fernandes, por sempre ter a disposição de ensinar e por confiar no meu trabalho.

Aos amigos que a UFSC e a Engenharia Sanitária e Ambiental me deram. Obrigada pela parceria em todos os momentos. Vocês tornaram toda esta jornada mais leve.

Ao meu namorado, Gustavo, por ser a melhor companhia em diversos momentos durante a escrita deste trabalho. Por me apoiar nos momentos de dúvida e comemorar comigo nos momentos de vitória.

Aos meus pais, Marcos e Alésia, por nunca medirem esforços para me proporcionar o melhor. Por sempre incentivarem meus estudos e me darem todo suporte necessário. Por me apoiarem e torcerem por mim em todas as minhas decisões. Sem vocês eu não teria chego até aqui. Obrigada.

## RESUMO

As perdas de água em sistemas de abastecimento representam um grande desafio para as companhias de saneamento do Brasil atualmente. Nesse contexto, é essencial discutir as problemáticas enfrentadas na gestão de perdas. O objetivo principal deste trabalho foi diagnosticar as perdas de água em um sistema de abastecimento e avaliar as principais ações realizadas para controle e redução dessas perdas. O estudo foi conduzido no Sistema de Água e Esgoto (SAE) do bairro Pedra Branca, em Palhoça/SC. Para o diagnóstico das perdas do ano de 2023, utilizou-se a metodologia de Balanço Hídrico Top-Down proposta pela International Water Association (IWA). Através do levantamento de dados do sistema, analisou-se o histórico de perdas no sistema e nos distritos de medição e controle (DMCs), além de identificar as principais ações para controle de perdas realizadas recentemente pelo SAE Pedra Branca. Os resultados indicam que, em 2023, o sistema apresentou um índice de perdas de 15,2%, sendo 46,5% em perdas aparentes e 53,5% em perdas reais. A análise dos dados históricos revelou um aumento nas perdas de água entre 2018 e 2023, possivelmente devido a problemas nos dados dos macromedidores. Desafios na implementação e operação dos DMCs foram identificados, visto que apresentaram índices de perdas negativos. Na análise das ações de controle e redução de perdas, observou-se que a troca de hidrômetros em 2022 resultou em um aumento do volume lido dos hidrômetros e que as pesquisas de vazamentos foram eficazes na identificação de vazamentos ocultos. Conclui-se que a gestão do SAE Pedra Branca enfrenta diversos desafios relacionados às perdas de água no sistema, e o enfrentamento desses, exige ações planejadas e coordenadas entre as equipes técnicas e operacionais. Ademais, ressalta-se a importância da continuidade dos trabalhos de trocas preventivas de hidrômetros e da implementação e gerenciamento dos distritos de medição e controle do sistema.

**Palavras-chave:** Balanço Hídrico; Gestão de Perdas; Distritos de Medição e Controle.

## ABSTRACT

Water losses in supply systems currently represent a significant challenge for sanitation companies in Brazil. In this context, discussing the issues faced in loss management is essential. The main objective of this study was to diagnose water losses in a supply system and evaluate the primary actions taken for controlling and reducing these losses. The study was conducted in the Water and Sewer System (SAE) of the Pedra Branca neighborhood, in Palhoça/SC. For the diagnosis of losses in 2023, the Top-Down Water Balance methodology proposed by the IWA was used. Through the system data collection, the loss history in the system and in the district metered áreas (DMA) was analyzed, in addition to identifying the main actions recently undertaken by SAE Pedra Branca regarding losses. The results indicate that, in 2023, system losses represented 15.2% of the total input volume, with 46.5% being apparent losses and 53.5% real losses. The analysis of historical data revealed an increase in water losses between 2018 and 2023, possibly due to issues with the water entry data. Challenges in the implementation and operation of the DMA were identified, as they showed negative loss indices. In the analysis of the actions for controlling and reducing losses, it was observed that the replacement of water meters in 2022 resulted in an increase in the volume read by the meters and that geophoning campaigns were effective in identifying hidden leaks. It is concluded that the management of SAE Pedra Branca faces several challenges related to water losses in the system, and addressing these requires planned and coordinated actions with the operation teams. Moreover, the importance of continuing the preventive replacement of water meters and the implementation and management of the system's district metering areas.

**Keywords:** Water Balance; Loss Management; District Metering Areas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vazamentos em redes de distribuição.....	19
Figura 2: Matriz de Balanço Hídrico IWA - Método <i>Top - Down</i> . ....	22
Figura 3: Cruz de Lambert para combate a perdas reais. ....	30
Figura 4: Utilização do Geofone. ....	31
Figura 5: Exemplo de um sistema de distribuição de água setorizado. ....	34
Figura 6: Válvula Redutora de Pressão. ....	36
Figura 7: Booster. ....	37
Figura 8: Conversor de frequência. ....	37
Figura 9: Distritos de Medição e Controle.....	38
Figura 10: Cruz de Lambert para combate a perdas aparentes. ....	40
Figura 11: Erros de medição associados ao tipo de macromedidor. ....	41
Figura 12: Tubo pitot instalado para verificação de medidor. ....	42
Figura 13: Rendimento de medidores velocimétricos em função do tempo de instalação. ....	43
Figura 14: Curva de erros de medidores velocimétricos classe B.....	43
Figura 15: Fluxograma esquemático da metodologia. ....	46
Figura 16: Localização do bairro Pedra Branca.....	47
Figura 17: Entradas de água e reservatórios do sistema. ....	48
Figura 18: Software de Balanço Hídrico WB – EasyCalc. ....	52
Figura 19: Avaliação de ligações clandestinas. ....	55
Figura 20: Curva de desempenho da micromedição para hidrômetros classe B.....	57
Figura 21: Topografia do Bairro Pedra Branca. ....	62
Figura 22: Pressões máximas - vazão mínima noturna.....	63
Figura 23: Pressões mínimas- vazão máxima horária.....	63

Figura 24: Distritos de Medição e Controle existentes.....	64
Figura 25: Quantidade de hidrômetros por ano de instalação. ....	66
Figura 26: Quantidade de ligações ativas por faixa de consumo – ano base 2023. ....	67
Figura 27: Evolução das perdas no SAE Pedra Branca- 2018 a 2023. ....	68
Figura 28: Evolução do número de ligações e economias - 2018 a 2023. ...	69
Figura 29: Parcelas de volume produzido e importado - 2018 a 2023.....	70
Figura 30: Matriz Balanço Hídrico SAE Pedra Branca - 2023. ....	71
Figura 31: Volume de perdas reais.....	73
Figura 32: Indicadores de performance de perdas reais. ....	74
Figura 33: Indicadores de Performance de perdas aparentes.....	74
Figura 34: Indicadores de Performance de ‘Água Não Faturada’.....	75
Figura 35: Medidores Ultrassônicos instalados nos DMCs.....	76
Figura 36: DMC Reserva da Pedra.....	80
Figura 37: Histórico de perdas - DMC Reserva da Pedra.....	80
Figura 38: Campanha de geofonamento. ....	81
Figura 39: Local com identificação de vazamento na rede.....	82
Figura 40: Local com identificação de vazamento no pé do cavalete.....	82
Figura 41: Reparo do vazamento na rede identificado pelo geofonamento..	83
Figura 42: Reparo do vazamento na rede identificado pelo geofonamento..	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Categorias de performance - índice infraestrutural de perdas.....	28
Tabela 2: Volumes de entrada no sistema - 2023. ....	52
Tabela 3: Faixas de idade e submedição de hidrômetros consideradas no Balanço Hídrico - 2023. ....	58
Tabela 4: Pressão média por DMC.....	59
Tabela 5: Dados dos Distritos de Medição e Controle.....	65
Tabela 6: Volumes micromedidos mensais (2021 e 2023) dos hidrômetros trocados em 2022.....	84
Tabela 7: Problemáticas identificadas no âmbito de perdas reais.....	86
Tabela 8: Problemáticas identificadas no âmbito de perdas aparentes.....	87

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS GERAIS .....	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1	PERDAS DE ÁGUA .....	17
<b>2.1.1</b>	<b>Perdas reais</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Perdas aparentes</b> .....	<b>19</b>
2.2	MÉTODOS PARA DIAGNÓSTICO DE PERDAS DE ÁGUA .....	20
<b>2.2.1</b>	<b>Balço Hídrico - Método Top-down</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Indicadores de desempenho para perdas de água</b> .....	<b>26</b>
2.2.2.1	<i>Índice de perdas totais</i> .....	26
2.2.2.2	<i>Índice de perdas por ramal</i> .....	26
2.2.2.3	<i>Índice de perdas por extensão de rede</i> .....	27
2.2.2.4	<i>Índice infra estrutural de perdas</i> .....	27
2.3	AÇÕES PARA CONTROLE DE PERDAS REAIS.....	29
<b>2.3.1</b>	<b>Controle e detecção de vazamentos</b> .....	<b>30</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Agilidade e qualidade dos reparos</b> .....	<b>32</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Setorização e gerenciamento de pressão</b> .....	<b>32</b>
2.3.3.1	<i>Zonas de Pressão</i> .....	34
2.3.3.1.1	<i>Reservatórios</i> .....	35
2.3.3.1.2	<i>Válvulas Redutoras de Pressão</i> .....	35
2.3.3.1.3	<i>Estações pressurizadoras de água (boosters)</i> .....	36
2.3.3.2	<i>Distritos de Medição e controle</i> .....	37
<b>2.3.4</b>	<b>Gerenciamento da infraestrutura</b> .....	<b>38</b>
2.4	AÇÕES PARA CONTROLE DE PERDAS APARENTES.....	40

2.4.1	<b>Cadastro e sistema comercial</b> .....	40
2.4.2	<b>Redução de erros de medição</b> .....	41
2.4.3	<b>Combate a fraudes</b> .....	44
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	46
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO .....	46
3.1.1	<b>Sistema de abastecimento de água</b> .....	47
3.2	LEVANTAMENTO DE DADOS CADASTRAIS .....	48
3.2.1	<b>Cadastro técnico</b> .....	48
3.2.2	<b>Cadastro comercial</b> .....	49
3.2.3	<b>Modelo hidráulico computacional</b> .....	49
3.3	LEVANTAMENTO DO HISTÓRICO DE PERDAS DE ÁGUA.....	50
3.4	DIAGNÓSTICO DAS PERDAS DE ÁGUA ATUAIS .....	51
3.4.1	<b>Balço Hídrico pela metodologia IWA</b> .....	51
3.4.2	<b>Dados de entrada</b> .....	52
3.4.2.1	<i>Volume de Entrada no Sistema</i> .....	52
3.4.2.2	<i>Consumo faturado</i> .....	54
3.4.2.2.1	Consumo faturado medido.....	54
3.4.2.3	<i>Consumo não faturado</i> .....	54
3.4.2.3.1	Consumo medido não faturado.....	54
3.4.2.3.2	Consumo não medido não faturado.....	54
3.4.2.4	<i>Consumo não autorizado</i> .....	55
3.4.2.4.1	Ligações clandestinas.....	55
3.4.2.4.2	Hidrômetros violados, by-passes;.....	56
3.4.2.4.3	Consumo médio per capita .....	56
3.4.2.5	<i>Imprecisões dos medidores e erros de manipulação de dados</i> .....	56
3.4.2.5.1	Submedição.....	56

3.4.2.5.2	Erros de manipulação de dados .....	58
3.4.2.6	<i>Redes de distribuição</i> .....	58
3.4.2.6.1	Comprimento de rede .....	58
3.4.2.6.2	Comprimento médio do ramal.....	59
3.4.2.6.3	Número de clientes registrados, ativos e inativos .....	59
3.4.2.7	<i>Pressão na rede</i> .....	59
3.4.2.8	<i>Abastecimento intermitente</i> .....	59
3.4.2.9	<i>Dados Financeiros</i> .....	60
3.4.2.9.1	Tarifa média .....	60
<b>3.4.3</b>	<b>Cálculo dos Indicadores de Desempenho .....</b>	<b>60</b>
3.5	AVALIAÇÃO DE AÇÕES REALIZADAS PARA CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS.....	60
3.5.1	<b>Implantação e operação de distritos de medição e controle .....</b>	<b>60</b>
3.5.2	<b>Ações no âmbito das perdas reais .....</b>	<b>60</b>
3.5.3	<b>Ações no âmbito das perdas aparentes .....</b>	<b>61</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
4.1	ANÁLISE DE DADOS DO SISTEMA DE ÁGUA .....	62
4.1.1	<b>Topografia e pressões no sistema .....</b>	<b>62</b>
4.1.2	<b>Distritos de Medição e Controle .....</b>	<b>64</b>
4.1.3	<b>Análise do parque de hidrômetros .....</b>	<b>65</b>
4.2	HISTÓRICO DE PERDAS NO SAE PEDRA BRANCA.....	67
4.3	DIAGNÓSTICO DAS PERDAS DE ÁGUA ATUAIS .....	70
4.3.1	<b>Matriz de balanço hídrico para o ano de 2023 .....</b>	<b>70</b>
4.3.2	<b>Indicadores de perdas para o ano de 2023.....</b>	<b>72</b>
4.4	AVALIAÇÃO DE AÇÕES DE CONTROLE ATIVO DE PERDAS REALIZADAS NO SAE PEDRA BRANCA .....	75
4.4.1	<b>Avaliação das perdas nos distritos de medição e controle .....</b>	<b>75</b>

4.4.2	Análise de perdas reais no DMC Reserva da Pedra.....	79
4.4.3	Análise da troca de hidrômetros de 2022 .....	84
4.4.4	Problemáticas identificadas na gestão de perdas .....	85
5	CONCLUSÕES.....	88
	REFERÊNCIAS .....	90
	ANEXO 1 - HISTÓRICO DE PERDAS NOS DMCS: MAI/23 A ABR/24. ...	92

## 1 INTRODUÇÃO

As perdas de água em sistemas de distribuição são um grande desafio para as companhias públicas e privadas de saneamento atualmente. Conforme dados do SNIS 2022, o índice médio de perdas no Brasil é de aproximadamente 37,8%. Segundo a AESBE (2015), os primeiros esforços para a gestão de perdas no país começaram na década de 1990. Desde então, diversos avanços foram alcançados, mas novos desafios continuam surgindo, tornando o tema relevante ainda hoje.

De forma simplificada, perdas de água referem-se a diferença entre a quantidade de água que entra no sistema (macromedição) e a quantidade de água consumida pelos clientes (micromedição). Pode-se classificar as perdas como físicas, decorrentes, por exemplo, de vazamentos, ou perdas aparentes, relacionadas às submedições de hidrômetros e ligações clandestinas. Essas perdas representam não só um desperdício de água tratada, como também prejuízo financeiro para as companhias de saneamento.

A problemática da gestão de perdas de água em sistemas de abastecimento envolve a identificação, quantificação e mitigação de perdas de água ao longo da distribuição. Diante de um cenário de crise na disponibilidade hídrica em algumas regiões, bem como a necessidade de evolução da eficiência na gestão do saneamento no Brasil, as ações de controle e redução de perdas são de fundamental importância.

O passo inicial para execução de ações voltadas às perdas de água é a instalação de dispositivos de controle e monitoramento dos dados de volume, vazão e pressão. Contudo, apenas o controle e o gerenciamento não são suficientes quando se busca uma gestão voltada à melhoria contínua. A execução de ações práticas para identificação das causas das perdas e a implementação das melhorias necessárias são fundamentais para a efetiva diminuição dos índices de perdas nos sistemas de abastecimento de água.

### 1.1 OBJETIVOS GERAIS

Diagnosticar as perdas de água do sistema de abastecimento de água do bairro Pedra Branca, em Palhoça /SC, buscando avaliar as ações implementadas para o controle e redução dessas perdas.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar os dados cadastrais e operacionais do sistema de distribuição de água do bairro Pedra Branca.
- Avaliar o histórico de perdas no sistema e nos distritos de medição e controle para o período de 2018 a 2023.
- Diagnosticar as perdas do sistema para o ano de 2023.
- Avaliar as ações de controle e redução de perdas e propor melhorias na gestão.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PERDAS DE ÁGUA

As perdas de água em sistemas de abastecimento referem-se à quantidade de água perdida durante o processo de distribuição, que não chega ao consumidor final ou não é contabilizada. Essas perdas podem ocorrer de várias formas, incluindo vazamentos em tubulações, submedição de hidrômetros, ligações clandestinas, extravasamento de reservatórios, entre outras questões.

O volume de água perdido na rede de distribuição varia de sistema para sistema dependendo de fatores locais como topografia, extensão de rede, número de ligações, procedimentos internos da companhia e de quão bem o sistema está sendo operado e mantido. Em um sistema bem operado, as perdas de água devem ser continuamente monitoradas e controladas, além de frequentemente reportadas por meio de relatórios de gestão, que podem ser mensais ou anuais (LAMBERT; HIRNER, 2002).

Para compreender as perdas de água nos sistemas de abastecimento, é crucial reconhecer que atingir uma situação de "perda zero" é impraticável. O controle das perdas é delimitado por dois parâmetros: o limite técnico, que representa o máximo possível de redução alcançável mediante a aplicação de todas as técnicas e tecnologias disponíveis na atualidade. Após a utilização desses recursos, qualquer vazamento remanescente é considerado inevitável. Por outro lado, há o Limite Econômico, que corresponde ao nível de perdas em que o custo para recuperar um volume específico de água excede o custo de produção e distribuição desse volume (AQUINO, 2007, apud MOTTA, 2010).

Um dos princípios essenciais para desenvolver estratégias de controle de perdas é compreender o significado relativo de cada componente do volume perdido. Isso garante que cada componente seja medido ou estimado com a máxima precisão possível, possibilitando a hierarquização de ações para combater as perdas e a construção de indicadores de desempenho (HELLER; PÁDUA, 2006).

Em geral, a literatura define duas categorias de perdas que ocorrem em sistemas de abastecimento de água, as perdas físicas, também denominadas perdas reais, e as perdas aparentes, também conhecidas como perdas comerciais.

### 2.1.1 Perdas reais

Segundo a International Water Association (IWA) Standart Definitions (2002), as perdas reais em sistemas de abastecimento de água constituem perdas decorrentes de vazamentos em adutoras, redes de distribuição, ramais prediais e extravasamento de reservatórios de distribuição. Estas perdas, portanto, ocorrem entre a entrada de água do sistema e o cavalete do consumidor, e correspondem a parcela de água efetiva e fisicamente perdida, não sendo consumida ou faturada.

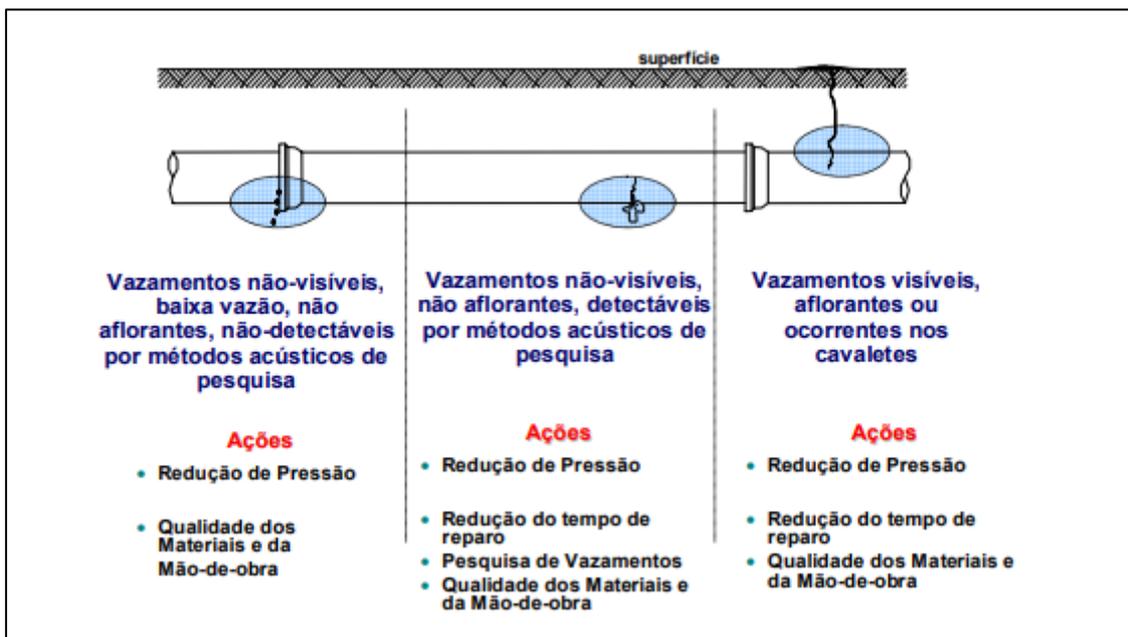
As perdas reais estão intrinsecamente relacionadas a questão ambiental, no que se refere à utilização da água bruta dos mananciais que compõem o sistema produtor. Em um cenário de escassez hídrica presenciado nas últimas décadas no Brasil, quanto menor o volume perdido no sistema, menor é a necessidade de ampliação da captação e produção, ocasionando menores impactos ambientais. (VICENTINI, 2012).

Além disso, a redução das perdas físicas permite diminuir os custos de produção, mediante redução do consumo de energia, de produtos químicos e outros componentes relevantes nos processos de captação e tratamento de água. Tendo em vista o cenário de aumento de consumo em grande parte dos municípios brasileiros, a possibilidade de utilizar as instalações existentes para aumentar a oferta, sem expansão do sistema produtor, evitando assim altos investimentos por parte das companhias, é somente possível através de ações de combate a perdas reais (VICENTINI, 2012).

Além dos impactos ambientais e financeiros, as perdas reais podem significar riscos a qualidade da água de distribuição, pois a existência de pontos de vazamento, aliado a despressurização do sistema, podem levar a possibilidade de contaminação de agentes externos. Estes fatores, conseqüentemente, trazem riscos à saúde dos consumidores. (TARDELLI, 2006)

Segundo Tardelli Filho (2006) os vazamentos na rede de distribuição, relacionados as perdas reais, podem ser de três origens, conforme especificadas na Figura 1.

Figura 1: Vazamentos em redes de distribuição.



Fonte: Tardelli Filho, 2006.

Entre as ações de controle e gerenciamento das perdas reais, associadas aos tipos de vazamentos descritos por Tardelli Filho (2006), está a redução de pressão. A redução de pressão consiste em manter as pressões do sistema em níveis mínimos possíveis, durante a maior parte do tempo, sem prejuízo de atendimento aos consumidores. Para realizar este controle, são utilizadas de estratégias como a setorização das redes de distribuição e implementação de válvula redutoras de pressão.

Outras ações de controle estão relacionadas a fatores operacionais, como redução do tempo de reparo, qualidade dos materiais e mão de obra para realização de consertos de vazamentos. Além disso, fatores gerenciais como definição de campanhas de pesquisa de vazamento utilizando métodos acústicos também são ações relevantes.

### 2.1.2 Perdas aparentes

A perdas aparentes, também conhecidas como perdas comerciais, referem-se aos volumes consumidos, mas não contabilizados pela companhia de saneamento. Estas perdas podem decorrer de consumos não autorizados, como fraudes e ligações clandestinas, e de erros de medição, pela submedição de hidrômetros. (TARDELLI, 2006).

De maneira geral, as perdas aparentes têm maior impacto no faturamento das companhias, uma vez que estão intrinsecamente relacionadas ao principal mecanismo de geração de receita: a cobrança de tarifa de água conforme medição do consumo.

Segundo Vicentini (2012), a identificação e avaliação das perdas aparentes requerem uma análise sistemática da gestão comercial da companhia de saneamento, juntamente com pesquisas de campo em amostras selecionadas de consumidores típicos, além da identificação de fraudes e ligações clandestinas, abrangendo, de modo geral, os seguintes tópicos:

- Avaliação do cadastro comercial
- Gestão de grandes consumidores
- Pesquisa de consumidores típicos
- Política de controle de cortes
- Supressões e ligações inativas
- Diagnostico da gestão do parque de hidrômetros
- Pesquisa de fraudes
- Controle de áreas invadidas e favelas
- Consumos públicos e de prédios próprios

## 2.2 MÉTODOS PARA DIAGNÓSTICO DE PERDAS DE ÁGUA

Existem diversas perspectivas sobre o que constitui perdas em sistemas de água, e como resultado, as empresas de saneamento não alcançam consenso, tanto em relação a metodologias de gestão como no estabelecimento de indicadores. Para abordar essa questão, diversos esforços internacionais foram realizados para estabelecimento de terminologias padrões e indicadores, visando facilitar comparações de desempenho entre sistemas diversos e garantir um acompanhamento adequado dos indicadores (VICENTINI, 2012).

Dentre os esforços citados, destaca-se a atuação da Water Loss Task Force, da IWA que segue trabalhando a respeito da temática de perdas desde 1955, tendo já contribuído com grandes avanços, tornando-se a principal referência internacional no assunto. Como exemplo de ações realizadas pela IWA, pode-se citar a sistematização das metodologias existentes, a melhor compreensão da relação

vazamento e pressão, a modelagem de balanços hídricos e o desenvolvimento de indicadores de perdas (AESBE, 2015).

A metodologia IWA propõe duas abordagens para quantificação de perdas: o “balanço hídrico” (top – down) e a utilização da vazão mínima noturna (bottom-up). (LAMBERT et al, 2002).

### **2.2.1 Balanço Hídrico - Método Top-down**

A metodologia de balanço hídrico denominada Top-Down permite a quantificação e tipificação das perdas reais e aparentes nos sistemas. Essa metodologia é recomendada para análises do ponto de vista macroscópico das perdas e é aplicável, preferencialmente, para setores de abastecimento de grande porte ou em sistemas de abastecimentos em sua totalidade.

Os balanços hídricos, em sua essência, são ‘balanços de massa’ feitos com dados comerciais e operacionais preferencialmente anuais, portanto, de mesma base física e temporal. A escolha de trabalhar com dados anuais se dá por conta de uma série de vantagens, como a dispersão de efeitos sazonais de consumo, minimização das defasagens entre as leituras dos micromedidores e dos macromedidores e minimização de efeitos decorrentes da incompatibilidade entre os setores comerciais e técnicos, que podem gerar diferenças significativas entre os volumes totalizados (AESBE, 2015).

É importante ressaltar que a abordagem do balanço hídrico é apresentada pela perspectiva da infraestrutura, ou seja, são levados em consideração os volumes reais que compõem o balanço de massa e não aqueles que porventura decorram de regras comerciais de negócio. Desta maneira, o balanço hídrico fornece a possibilidade de geração de indicadores adequados para avaliação do fenômeno das perdas de água, oferecendo dados de maior confiabilidade para os gestores (MOTTA, 2010).

Um exemplo bastante comum desta questão é o estabelecimento de volumes mínimos na cobrança da fatura. No Brasil, muitas empresas costumam faturar um ‘consumo mínimo’ quando os hidrômetros registram menos que 10 m<sup>3</sup>/ mês por economia, no caso de usuários residenciais. Neste caso, uma residência que consumiu 3 m<sup>3</sup>/mês, forneceu para a companhia um faturamento proporcional a 10

m<sup>3</sup>/mês. Porém, para a técnica do balanço hídrico, deve-se utilizar como referência o volume medido no hidrômetro, que corresponde ao real consumo de água daquela residência (AESBE, 2015).

Pode-se entender a técnica de balanço hídrico como uma técnica de modelagem, ou seja, busca fazer uma aproximação da realidade das perdas do sistema. Sabe-se, entretanto, que a modelagem pode não representar fielmente a realidade, seja por conta das parcelas de dados estimados ou por erros nos medidores. O balanço hídrico, por definição, é modelado para um grau de confiança de 95% e as incertezas de medição e estimativas associadas a cada dado de entrada devem ser inseridas no decorrer da modelagem (AESBE, 2015).

Figura 2: Matriz de Balanço Hídrico IWA - Método *Top - Down*.

Volume Produzido	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Faturado	Consumo faturado medido	Águas Faturadas
			Consumo faturado não-medido	
		Consumo Autorizado Não Faturado	Consumo não faturado medido (usos próprios, caminhão -pipa, etc)	Águas Não Faturadas
			Consumo não faturado não medido (hidrantes, favelas, etc)	
	Perdas de água	Perdas Aparentes	Consumo não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)	
			Submedição dos hidrômetros	
		Perdas Reais	Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
			Vazamentos nos ramais a montante do hidrômetro	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios	

Fonte: IWA, BLUE PAGES (2000).

A explicação de cada componente do Balanço Hídrico Top-Down é apresentada a seguir:

- **Volume de entrada no sistema (VE):**

Segundo Tardelli Filho (2006), a água que entra no sistema refere-se ao volume anual de água introduzido no recorte do sistema objeto de cálculo, este podendo ser o volume produzido em uma ETA, volume de saída de um reservatório ou derivação de adutora, volume de entrada de um DMC – Distrito de Medição e Controle.

- **Volume faturado medido (VFM):**

Corresponde ao volume anual de água medido pelos hidrômetros instalados nas ligações de água e que geraram faturamento para a companhia. Este dado deve ser extraído do cadastro comercial, considerando diferentes categorias de consumidores (doméstico, comercial ou industrial) e posteriormente validado. Deve-se dar atenção ao intervalo de tempo das leituras dos hidrômetros, de forma a assegurar que o período de consumo faturado utilizado para o balanço hídrico seja compatível com o período de referência do estudo (VICENTINI, 2012).

- **Volume faturado não medido (VFNM):**

Volume anual de água entregue nas ligações sem hidrômetros e que foram faturados. O consumo faturado não medido pode ser obtido do sistema comercial de faturamento/cobrança (AESBE, 2015).

É importante observar que as estimativas usadas para fins de faturamento podem estar consideravelmente afastadas da realidade, podendo ser superiores ou inferiores ao consumo real. Para avaliar a precisão dessas estimativas, os clientes residenciais cujo consumo não é medido podem ser identificados e monitorados ao longo de um período específico. Isso pode ser feito instalando medidores nas ligações não medidas ou através do monitoramento de uma amostra de clientes não medidos em uma determinada área (AESBE, 2015)

- **Volume não faturado medido (VNFM):**

Refere-se a volumes anuais medidos (portanto, sabe-se o volume consumido) que são autorizados pela companhia, embora não gerem faturamento. Esses volumes incluem o uso próprio da concessionária, purgas de rede, lavagem de reservatórios, combate a incêndios, entre outros. São considerados também, os volumes referentes a ocupações irregulares ou favelas, em que o consumo é autorizado e medido, porém não faturado.

- **Volume não faturado não medido (VNFNM):**

Refere-se a volumes anuais não medidos (portanto, estimados) que são autorizados pela companhia, embora não gerem faturamento. Esses volumes incluem o uso próprio da concessionária, purgas de rede, lavagem de reservatórios, combate a incêndios, entre outros. São considerados também, os volumes referentes a ocupações irregulares ou favelas, em que o consumo é autorizado, porém não é medido e nem faturado.

- **Consumo não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)**

Consiste nos volumes anuais de água entregues a usuários de forma não autorizada pela companhia, como no caso de fraudes nos medidores ou mesmo falhas nos cadastros comerciais. Dependendo de características socioeconômicas e culturais da região, a frequência de casos de fraudes pode variar, mas em geral, está bastante presente no dia a dia das companhias de saneamento no Brasil.

Segundo Vicentini (2012), os principais tipos de fraudes são: inserção de obstáculos na relojoaria do hidrômetro; tubulação em paralelo ao hidrômetro (by pass); hidrômetros invertidos ou não alinhados; ligações irregulares.

Quanto às falhas existentes nos cadastros comerciais, conforme Brasil (1999) citado por Vicentini (2012), as principais consistem em: ligações não-cadastradas; tipo de ligação incorreta; tipo de consumidor incorreto; falta de controle de ligações cortadas e suprimidas.

- **Submedição dos hidrômetros**

Refere-se aos volumes anuais de água entregues aos usuários que não foram registrados pelos hidrômetros, devido a problemas de eficiência. Fatores como idade do parque de hidrômetros, gestão de grandes consumidores e correto dimensionamento dos medidores contribuem para a submedição, portanto, devem ser considerados na análise e definição do volume de submedição. Idealmente, o grau de imprecisão dos hidrômetros deve ser estabelecido com base em teste de bancada de uma amostra aleatória representativa do parque, refletindo características de diversos tipos, faixas etárias e lotes de compra. Os erros devem ser periodicamente avaliados e incorporados à matriz de balanço hídrico (VICENTINI, 2012).

- **Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição**

Perdas decorrentes de vazamentos nas adutoras ocorrem quando as tubulações destinadas ao transporte das vazões para distribuição pela rede sofrem rompimentos. Devido às grandes vazões transportadas nessas tubulações, vazamentos em adutoras são relativamente fáceis de identificar. Desta forma, é recomendável localizar e reparar rapidamente os vazamentos para evitar danos a infraestrutura urbana, além de prejudicar o abastecimento em locais do sistema, por conta da queda de pressão na rede.

Já as perdas na distribuição ocorrem devido a vazamentos nas redes de distribuição, que por definição apresentam diâmetros menores e transportam menores vazões. Embora os vazamentos sejam de menor magnitude em relação a vazão, são muito mais numerosos, dispersos, e frequentemente difíceis de serem identificados. A identificação e reparo destes vazamentos é bastante onerosa as companhias, especialmente se não forem realizadas com critérios técnicos adequados.

Os vazamentos que ocorrem tanto nas redes de distribuição como nas adutoras podem ocorrer devido à má qualidade dos materiais utilizados, pressões altas nas redes, manobras operacionais que ocasionam transientes hidráulicos, redes antigas com material obsoleto, como cimento amianto, e ausência de manutenções preventivas no sistema (VICENTINI, 2012).

- **Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios**

Os vazamentos em reservatórios ocorrem devido à falta de impermeabilização adequada nos tanques e podem ser medidos através de testes de estanqueidade. Já os extravasamentos ocorrem pela falta de dispositivos de controle e alerta instalados nos reservatórios.

- **Vazamentos nos ramais**

Segundo MOTTA (2010), a maior parte dos vazamentos ocorre nos ramais prediais. Este fato ocorre, principalmente devido a qualidade e variação dos materiais utilizados, além de fatores já mencionados como pressões altas disponíveis na rede. Frequentemente em companhias são realizados vários reparos de vazamento em um mesmo ramal. De forma a reduzir o número de ocorrências de vazamento, é

recomendado o estabelecimento de padrões de qualidade de materiais utilizados e troca total dos ramais que apresentam histórico de vazamentos e reparos.

## 2.2.2 Indicadores de desempenho para perdas de água

Os indicadores permitem retratar a situação das perdas, gerenciar a evolução dos volumes perdidos, redirecionar ações de controle e, em princípio, comparar sistemas de abastecimento de água distintos. A correta aplicação e interpretação dos indicadores pressupõe: entendimento universal das parcelas que compõem as perdas, medições sistematizadas ou critérios claros de estimativas de volumes não medidos (TARDELLI FILHO, 2006).

Existem diversos indicadores específicos que estão vinculados as ações de controle de perdas. Os principais indicadores, segundo Tardelli Filho (2006), serão apresentados a seguir:

### 2.2.2.1 *Índice de perdas totais*

O indicador percentual de perdas totais relaciona o volume total perdido (Perdas reais e perdas aparentes) com o volume total disponibilizado ao sistema (volume fornecido).

A expressão é dada por:

$$\text{Índice de perdas} = \text{IP} = \frac{\text{Volume Perdido Total}}{\text{Volume Fornecido}} \times 100 (\%)$$

### 2.2.2.2 *Índice de perdas por ramal*

O indicador relaciona o Volume perdido Total Anual como número médio de ramais existente na rede de distribuição de água, introduzindo um 'fator de escala' que permite comparar sistemas de diferentes tamanhos.

A expressão é dada por:

$$\text{Índice de perdas por Ramal} = \frac{\text{Volume Perdido Anual (m}^3\text{)}}{(\text{N}^\circ \text{ de Ramais} \times 365)} \text{ (m}^3\text{/ramal.dia)}$$

Este índice pode ser também apresentado diferenciando perdas reais e aparentes, basta utilizar o volume perdido referente a parcela analisada.

### 2.2.2.3 *Índice de perdas por extensão de rede*

O indicador relaciona o Volume Perdido Total Anual com o comprimento da rede de distribuição de água existente no sistema em análise.

A expressão é dada por:

$$\text{Índice de perdas por ext. de rede} = \frac{\text{Volume Perdido Anual (m}^3\text{)}}{(\text{Extensão da rede (km)} \times 365)} \text{ (m}^3\text{/km.dia)}$$

### 2.2.2.4 *Índice infra estrutural de perdas*

O indicador é um número adimensional, obtido a partir da relação entre o nível atual de perdas encontrado em um sistema e o nível mínimo de perdas esperado para o sistema (perdas inevitáveis).

A expressão é dada por:

$$\text{Índice infra estrutural} = \frac{\text{Volume Perdido Total Anual}}{\text{Volume Perdido Total Inevitável Anual}} \text{ (adimensional)}$$

A equação que define o valor das perdas inevitáveis é dada por:

$$\text{PRAI} = \left( \frac{18 \times L + 0,8 \times N}{1000} \right) \times p$$

Onde:

- PRAI = Perda Real Inevitável (m<sup>3</sup>/dia)
- P = carga piezométrica média de operação na área de estudo em (mH<sub>2</sub>O);
- L = extensão da rede na área em (km)
- N = número de ligações em (ligações)

As perdas reais inevitáveis são aquelas que ocorrem durante o intervalo entre a detecção de um vazamento e sua efetiva reparação. Essas perdas inevitáveis têm valores de referência estabelecidos após estudos realizados pela IWA. Os valores de referência são: para rede, 18 L/dia/km/mH<sub>2</sub>O e; para ramais, 0,8 L/dia/ramal/mH<sub>2</sub>O. (LAMBERT, 1999 citado por MOTTA, 2010).

Quanto mais distante de 1, pior é a condição de perdas do sistema. A vantagem deste indicador é a incorporação de variáveis como a pressão de operação da rede. Este indicador também pode ser estendido para aplicações na avaliação de perdas reais e aparentes separadamente.

Liemberger et al. (2021) recomenda o uso do índice infra estrutural de perdas como um indicador chave para avaliação de ocorrência de vazamentos em sistemas de abastecimento. Liemberger propôs faixas de índices infraestruturais que determinam a qualidade do sistema de abastecimento, possibilitando assim, avaliar qual nível um determinado sistema está e quais ações deverão ser tomadas para gerenciamento das perdas. Devido a diferenças significativas entre sistemas de países desenvolvidos e em desenvolvimento, as faixas foram diferenciadas considerando ambas as realidades. O resultado da classificação sugerida pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1: Categorias de performance - índice infraestrutural de perdas.

Categoria de performance técnica		IIE	litros/ligação/dia (quando o sistema está pressurizado) numa pressão média de:				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
País Desenvolvido	A1	< 1.5		< 25	< 40	< 50	< 60
	A2	1.5 - 2		25-50	40-75	50-100	60-125
	B	2 - 4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4 - 8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
País em Desenvolvimento	A1	< 2	< 25	< 50	< 75	< 100	< 125
	A2	2-4	25-50	50-100	75-150	100-200	125-250
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

Fonte: WB EasyCalc, 2021.

Conforme definido por Liemberger (2021), as categorias de performance técnica A1, A2, B, C e D apresentam as seguintes características e indicações de melhorias:

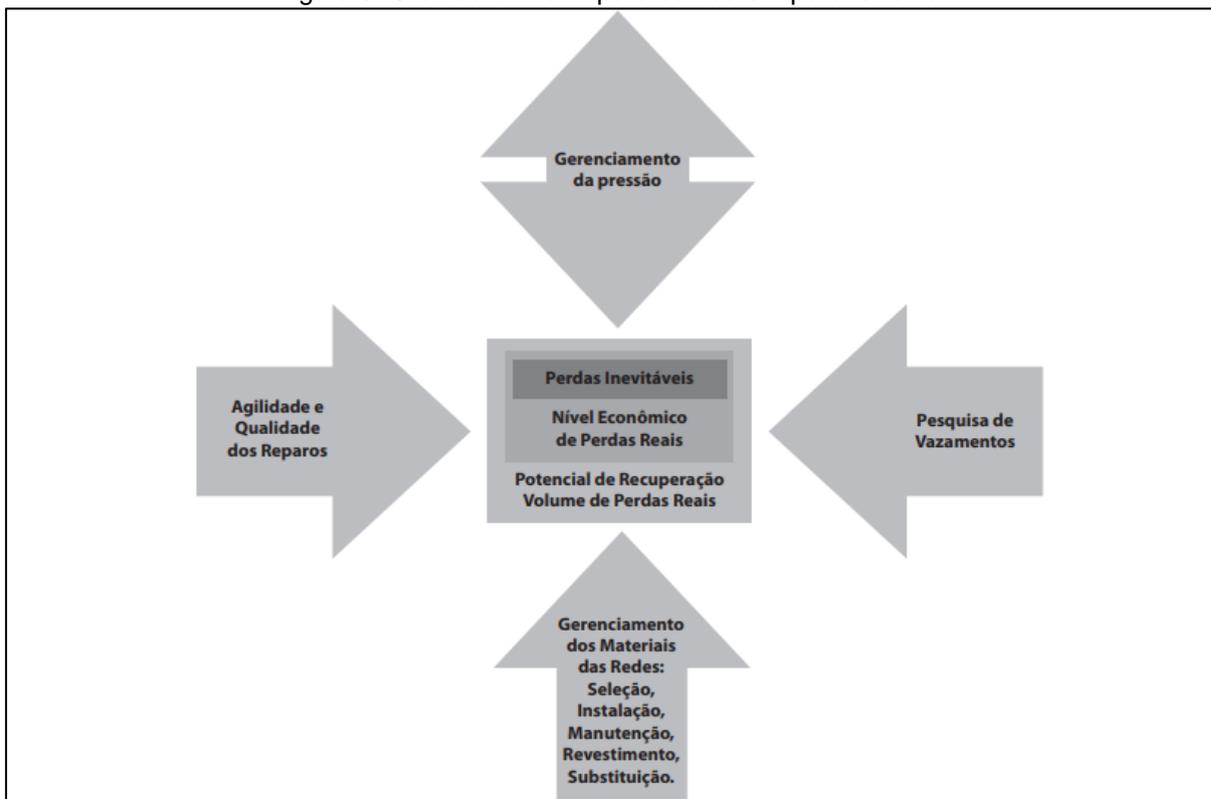
- **A1:** O potencial para maiores reduções de perdas não registradas é pequeno, a menos que ainda haja potencial para redução de pressão ou melhoria na precisão dos medidores de grandes clientes.
- **A2:** Redução adicional de perda pode não ser econômica, a menos que haja insuficiência de abastecimento ou tarifas muito altas; são necessárias análises mais criteriosas para identificar melhorias economicamente viáveis.

- **B:** Potencial para melhorias significativas; validar um balanço hídrico para quantificar os componentes de perdas; considerar gerenciamento de pressão, melhores práticas de controle ativo de vazamentos, e melhor manutenção da rede; melhorar o gerenciamento de medidores de clientes, revisar procedimentos de leituras de medidores, manuseio de dados e processamento de contas e identificar potenciais de melhoria.
- **C:** Registro deficiente de vazamentos; tolerável somente se a água é abundante e barata; mesmo assim, analisar o nível e a natureza das perdas e intensificar os esforços para redução de perdas.
- **D:** Muito ineficiente; um programa abrangente de redução de perdas é imperativo e altamente prioritário.

### 2.3 AÇÕES PARA CONTROLE DE PERDAS REAIS

No que tange à aplicação de ações para controle e redução de perdas, a Cruz de Lambert (Figura 3) é bastante representativa, visto que apresenta os principais âmbitos de soluções de controle que podem ser aplicadas para redução de perdas, sejam elas reais ou aparentes. Sua interpretação é bastante simples, o retângulo interno representa o volume de perdas físicas de um sistema de distribuição, que pode ser reduzido até o atingimento do nível econômico de perdas pela combinação das quatro atividades de controle: gerenciamento da pressão; pesquisa de vazamentos; gerenciamento dos materiais das redes; agilidade e qualidade dos reparos.

Figura 3: Cruz de Lambert para combate a perdas reais.



Fonte: FUNASA, 2014.

### 2.3.1 Controle e detecção de vazamentos

Estudos realizados na região metropolitana de São Paulo concluíram que, em função da sua extensão e condições de implantação, as redes de distribuição e os ramais prediais são as partes dos sistemas onde ocorrem o maior número de vazamentos e o maior volume perdido. Dos vazamentos reparados na distribuição, cerca de 90% foram identificados nos ramais prediais e cavaletes, enquanto os restantes 10% ocorreram nas redes primárias e secundárias. Em termos de vazão, estima-se que os vazamentos nas redes primárias e secundárias tenham vazão significativamente superior aos vazamentos nos ramais e cavaletes, podendo resultar em uma proporção relativa, em volume, diferente daquela observada em relação ao número de ocorrências (VICENTINI, 2012).

No controle e detecção de vazamentos não visíveis, a pesquisa de vazamentos é o principal instrumento utilizado pelas companhias de saneamento. A pesquisa de vazamentos não visíveis é realizada por meio da escuta dos ruídos produzidos pelos vazamentos utilizando equipamentos como hastes de escuta,

geofone (Figura 4) ou correlacionadores de ruído. Essa prática reduz o tempo de vazamento, portanto, quanto mais frequente for a investigação de vazamentos, maior será a quantidade de água recuperada. A determinação da frequência da investigação é feita após uma análise de custo-benefício entre os custos da investigação e os custos associados ao volume de água perdido (MOTTA, 2010).

Figura 4: Utilização do Geofone.



Fonte: SABESP, 2023.

Uma grande limitação das tecnologias de escuta para detecção de vazamentos é a exigência de mão de obra especializada e o tempo necessário para realizar as varreduras. No entanto, novas tecnologias estão atualmente disponíveis no mercado, utilizando inteligência artificial para detectar vazamentos não visíveis. Essa tecnologia permite que os equipamentos de geofone sejam operados por trabalhadores não especializados, já que a inteligência artificial é capaz de identificar os ruídos associados a possíveis vazamentos. Após a varredura, a inteligência artificial mapeia os pontos de vazamento identificados. Isso torna as campanhas de detecção de vazamentos mais eficientes, possibilitando a cobertura de grandes áreas em menos tempo, algo que não seria viável apenas com trabalho humano.

Independente do porte do sistema, é necessário que as campanhas de pesquisa acústica sejam realizadas de forma planejada, de forma a aumentar a eficiência e evitar desperdício de recursos. Um dos critérios utilizados para escolha de áreas para realização de campanhas de medição é através do cálculo do Fator de Pesquisa – FP. Essa metodologia é realizada em DMCs, onde é possível medir a

vazão média diária e a vazão mínima noturna e através delas, calcular o FP conforme a equação:

$$FP (\%) = \left( \frac{\text{Vazão Mínima Noturna}}{\text{Vazão Média Diária}} \right) \times 100$$

A relação deve sempre resultar em valores menores ou igual a 1, sendo que quanto maior o valor encontrado, maior a probabilidade de existência de vazamentos na área de estudo. Valores de FP acima dos 30 % indicam áreas com potencial de vazamentos a serem detectados (TARDELLI FILHO, 2006).

### **2.3.2 Agilidade e qualidade dos reparos**

O controle ativo de vazamentos envolve tanto a resposta rápida e efetiva às denúncias de vazamentos visíveis por parte da população, quanto os trabalhos de investigação, localização e reparo de vazamentos antes que se tornem visíveis, por meio das ações de pesquisa de vazamentos efetuadas pelas companhias.

A presença de um sistema de telemetria, que coleta e transmite as informações do sistema como pressão e vazão em tempo real, é fundamental para rápida detecção e reparo, tanto em relação a vazamentos visíveis como não visíveis. Com um sistema supervisor controlando quedas de pressão e aumentos consideráveis de vazão em distritos de medição e controle, é possível identificar a existência de um vazamento e a sua possível localização. A partir disso, o tempo gasto para mobilizar rapidamente equipes de detecção e reparo de vazamentos, é um ponto crucial no gerenciamento de perdas reais.

Além da agilidade dos serviços, outro ponto importante é assegurar que o reparo seja bem realizado para que o vazamento não volte a ocorrer horas ou dias após a repressurização da rede. Segundo Vicentini (2012), a maior parte dos vazamentos em ramais se deve a má qualidade da mão de obra e do material utilizados, e a utilização de equipamentos e materiais inadequados causam o surgimento de novos vazamentos.

### **2.3.3 Setorização e gerenciamento de pressão**

Um setor de abastecimento corresponde, essencialmente, a uma parte da rede de distribuição perfeitamente delimitada e isolada. A setorização implica na subdivisão da rede em setores de menor dimensão com fronteiras conhecidas e bem

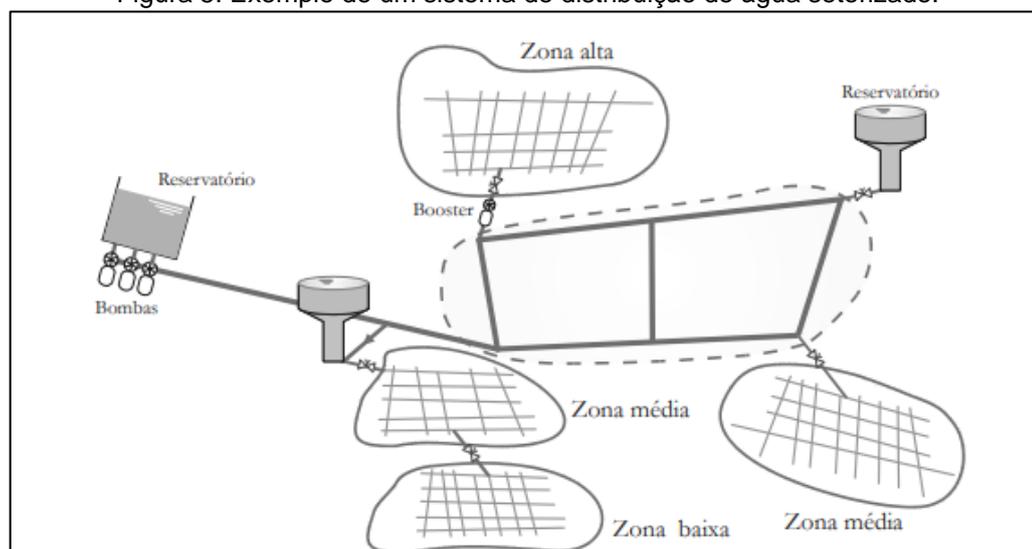
delimitadas, onde se controlam todas as entradas e saídas de água (TARDELLI FILHO, 2006).

Segundo a NBR 12218/2017, um setor de abastecimento é parte do sistema que pode englobar reservatórios, estações elevatórias, redes primárias, secundárias e acessórios, dividida de forma a permitir o melhor gerenciamento do sistema. A norma traz ainda a definição de outros dois tipos de setores presentes na concepção de projetos de sistemas de abastecimento de água.

- **Setor de manobra:** menor subdivisão da rede de distribuição, cujo fluxo da água pode ser isolado ou direcionado para permitir manutenções e/ou intervenções, mantendo o abastecimento do restante da rede.
- **Setor operacional:** divisão da rede de distribuição em setores de menor dimensão, considerando as condições topológicas e operacionais, com o objetivo de otimizar a gestão do sistema.

É importante salientar as diferenças entre as definições de zona de pressão e setor de abastecimento, que muitas vezes são tomadas como semelhantes. Uma zona de pressão é uma subdivisão da rede que esteja sob influência de algum elemento que atenda o setor como reservatórios, válvulas redutoras de pressão e boosters, sendo estes responsáveis por estabelecer a dinâmica de pressões da área atendida. Já um setor de abastecimento é uma unidade específica da gestão de operação que, para definição de seus limites, leva em consideração aspectos operacionais, e secundariamente, aspectos relativos à vazão e à pressão das áreas abastecidas. Um setor de abastecimento, portanto, pode ser composto por uma ou mais zonas de pressão (MORENO, 2012).

Figura 5: Exemplo de um sistema de distribuição de água setorizado.



Fonte: GOMES, 2012.

Para definição de um setor de abastecimento é necessário considerar as características topográficas da região e o perfil dos consumidores na área a ser atendida. Definidos esses parâmetros, será possível escolher as melhores localizações para alocação dos reservatórios, dimensionar as redes de distribuição e definir todos os elementos necessários para controle de pressão no abastecimento (MOTTA, 2010).

A NBR 12218/2017 estabelece que a pressão estática máxima a que as redes de distribuição podem ser submetidas é de 500kPA (50 mca) e a mínima dinâmica é de 10kpa (10 mca). Considerando esses limites de pressões inicia-se a concepção inicial dos setores de abastecimentos, definindo o posicionamento de reservatórios, limites de zona de pressão, áreas abastecidas por boosters e áreas controladas por válvulas redutoras de pressão.

### 2.3.3.1 Zonas de Pressão

Segundo a NBR 12218/2017, zona de pressão é a área abrangida pela divisão do setor de abastecimento, na qual as pressões estática e dinâmica obedecem aos limites prefixados.

A pressão de serviço na rede de distribuição de água é o principal fator que influencia tanto o volume de vazamentos quanto sua frequência. Aumentar a pressão de operação nessas redes tem um impacto significativo na quantidade de água

perdida, pois não apenas aumenta a frequência de rupturas, mas também aumenta o volume de vazamentos (TARDELLI FILHO, 2006).

O gerenciamento de pressões visa manter as pressões do sistema em níveis mínimos possíveis na maior parte do tempo, sem comprometer o abastecimento de água aos consumidores. Isso é alcançado através do projeto adequado de setorização das zonas de pressão dos sistemas de distribuição, instalando instrumentos de controle e redução das pressões como inversores de frequência nas estações elevatórias e boosters, e válvulas redutoras de pressão (MOTTA, 2010).

#### 2.3.3.1.1 Reservatórios

Os reservatórios são elementos projetados e operados com o objetivo de regularizar as variações de vazão de produção, de distribuição e garantir segurança no abastecimento. Além disso, são responsáveis por condicionar as pressões na rede de distribuição, definidas a partir da carga piezométrica resultante da cota de locação do reservatório e seu tipo de instalação em relação ao terreno (apoiado, elevado, semienterrado, enterrado) (VICENTINI, 2012).

Os reservatórios, portanto, podem ser considerados como zonas de pressão, comumente denominados 'zonas médias'. Segundo a NBR 12218/2017, em um projeto de setorização, o primeiro passo é delimitar a área de influência dos reservatórios. Estabelecidas estas áreas, compreende-se as regiões com pressões abaixo e acima dos limites recomendáveis pela norma, e se define as demais zonas de pressão delimitadas por boosters e válvulas redutoras de pressão.

#### 2.3.3.1.2 Válvulas Redutoras de Pressão

As válvulas redutoras de pressão são dispositivos de controle que operam com base no controle hidráulico do fluxo de água. Por meio da operação de uma válvula piloto localizada entre câmaras de entrada e saída, elas conseguem manter um valor pré-determinado de pressão a jusante, independentemente da vazão (TARDELLI FILHO, 2006).

As válvulas geralmente são instaladas em um by-pass da rede principal. A montagem do seu barrilete deve contemplar a instalação de um filtro, um medidor de vazão e válvulas de bloqueio a montante e a jusante da montagem para isolamento

total do conjunto. Pode-se instalar também manômetros de pressão na entrada e saída da VRP (MOTTA, 2010).

Tanto o medidor de vazão quanto os manômetros instalados têm a função não somente de contabilizar os volumes economizados de perdas reais e registrar as pressões, mas também, quando conectado a atuadores e dispositivos de controle, passam a controlar a própria VRP. Esta configuração de instalação permite maior controle de pressões de um setor, visto que permite variar a pressão de saída da VRP ao longo do dia (MOTTA, 2010).

Figura 6: Válvula Redutora de Pressão.



Fonte: BERMAD, 2022.

#### 2.3.3.1.3 Estações pressurizadoras de água (boosters)

A utilização de boosters na rede de distribuição de água é uma solução interessante para o controle de pressões em diferentes setores de abastecimento. Frequentemente, esses equipamentos são empregados para resolver problemas de abastecimento em curto prazo em uma região, não sendo utilizado, portanto, de forma otimizada. Quando associados às válvulas redutoras de pressão (VRP), os boosters possibilitam otimizar as zonas de pressão, aproveitando ao máximo o potencial de redução de pressão das VRPs e reforçando a pressão nos pontos mais altos que possam ter ficado com baixa pressão ou sem pressurização adequada (TARDELLI FILHO, 2006).

Figura 7: Booster.



Fonte: Águas de Camburiú, 2023.

Na instalação de um booster é fundamental também a instalação de inversores de frequência, que mantém a pressão de saída estável, independente da vazão a jusante ou pressão de entrada. Os inversores permitem que os boosters operem de maneira controlada, alterando a rotação da bomba em função de um ponto de controle de pressão e comunicação com o CLP (Controlador Lógico Programável), e, assim, controlar as pressões na zona abastecida e reduzir as perdas reais.

Figura 8: Conversor de frequência.



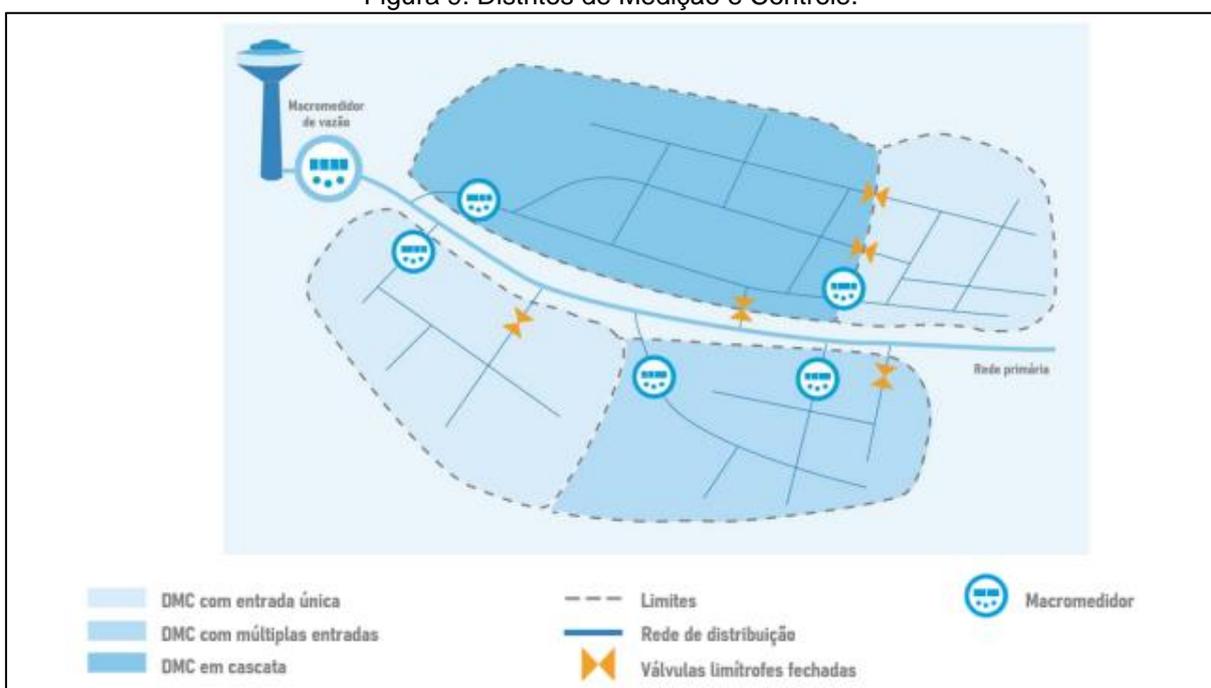
Fonte: WEG, 2024.

### 2.3.3.2 *Distritos de Medição e controle*

Os Distritos de Medição e Controle (DMCs), são setores criados cujo objetivo é realizar a gestão do sistema por meio do monitoramento, medição e controle de vazões e/ou pressões, permitindo definir indicadores operacionais, avaliar e controlar as perdas. A norma recomenda que o DMC abranja uma área que apresente um máximo 5 000 ligações e extensão máxima de 25 km de rede (NBR 12218/2017).

As dimensões mínimas de um DMC devem levar em consideração a viabilidade técnica e financeira. Devem ser definidos tendo como base as zonas de pressão e subsistemas já existentes no sistema, visando minimizar os custos de instalação e manutenção do sistema. Para implantação do DMC, recomenda-se o seccionamento das redes limítrofes, evitando-se ao máximo manter ou instalar válvulas de fechamento (NBR 12218/2017).

Figura 9: Distritos de Medição e Controle.



Fonte: FONSECA, 2021 adaptado de Fallis et al, 2011)

Segundo a NBR 12218/2017, o DMC deve ser equipado com medidores de vazão em todas as entradas e saídas, e medidores de pressão nos pontos críticos da rede, que podem ter previsão de instalação permanente ou dispositivo para sua inserção, quando da realização de coleta de dados operacionais. Ainda, deve ser subdividido em setores de manobra. Ambas as recomendações descritas na norma são fundamentais no controle de perdas, visto que possibilitam a gestão de informações e coleta de dados de forma pré-definida e planejada, o que diminui significativamente o tempo de resposta a eventuais problemas identificados no distrito.

#### 2.3.4 Gerenciamento da infraestrutura

As tubulações das redes de distribuição de água, incluindo as linhas primárias e secundárias, bem como os ramais prediais, têm uma vida útil que varia dependendo da qualidade do material utilizado, das condições físico-químicas do solo, da

qualidade da água de abastecimento, da competência da mão de obra que executou os serviços e das medidas de proteção contra corrosão (no caso de tubulações metálicas (TARDELLI FILHO, 2006).

Em geral utiliza-se uma vida útil de 50 anos para as redes primárias e secundárias. Desta forma, é esperado que a companhia de saneamento tenha um programa anual de trocas de 2% da extensão total de rede. Este cenário, entretanto, raramente é visto nas companhias, visto que as obras de remanejamento e substituição de redes são caras, na medida em que a maioria se desenvolve em áreas densamente urbanizadas e exigem, portanto, a utilização de métodos não destrutivos (TARDELLI FILHO, 2006).

A reabilitação de tubulações, geralmente, é realizada para solucionar problemas hidráulicos, como é o caso de tubulações de ferro dúctil incrustadas, que apresentam elevada perda de carga. Também são comuns substituições para eliminação de redes de material obsoleto, como é o caso das tubulações de cimento amianto. Para isso, pode-se optar pela substituição total da rede, geralmente utilizado para tubulações de menor diâmetro. No caso de adutoras de maior diâmetro, o método mais comum envolve a limpeza e revestimento da tubulação, no caso de problemas de incrustações.

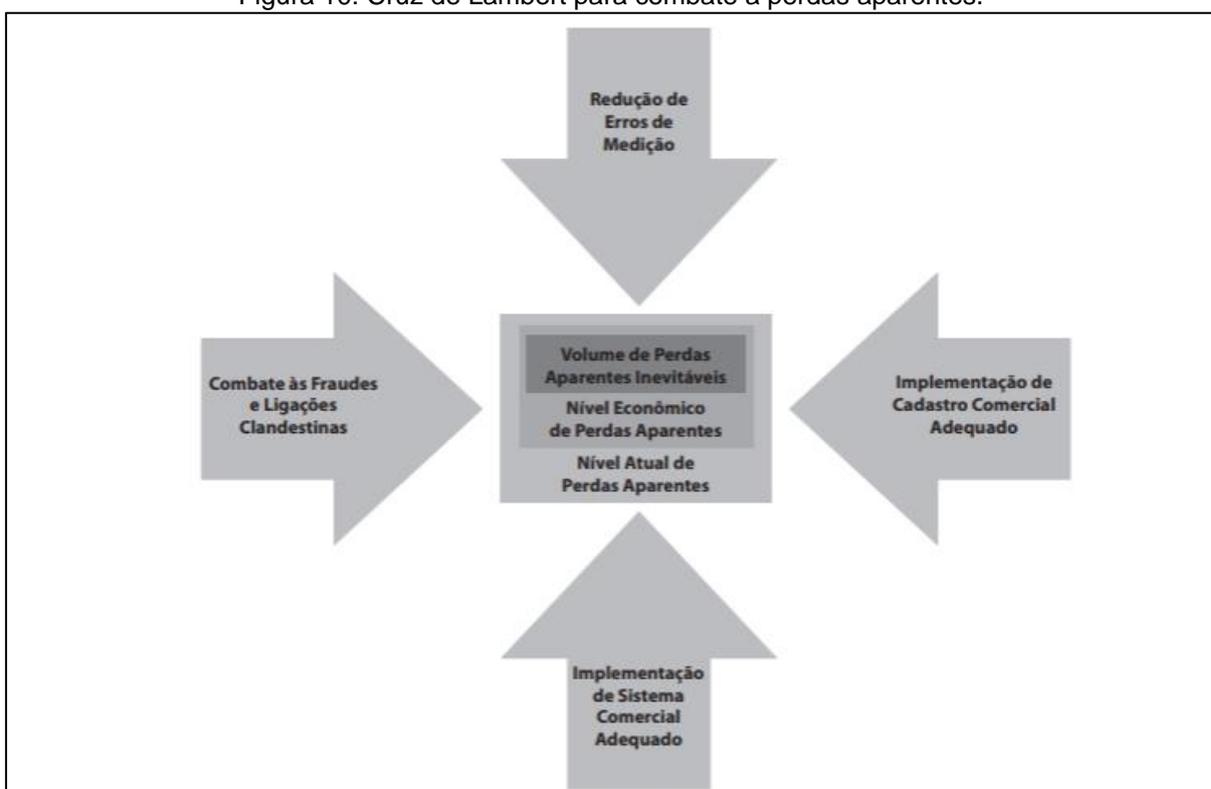
Na substituição de tubulações, bem como nos novos projetos de redes, a tendência de utilização de novos materiais como PEAD (Polietileno de Alta Densidade) ou PVC-O (Policloreto de Vinila Orientado) vem crescendo nos últimos anos nas companhias de saneamento. Além das facilidades construtivas e viabilidade para utilização de métodos não destrutivos (essenciais em zonas urbanas adensadas), estes materiais apresentam maior vida útil e são menos propensos a vazamentos inerentes.

Para os ramais, em geral, a vida útil é mais curta devido à sua maior sensibilidade às condições mencionadas. Por isso, é necessário substituí-los com mais frequência, uma vez que são os locais principais de vazamentos nos sistemas. Recomenda-se que as companhias de saneamento implementem políticas de troca de ramais anuais, substituindo-os por materiais mais modernos e duráveis. Os critérios principais de seleção devem considerar a idade do ramal e aqueles que têm histórico mais significativo de vazamentos.

## 2.4 AÇÕES PARA CONTROLE DE PERDAS APARENTES

As perdas aparentes, de maneira geral estão intrinsecamente ligadas à gestão comercial de uma companhia de saneamento. Para as ações de controle e redução de perdas aparentes, a Cruz de Lambert (Figura 10) apresenta como melhorias: redução de erros de medidores; melhorias no sistema comercial, qualificação da mão de obra e redução de fraudes.

Figura 10: Cruz de Lambert para combate a perdas aparentes.



Fonte: FUNASA, 2014.

### 2.4.1 Cadastro e sistema comercial

Com vista a redução de perdas aparentes, deve ser dada atenção especial à agilidade do cadastramento das novas ligações de água no sistema comercial e às atividades voltadas para identificar falhas no cadastro comercial, visando eliminar as ligações não cadastradas, clandestinas ou ligações suprimidas do cadastro, mas que foram reativadas sem conhecimento da companhia.

A atualização cadastral está intrinsecamente ligada ao trabalho dos leituristas, desde que haja instrumentos e treinamento para isso. Um exemplo claro é a atualização do tipo de ocupação do imóvel, uma vez que as companhias possuem

políticas tarifárias diferentes em função do imóvel ser residencial, comercial, industrial ou público. Frequentemente, ocorrem mudanças do uso residencial para comercial sem que seja comunicado a companhia. Nesse caso, o leiturista pode desempenhar um papel de fiscalização, verificando o tipo de ocupação durante a leitura (TARDELLI FILHO, 2006).

Dependendo da realidade local, podem ser desenvolvidos programas específicos para identificação de problemas cadastrais, clandestinidade e reativação das ligações. Isso envolve a coleta prévia de dados que caracterizam os indícios e a realização de inspeções relevantes.

#### 2.4.2 Redução de erros de medição

A redução de erros de medidores envolve tanto as ações para melhoria da macromedição como a micromedição. A confiabilidade da macromedição é um fator importante no controle de perdas, visto que sua correta utilização tem influência direta nos índices de perdas. A Figura 11 mostra as faixas de erro de medição típicas para cada equipamento de medição ou método de determinação de volume de entrada de água.

Figura 11: Erros de medição associados ao tipo de macromedidor.

Equipamento/Método	Ordem de grandeza da acurácia (%)
Medidores Eletromagnéticos	<0,15 a 0,5%
Medidores Ultrasônicos Tempo de Trânsito	0,5 a 2%
Medidores Ultrasônicos tipo Doppler	2 a 4%
Medidores de inserção	< 2%
Medidores Mecânicos (Woltmann)	1 a 2%
Medidores tipo Venturi	0,5 a 3%
Calhas Parshall	2 a 5%
Vertedores	10 a 50%
Estimativa por curvas de bomba	10 a 50%

Fonte: MANZI, 2023

Diversos problemas podem ocasionar erros nos macromedidores além dos erros intrínsecos da tecnologia, como: instalação inadequada, descalibração do medidor, dimensionamento inadequado, problemas físicos como incrustações e danos oriundos da cavitação e problemas na transmissão de dados ao conversor. Para evitar esses problemas é essencial a manutenção periódica e verificação anual

através de ensaios de pitometria (Figura 12) em todo parque de macromedição (VICENTINI, 2012).

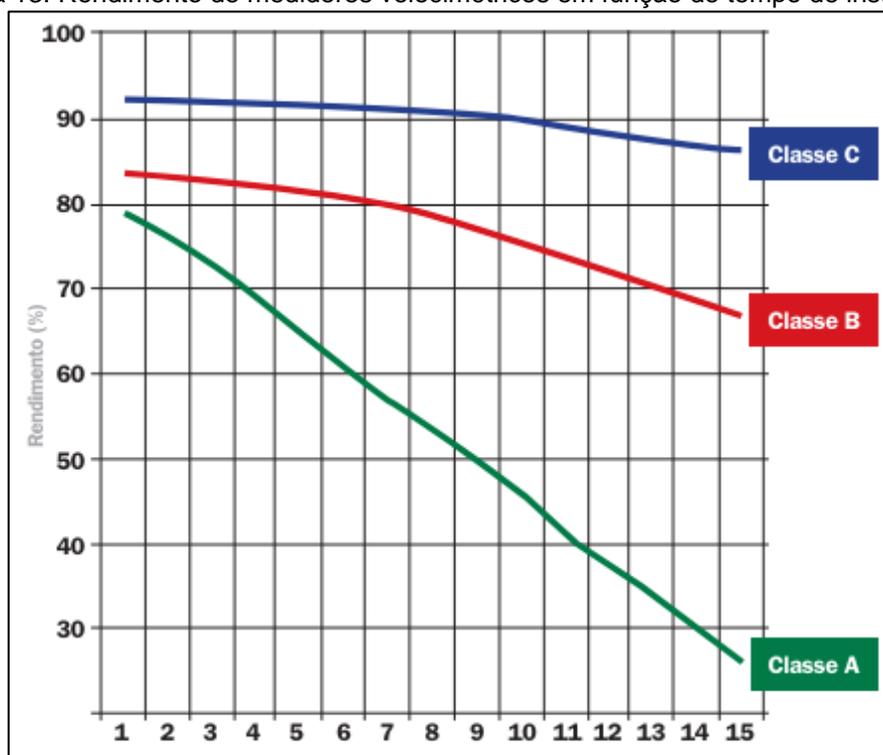
Figura 12: Tubo pitot instalado para verificação de medidor.



Fonte: SANOVA, 2024.

Em relação à micromedição, os erros devem-se, sobretudo, à idade de conservação, classe do medidor, tipo do medidor (unijato ou multijato), dimensionamento, problemas de instalação ou ainda, devido a violações ou travamentos das engrenagens. Os medidores de classe A perdem cerca de 50% do seu rendimento após 10 anos de instalação, como é possível observar na Figura 13.

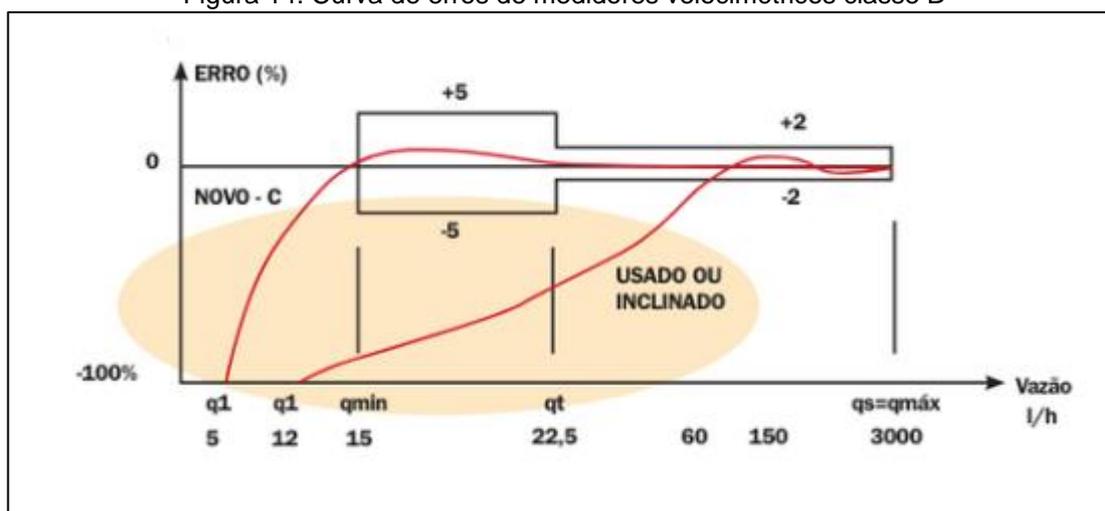
Figura 13: Rendimento de medidores velocimétricos em função do tempo de instalação.



Fonte: AESBE, 2015.

No Brasil, os hidrômetros domiciliares costumam ser do tipo velocimétrico, de classe B ou C, de capacidade nominal 0,75 m<sup>3</sup>/h, 1,5 m<sup>3</sup>/h ou 2,5 m<sup>3</sup>/h, dependendo do consumo do usuário. Por norma, estes equipamentos apresentam uma curva de erros específica, conforme a vazão (Figura 14). (AESBE,2015)

Figura 14: Curva de erros de medidores velocimétricos classe B



Fonte: AESBE, 2015.

Uma das problemáticas envolvendo a curva de erros de medidores é chamada de 'efeito caixa d'água'. Devido a presença de caixas d'água dos usuários, que

funcionam com boias, os consumos tendem a ocorrer predominantemente em vazões baixas - menores que 30 litros/hora - em faixas que os medidores são menos precisos.

Ainda, com o passar do tempo, os medidores sofrem desgaste, agravado pelo fato de muitas vezes não estarem instalados com o nivelamento adequado nos planos horizontal e vertical. Esse desgaste resulta em uma alteração na curva de erros (Figura 14), levando ao aumento dos volumes de submedição.

Levando em conta as características dos medidores, é fundamental que as companhias estabeleçam dentro dos seus respectivos Programas de Redução de Perdas uma política de troca de hidrômetros. Desta forma, Vicentini (2012) descreve três situações básicas para políticas de troca de hidrômetros:

- **Manutenção corretiva:** Problemas identificados nos medidores como travamentos nas engrenagens, embasamento da cúpula, violações, hidrômetros inclinados.
- **Manutenção preventiva:** Ocorre geralmente em função do tempo decorrido da instalação ou após totalizado um volume medido máximo estipulado para troca. Para isso, cada companhia estabelece as regras de troca, que pode ser em função do tipo de consumidor, consumo médio mensal, classe metrológica dos hidrômetros e política tarifaria. Para hidrômetros de pequeno porte residenciais, é comum estabelecimento de critério de troca de 5 anos.
- **Adequação:** troca em função da inadequação do hidrômetro instalado, avaliado com base no levantamento de perfis de consumo da ligação e verificação com os parâmetros nominais dos hidrômetros instalados.

### **2.4.3 Combate a fraudes**

Fraudes correspondem aos casos de intervenções feitas nos hidrômetros, com o objetivo de medir apenas uma parcela do consumo efetivo do imóvel, como casos de rompimento de lacre, inversão do hidrômetro, execução de by-pass, inserção de algum obstáculo (como arame ou pregos) para impedir a rotação da turbina, inserção de imãs para alterar a medição.

O combate a fraudes deve ser uma atividade contínua da companhia de saneamento. Segundo Tardelli Filho (2006), tendo identificado algum caso de fraude,

seja por denúncia ou por métodos ativos de fiscalização, a companhia pode assumir duas posturas:

- Postura 'comercial', que busca solução do problema dentro de uma linha administrativa e comercial, através de negociações diretas com o cliente para sanar as irregularidades.
- Postura 'policial', em que são feitos procedimentos de preservação das provas de fraude e elaboração de boletins de ocorrência junto a delegacia policial de referência, para início dos processos jurídicos e comerciais pertinentes.

Em ambos os casos, deve-se realizar o ressarcimento dos volumes não faturados em determinado período acrescido de um valor de multa. As regras variam de acordo com a companhia de saneamento, mas em geral, cobra-se o valor referente a diferença entre o volume esperado de consumo e o volume medido ao longo de um período estimado de fraude, além do valor de multa pré-estabelecido.

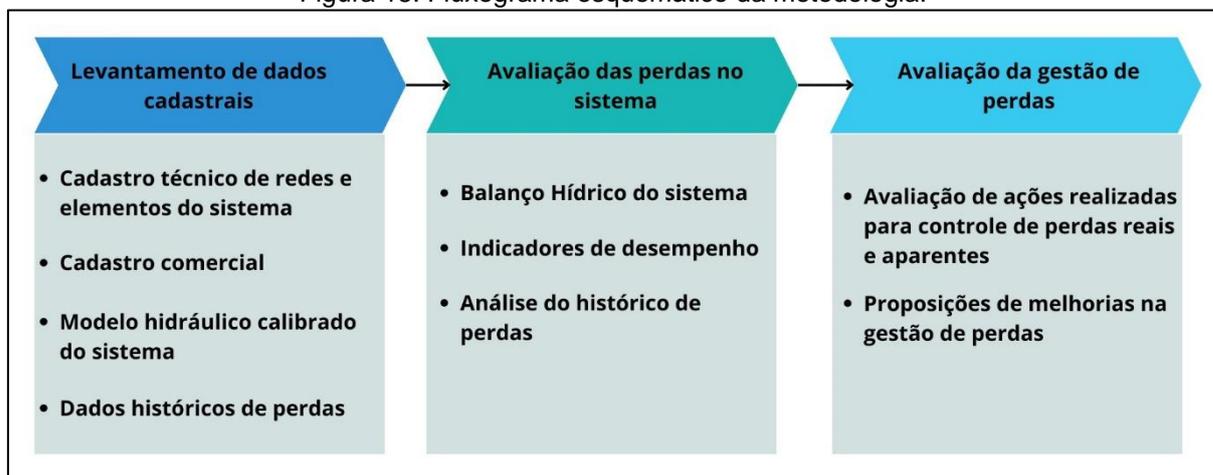
### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, além da fundamentação teórica obtida através da revisão bibliográfica, objetiva-se compreender a gestão de perdas de água do bairro Pedra Branca. O fluxograma das atividades desenvolvidas pode ser observado na Figura 15.

De forma a avaliar os principais desafios e oportunidades observadas, foram desenvolvidos os seguintes trabalhos:

- Levantamento de dados cadastrais junto à gestão do SAE Pedra Branca;
- Elaboração do Balanço Hídrico e Indicadores de Desempenho para diagnóstico da situação atual das perdas no sistema;
- Acompanhamento de ações de campo realizadas para combate às perdas;
- Discussões com a equipe técnica responsável pelo sistema para entendimento dos processos realizados no âmbito da gestão de perdas.

Figura 15: Fluxograma esquemático da metodologia.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

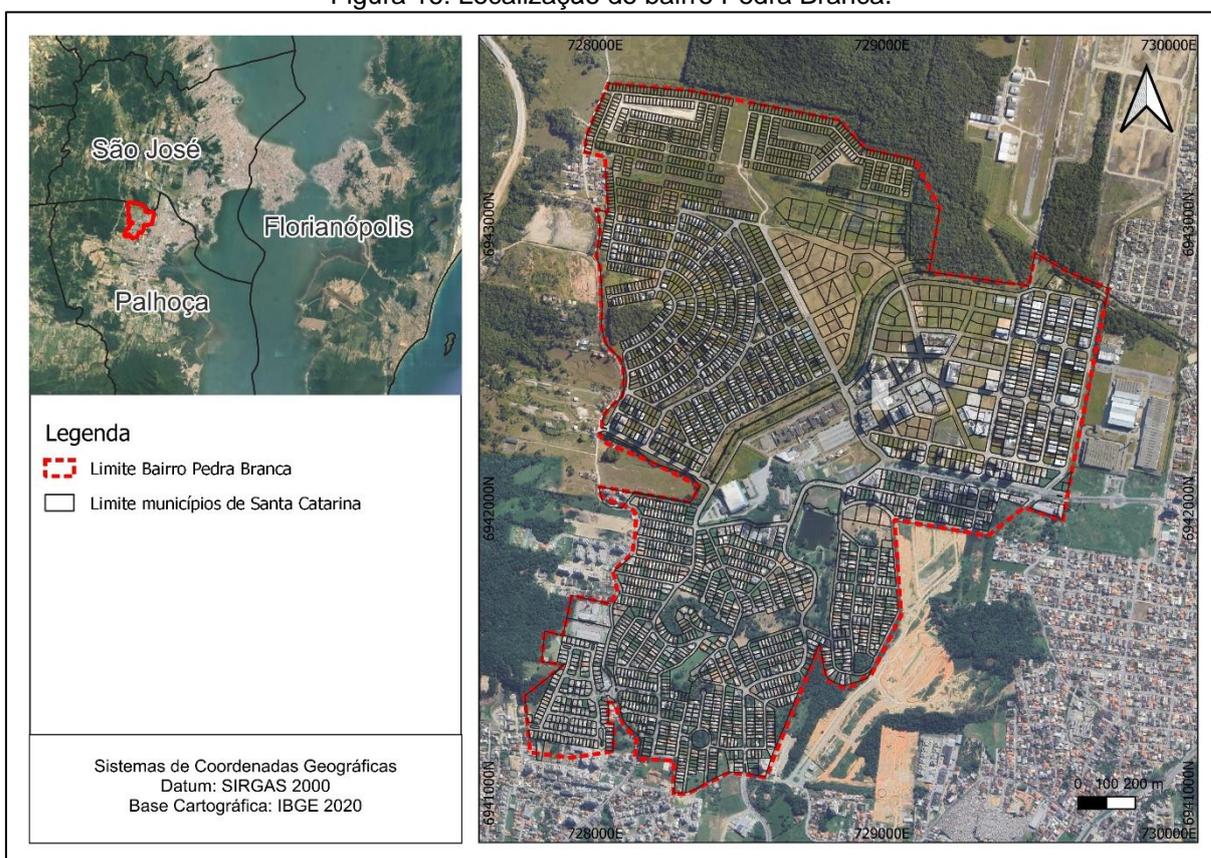
#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O bairro Pedra Branca está situado em Palhoça, Santa Catarina, e surgiu no início dos anos 2000 através do lançamento do empreendimento Imobiliário Colinas da Pedra Branca, integrando lotes residenciais, comerciais, industriais e mistos. Desde sua implementação, o bairro já contava com infraestrutura completa de

abastecimento de água e coleta e tratamento de esgotos, operado pela empresa Pedra Branca Ltda.

Com a consolidação da área, o Serviço de Água e Esgoto de Pedra Branca (SAE Pedra Branca) foi instituído. Suas operações foram iniciadas em março de 2010, estabelecendo sua gestão conforme o Decreto Municipal nº 1.063/2010. Atualmente, é responsável pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário dentro do bairro Pedra Branca, operando como um sistema autônomo e, portanto, independente do SAMAE (Secretaria Executiva de Saneamento) da Palhoça. Na Figura 16 é apresentada a localização do Bairro Pedra Branca.

Figura 16: Localização do bairro Pedra Branca.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

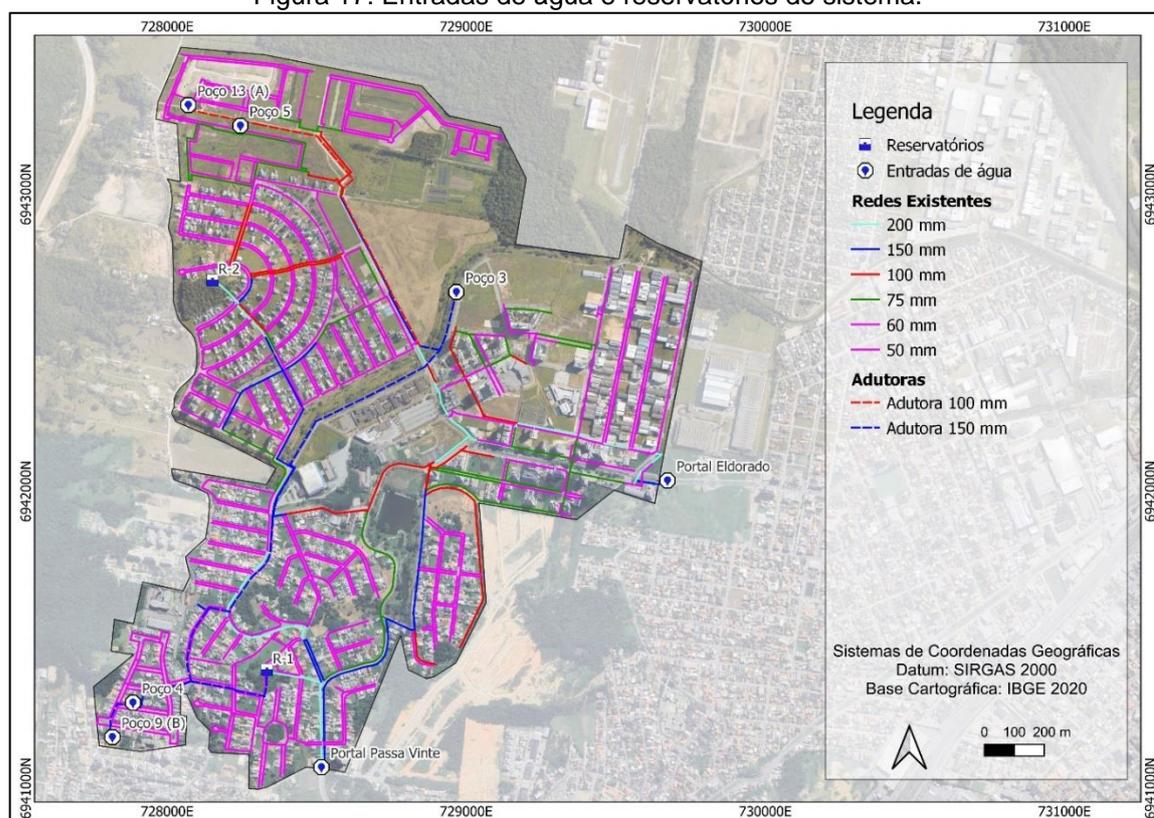
### 3.1.1 Sistema de abastecimento de água

O sistema de abastecimento de água do bairro Pedra Branca apresenta atualmente 7 poços de captação subterrânea próprios, e 2 importações de água, através de parceria firmada com o SAMAE Palhoça. O sistema também possui 2 reservatórios de água tratada, onde também são realizados o tratamento da água, através de cloração e correção de PH, além da fluoretação. Todos os 7 poços, bem

como a importação do Portal Passa Vinte, são responsáveis por abastecer o reservatório R1 de 300 m<sup>3</sup>. O reservatório R2, de 200 m<sup>3</sup> funciona como reservatório de sobras, portanto, seu enchimento ocorre através do residual da distribuição. O Portal Eldorado é responsável por abastecer os setores da parte norte do sistema.

A localização das entradas de água e reservatórios do sistema pode ser observada na Figura 17.

Figura 17: Entradas de água e reservatórios do sistema.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS CADASTRAIS

O levantamento de dados cadastrais para realização deste estudo foi realizado junto à empresa SANOVA, atualmente responsável pela gestão técnica e comercial do SAE Pedra Branca. A empresa também é responsável pela gestão e acompanhamento de perdas nos Distritos de Medição e Controle do sistema.

#### 3.2.1 Cadastro técnico

O cadastro técnico do sistema de abastecimento de água do SAE Pedra Branca se encontra georreferenciado em ambiente SIG (Sistema de Informações

Georreferenciadas), sendo o QGIS o *software* utilizado. A empresa utiliza a ferramenta há mais de 3 anos, portanto esta é a fonte de dados cadastrais mais atualizada.

Do cadastro técnico foram utilizadas as seguintes informações, tanto para fins de caracterização do sistema de distribuição e dos Distritos de Medição e Controle, quanto para cálculo dos indicadores de perdas:

- Extensões e diâmetros dos trechos de rede.
- Adutoras e redes de distribuição.
- Entradas de água e reservatórios.
- Macromedidores.
- Áreas dos Distritos de Medição e Controle.
- Ligações de água Georreferenciadas.
- Topografia da área.

### **3.2.2 Cadastro comercial**

A gestão de dados comerciais e operacionais do SAE Pedra Branca é feita através do software Sansys. O Sansys é um software que concentra todas as informações de cadastro comercial dos clientes, como: informações de matrícula, endereços, código do hidrômetro, data da ligação, data da troca de hidrômetro, situação da ligação, histórico de consumo. Também concentra informações de faturamento e procedimentos operacionais, como a emissão de ordens de serviço.

Do cadastro comercial e operacional, foram levantados os seguintes dados:

- Dados cadastrais das ligações.
- Histórico de consumo das ligações.
- Histórico de Ordens de Serviço.

### **3.2.3 Modelo hidráulico computacional**

No início de 2024 realizou-se um trabalho de construção e calibração do modelo hidráulico do sistema de abastecimento de água da Pedra Branca, através do software WaterGEMS. O trabalho teve como objetivo principal projetar melhorias para o sistema considerando a expansão do bairro nos próximos 20 anos. O modelo hidráulico foi utilizado nesse trabalho para obtenção das pressões estáticas e

dinâmicas do sistema, além de ferramentas de seleção rápida de elementos e trechos de redes existentes no software.

### 3.3 LEVANTAMENTO DO HISTÓRICO DE PERDAS DE ÁGUA

Para análise do histórico de perdas foram utilizados dados de 2018 a 2023, disponíveis em uma planilha de acompanhamento interno do SAE. Há registros de dados históricos mensais dos volumes de macromedição, micromedição, tanto do sistema como um todo, quanto individualmente para os Distritos de Medição e Controle.

Os volumes de macromedição são medidos mensalmente de forma manual nas entradas de água do sistema. Os volumes de micromedição também são medidos manualmente, e ocorrem, em média, na primeira semana do mês (salvo ocorrência de chuvas ou outros problemas que possam atrasar ou impedir a leitura). Mensalmente, os volumes de macromedição são ajustados para os ciclos de leitura, de forma que ambos os dados de macromedição e micromedição correspondam ao mesmo período.

Para análise do histórico de perdas do sistema, foram levantados os seguintes dados:

- Volumes mensais de macromedição.
- Volumes mensais de micromedição.
- Número de ligações.
- Número de economias.
- Volume de água importado.
- Volume de água produzido nos poços.

Através dos dados de macromedição e micromedição, obteve-se por diferença o volume de perdas. Não foi retirada a parcela de consumo autorizado não faturado para o cálculo, que no caso do SAE Pedra Branca, corresponderia a parcela de volume utilizado pela própria companhia nas atividades de operação do sistema. Esta parcela não é considerada pois, além de precisar ser estimada, não é significativa em relação ao volume total de entrada.

Esta metodologia de análise do histórico de perdas tem como objetivo analisar os principais componentes de perdas no sistema, a fim de avaliar o progresso no controle e na redução das mesmas, além de verificar a eficácia das ações implementadas. Ademais, busca entender as parcelas do volume macromedido e a condição dos medidores que geraram os dados, possibilitando obter informações sobre a gestão de perdas no sistema e como estes dados influenciam nos resultados finais do índice de perdas.

### 3.4 DIAGNÓSTICO DAS PERDAS DE ÁGUA ATUAIS

#### 3.4.1 Balanço Hídrico pela metodologia IWA

Para caracterização das perdas de água atuais do sistema, foi utilizado como base o ano de 2023. O diagnóstico foi feito através do cálculo do balanço hídrico do sistema pela metodologia IWA, análise Top-Down, além do cálculo dos principais indicadores de desempenho de perdas.

A metodologia Top-Down tem como base a análise de dados de volume anuais e estimativa da parcela de perdas aparentes, obtendo por diferença, a parcela de perdas reais do sistema. O SAE Pedra Branca atualmente faz o acompanhamento mensal dos volumes de entrada do sistema, portanto, estão disponíveis todos os dados necessários para o cálculo do Balanço Hídrico por este método.

A metodologia aqui proposta utilizou como base o software desenvolvido pela Liemberger & Partners, o WB-EasyCalc – versão 6.17 - 19 de agosto de 2021. Para preenchimento da planilha, basta seguir os dados de entrada listados na página inicial. Para cada dado inserido, deve-se associar a margem de erro, de acordo com critérios estabelecidos pelo usuário. Ao finalizar o preenchimento dos dados de entrada, os resultados estarão disponíveis na forma de matriz de balanço hídrico e indicadores de performance.

Figura 18: Software de Balanço Hídrico WB – EasyCalc.

The screenshot shows the WB-EasyCalc software interface. The main window has a dark blue header with the logo and text: "WB-EasyCalc The free water balance software Version 6.17 (19 August 2021)". Below the header, there are input fields for "Nome da Empresa:" (SAE Pedra Branca) and "Ano:" (2023). A larger section shows "Os volumes usados para este balanço são para um período de: 365 Dias". On the right, a sidebar menu is visible with the following items:

- Iniciando
- Mudar a língua / Change Language
- 1.) Volume de Entrada no Sistema
- 2.) Consumo faturado
- 3.) Consumo não faturado
- 4.) Consumo não autorizado
- 5.) Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados
- 6.) Dados da rede
- 7.) Pressão
- 8.) Abastecimento intermitente
- 9.) Informação financeira
- A Balanço Hídrico em m3/ano
- B Balanço Hídrico em m3/dia

Fonte: Liemberger & Partners, 2021.

Os dados de entrada e os critérios utilizados para preenchimento da planilha estão descritos a seguir.

### 3.4.2 Dados de entrada

#### 3.4.2.1 Volume de Entrada no Sistema

Os dados de volume de entrada do sistema foram obtidos juntamente com a equipe do SAE Pedra Branca. Foram coletados os dados de volumes mensais de 2023 para as 7 entradas de água do sistema: 5 poços de captação e duas importações de água. Os volumes anuais referentes a cada entrada de água do sistema podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Volumes de entrada no sistema - 2023.

POÇOS E PORTAIS	Volume de entrada (m <sup>3</sup> /ano)	Tipo de medidor	Margem de erro [+/- %]
P3/Boulevard do Parque	104.110	Eletromagnético	2 %
P4/Parque da Pedra	29.982	Eletromagnético	2 %
P5	20.795	Eletromagnético	2 %
P9/IVO/PB	18.768	Eletromagnético	2 %
P13/PA	29.712	Eletromagnético*	20 %
Portal Eldorado	422.679	Eletromagnético	2%
Portal Passa Vinte	162.940	Mecânico	10 %
<b>TOTAL</b>	<b>788.986</b>		<b>2,5 %</b>

Fonte: SAE Pedra Branca.

Para estimativa dos erros de medição, considerou-se as características e condições do medidor instalado em cada entrada do sistema. Os macromedidores eletromagnéticos, se instalados corretamente e seguindo todas as recomendações dos fabricantes, apresentam incerteza máxima admissível na faixa de 0,5% nas velocidades de fluxo acima de 0,3 m/s. Já os macromedidores mecânicos do tipo velocimétricos apresentam faixa de incerteza maior, entre 2% e 5% (BRASIL, 2007).

Embora a tecnologia de medidores eletromagnéticos apresente um erro de 0,5%, este erro pode ser maior caso existam problemas na instalação e manutenção dos equipamentos, portanto, foi considerada uma margem de erro de 2% para todos os medidores que não apresentaram nenhuma anormalidade específica na medição no ano de 2023.

Na entrada de água do Portal Passa Vinte foi adotada a medição do medidor mecânico do SAMAE Palhoça, visto que o medidor eletromagnético pertencente ao SAE Pedra Branca apresentou problemas no conversor e não apresenta leituras confiáveis. O medidor do Portal Passa Vinte do SAMAE é do tipo mecânico velocimétrico, portanto adotou-se a faixa de incerteza máxima de 10 % como margem de erro, considerando potencial desgaste no medidor e falta de manutenção, que aumentam o erro na medição além da faixa definida pelo fabricante.

O macromedidor do P13/PA apresentou problemas e ficou o período todo de 2023 sem medição. No início de 2024 foi realizada a troca do equipamento, e foi registrada um volume cerca de 65% abaixo da última medição, registrada no ano de 2022. Por esse motivo, optou-se por adotar valores de volumes mensais para 2023 considerando uma redução gradativa ao longo dos meses, de forma que o volume medido em março de 2024 chegue próximo a medição realizada pelo novo macromedidor. Esta aproximação considerou o cenário de que o poço, aos poucos, sofreu redução na sua disponibilidade, e passou a fornecer menos água. Por este motivo, foi considerado uma margem de erro de 20% para as medições desta entrada de água.

### 3.4.2.2 *Consumo faturado*

#### 3.4.2.2.1 Consumo faturado medido

O consumo faturado medido foi obtido através da exportação de uma planilha *Excel* do sistema comercial Sansys, contendo os consumos micromedidos de todas as ligações ativas do sistema. Os consumos estavam divididos por mês, portanto somou-se os valores de janeiro/2023 a dezembro/2023, obtendo o valor de consumo faturado medido 658.752 m<sup>3</sup>. Buscou-se analisar possíveis erros nos dados, como casos de erros de leitura, virada de hidrômetros, trocas de hidrômetro. Consumo faturado não medido

Atualmente todas as ligações de água do sistema possuem hidrômetros, portanto, todas as ligações ativas de água têm o consumo medido. Dessa forma, foi considerado o volume de consumo faturado não medido = 0 m<sup>3</sup>.

### 3.4.2.3 *Consumo não faturado*

#### 3.4.2.3.1 Consumo medido não faturado

Atualmente o SAE Pedra Branca não realiza a medição de nenhum consumo não faturado, portanto foi considerado volume = 0 m<sup>3</sup>.

#### 3.4.2.3.2 Consumo não medido não faturado

O consumo não medido não faturado é referente aos usos próprios da companhia que não são medidos, portanto, devem ser estimados. Para estimativa deste volume, conforme apresentado por Vicentini (2012), considerou-se o valor padrão utilizado no Reino Unido de 1,25 % da água que entra no sistema, portanto, aproximadamente 10.000 m<sup>3</sup>/ano. A margem de erro considerada foi de 20 %.

O consumo não medido não faturado também contempla situação de favelas e moradias irregulares, que se caracterizam por um consumo autorizado. O bairro Pedra Branca atualmente não apresenta estas situações, portanto não foi considerado para o balanço hídrico.

### 3.4.2.4 Consumo não autorizado

#### 3.4.2.4.1 Ligações clandestinas

Para estimativa da quantidade de ligações clandestinas, utilizou-se como metodologia a comparação entre a delimitação dos lotes e localização georreferenciada das ligações ativas de água. Como a área de estudo é relativamente pequena, foi possível realizar a comparação visualmente, de maneira rápida. Na Figura 19 apresenta-se o recorte da área do sistema, onde é possível observar que todos os lotes ocupados apresentam ligação de água ativa. O mesmo padrão é observado no restante do sistema.

Esta situação é observada visto que o bairro Pedra Branca apresenta um padrão mais elevado de moradia, portanto a menor ocorrência de ligações clandestinas era esperada. Desta forma, foi estimado 5 ligações clandestinas em todo sistema, o que corresponde a menos de 0,5 % do total de ligações, com margem de erro de 20%. A mesma estimativa foi descrita por Vicentini, 2012, como um padrão utilizado no Reino Unido para total de consumo não autorizado.

Figura 19: Avaliação de ligações clandestinas.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 3.4.2.4.2 Hidrômetros violados, by-passes;

Segundo o histórico das Ordens de Serviço de 2023, foi encontrado apenas um caso de ligação com by-pass. Considerando o padrão de residências existente no bairro Pedra Branca, estima-se que a quantidade de ligações com hidrômetros violados ou by-passes é de cerca de 2% do total de ligações ativas, portanto 30 ligações. A margem de erro considerada foi de 20%.

#### 3.4.2.4.3 Consumo médio per capita

Para obtenção do consumo médio per capita foi utilizado o consumo micromedido das ligações residenciais e a população do bairro Pedra Branca referente ao último censo do IBGE de 2022, de 12.506 habitantes. O valor obtido foi um consumo per capita de 117,9 l/hab.dia.

#### 3.4.2.5 *Imprecisões dos medidores e erros de manipulação de dados*

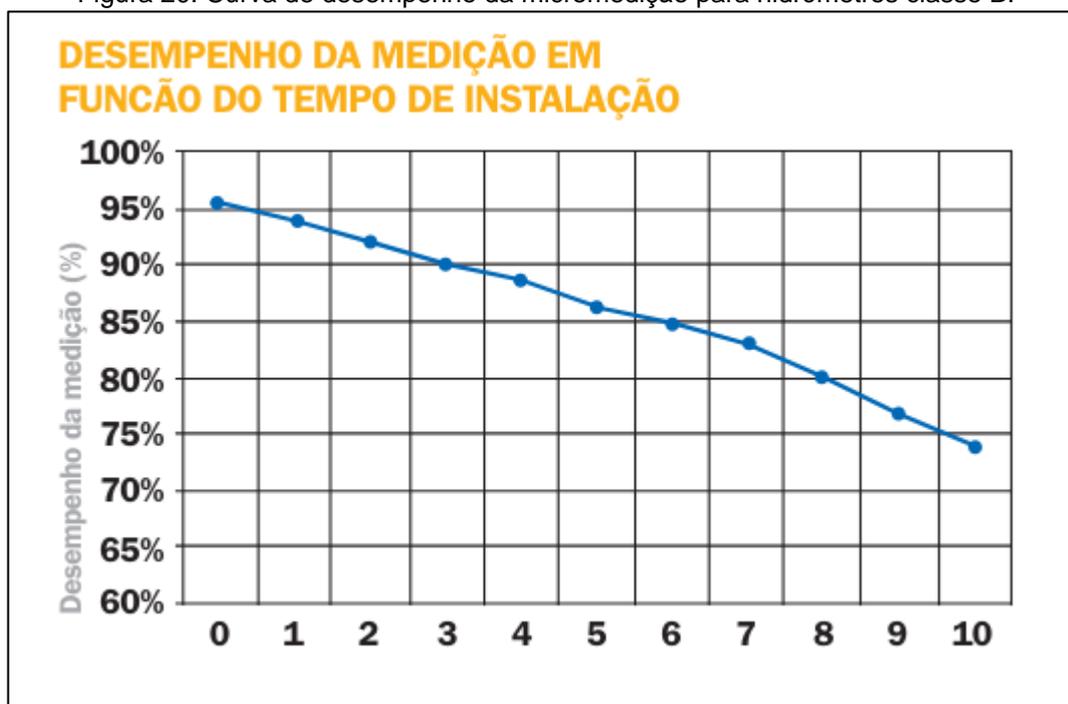
##### 3.4.2.5.1 Submedição

Um método para determinação da submedição do parque de hidrômetros é através da utilização do IDM – Índice de Desempenho da Medição, no qual associa o desempenho do hidrômetro em função do tempo de instalação.

A situação ideal para a determinação da submedição de um parque de hidrômetros é que sejam realizados ensaios com amostras próprias do sistema de interesse, sendo selecionadas amostras representativas do parque e feitos análises de eficiência em laboratório, conforme recomendações e procedimentos descritos na norma ABNT NBR 15.538 - Medidores de água potável - Ensaio para avaliação de eficiência.

Para desenvolvimento deste trabalho, não foi possível realizar as análises em laboratório. Desta forma, foi utilizada a curva de desempenho em função do tempo de instalação (em anos) para hidrômetros de classe B proposta pela AESBE (2015), conforme a Figura 20.

Figura 20: Curva de desempenho da micromedição para hidrômetros classe B.



Fonte: AESBE, 2015.

A maior parte dos hidrômetros do parque são classe b, portanto, foi feita uma simplificação e assumiu-se que todos os hidrômetros seguirão a curva de desempenho da medição para classe b. Os hidrômetros foram classificados conforme a idade, considerando a data de instalação disponível no sistema comercial e considerando como referência o mês de dezembro de 2023. Para cada faixa de idade, obteve-se o respectivo volume anual consumido, em m<sup>3</sup>.

Além disso, foram separadas as ligações com medidores do tipo ultrassônico, instalados nos grandes consumidores. Conforme informações do fabricante, os medidores ultrassônicos apresentam IDM > 99% e não apresentam perda de eficiência ao longo do tempo. Desta forma, considerou-se uma submedição de 2% para estes medidores e não foram feitas diferenciações de faixas de idade.

As faixas de idade consideradas, os respectivos volumes de consumo anuais, o percentual de submedição e as margens de erros assumidas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Faixas de idade e submedição de hidrômetros consideradas no Balanço Hídrico - 2023.

Faixas de Idade	Volume consumido (m <sup>3</sup> /ano)	Submedição (%)	Margem de erro [+/- %]
< 1 ano	99.117	5%	5%
1 a 2 anos	139.436	6,5%	5%
2 a 3 anos	35.069	8%	5%
3 a 4 anos	41.449	10%	5%
4 a 5 anos	76.540	11,5%	5%
5 a 6 anos	56.616	13,5%	5%
6 a 7 anos	2.048	15%	5%
Ultrassônicos	208.269	2%	5%
<b>TOTAL</b>	<b>658.544</b>	<b>6,4 %</b>	<b>5 %</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 3.4.2.5.2 Erros de manipulação de dados

Os erros de manipulação de dados inseridos na planilha são referentes a erros de prática de leitura e erros de manipulação de dados no escritório. Segundo AESBE (2015), os principais erros que podem ocorrer na prática são:

- Ausência de leitura de hidrômetros, com faturamento pela média, por longos períodos.
- Manipulação de dados de medição para resolver problemas de contas altas.
- Ausência de leitura em ligações cortadas.
- Troca de hidrômetros durante o período entre duas leituras.

Considerando os erros típicos citados acima, foram realizadas conversas com os responsáveis pelo setor comercial, no qual constataram que na maior parte do tempo essas práticas não ocorrem. Em casos de faturas altas, o novo valor cobrado é registrado em outro campo no sistema comercial. Quanto a troca de hidrômetros, sempre são realizadas leituras no momento da troca. Desta forma, considerou-se 1% para parcela de erros de manipulação de dados, com margem de erro de 5%.

#### 3.4.2.6 Redes de distribuição

##### 3.4.2.6.1 Comprimento de rede

O comprimento de rede foi retirado do software de modelagem hidráulica, totalizando 67.472 m de rede. Foi considerada uma submedição de 2 km. A margem

de erro foi considerada de 5%, visto que, embora o cadastro existente seja constantemente atualizado e apresenta alta confiabilidade, o método de medição da extensão de rede nos softwares apresenta erro intrínseco, próximo a 5%.

#### 3.4.2.6.2 Comprimento médio do ramal

Em conversas com a equipe do SAE Pedra Branca, foi decidido utilizar o comprimento padrão de 2 metros. Foi adotado uma margem de erro de 20%.

#### 3.4.2.6.3 Número de clientes registrados, ativos e inativos

O número de clientes ativos foi obtido através de planilha *excel* exportada do sistema comercial Sansys, totalizando 1.607. Foi considerado uma margem de erro de 1%.

O número de clientes inativos também foi obtido do sistema comercial, totalizando 20 ligações. A margem de erro considerada foi de 1%.

#### 3.4.2.7 Pressão na rede

A pressão média na rede foi obtida através do modelo hidráulico calibrado. Foi utilizado o cenário de demanda média para obtenção da pressão média nos nós. As pressões foram obtidas considerando as áreas dos DMCs e estão dispostas na Tabela 4. A margem de erro considerada foi de 10%.

Tabela 4: Pressão média por DMC.

<b>DMC</b>	<b>Num. ligações</b>	<b>Pressão média (mca)</b>
Área Industrial e NU Leste	<b>135</b>	<b>67</b>
Av. Pedra Branca Norte	<b>34</b>	<b>69</b>
Av. Pedra Branca Sul	<b>40</b>	<b>66</b>
R2	<b>360</b>	<b>45</b>
Casa sede	<b>114</b>	<b>49</b>
Novo Urbanismo	<b>12</b>	<b>70</b>
Juazeiros	<b>187</b>	<b>59</b>
Parque da Pedra e Ties	<b>145</b>	<b>33</b>
Reserva da Pedra	<b>68</b>	<b>65</b>
Área Remanescente	<b>511</b>	<b>37</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 3.4.2.8 Abastecimento intermitente

O sistema de abastecimento de água do SAE Pedra Branca não apresenta intermitência, portanto esta variável não foi considerada.

### 3.4.2.9 *Dados Financeiros*

#### 3.4.2.9.1 Tarifa média

A tarifa média do sistema para o ano de 2023 é de 8,84 R\$/m<sup>3</sup>.

### 3.4.3 **Cálculo dos Indicadores de Desempenho**

O cálculo dos indicadores de desempenho também foi realizado através da planilha WB Easy Calc – versão 6.17. Os indicadores são calculados com base das informações inseridas na planilha, também utilizadas para composição do balanço hídrico. Os indicadores são calculados também considerando as margens de erro, sendo estabelecidos os limites inferior e superior.

## 3.5 AVALIAÇÃO DE AÇÕES REALIZADAS PARA CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS

### 3.5.1 **Implantação e operação de distritos de medição e controle**

Em 2022, o SAE Pedra Branca iniciou um trabalho intensivo para a implantação de novos DMCs. As áreas dos novos DMCs foram cuidadosamente planejadas para dividir o sistema em pequenos setores, o que possibilita um maior controle dos volumes de entrada dos setores e, conseqüentemente, um controle mais eficiente das perdas. Além disso, os DMCs permitem identificar com maior precisão as regiões com maiores problemas, facilitando a definição das melhores ações para a redução de perdas.

Foram avaliados os dados de macromedição e micromedição dos DMCs nos períodos de maio de 2023 a abril de 2024. Para diagnosticar os aspectos de implementação dos DMCs, assim como os operacionais, foram realizadas conversas com a equipe técnica do SAE Pedra Branca, que relatou as principais problemáticas e desafios na implementação e operação dos DMCs. Também foram realizadas visitas em campo para avaliar a instalação dos medidores e acompanhar as ações de teste de setorização, como no caso do DMC Casa Sede.

### 3.5.2 **Ações no âmbito das perdas reais**

Para definição da área de estudo para estudo de ações no âmbito das perdas reais, foram utilizados como base os distritos de medição e controle existentes atualmente no sistema. Desde a criação do DMC Reserva da Pedra, foram

monitoradas as perdas totais mensalmente, através da leitura do volume registrado no macromedidor e dos consumos micromedidos. Observou-se que o índice de perdas se encontrava bastante elevado.

Levando em consideração que o loteamento foi recentemente implementado, todas as ligações apresentam hidrômetros novos e bem dimensionados, descartou-se a hipótese de relevância da parcela de perdas aparentes. Assim, levantou-se a hipótese de ocorrência de vazamentos, que foram investigados no decorrer da elaboração deste trabalho.

### **3.5.3 Ações no âmbito das perdas aparentes**

Para avaliação de ações realizadas para redução de perdas aparentes, foi escolhida a ação de troca de hidrômetros, realizada no ano 2022. Este foi o ano em que ocorreu a maior troca de hidrômetros no SAE Pedra Branca.

Para análise, foram selecionados todos os hidrômetros que apresentavam a data de instalação em 2022. Destes selecionados (470), alguns hidrômetros eram referentes a troca preventiva (372) e outros, eram hidrômetros referentes a novas ligações (98), que não foram considerados na análise.

Obteve-se o consumo dos hidrômetros trocados para os anos de 2021 e 2023, com intuito de avaliar os volumes medidos antes e após a substituição. A escolha de utilizar um período anual completo (janeiro a dezembro) foi pensada para minimizar potenciais efeitos de sazonalidade. Além disso, as trocas ocorreram ao longo de vários meses de 2022, portanto, analisar os períodos imediatamente antes e após a troca faria com que diferentes hidrômetros fossem analisados em períodos diferentes.

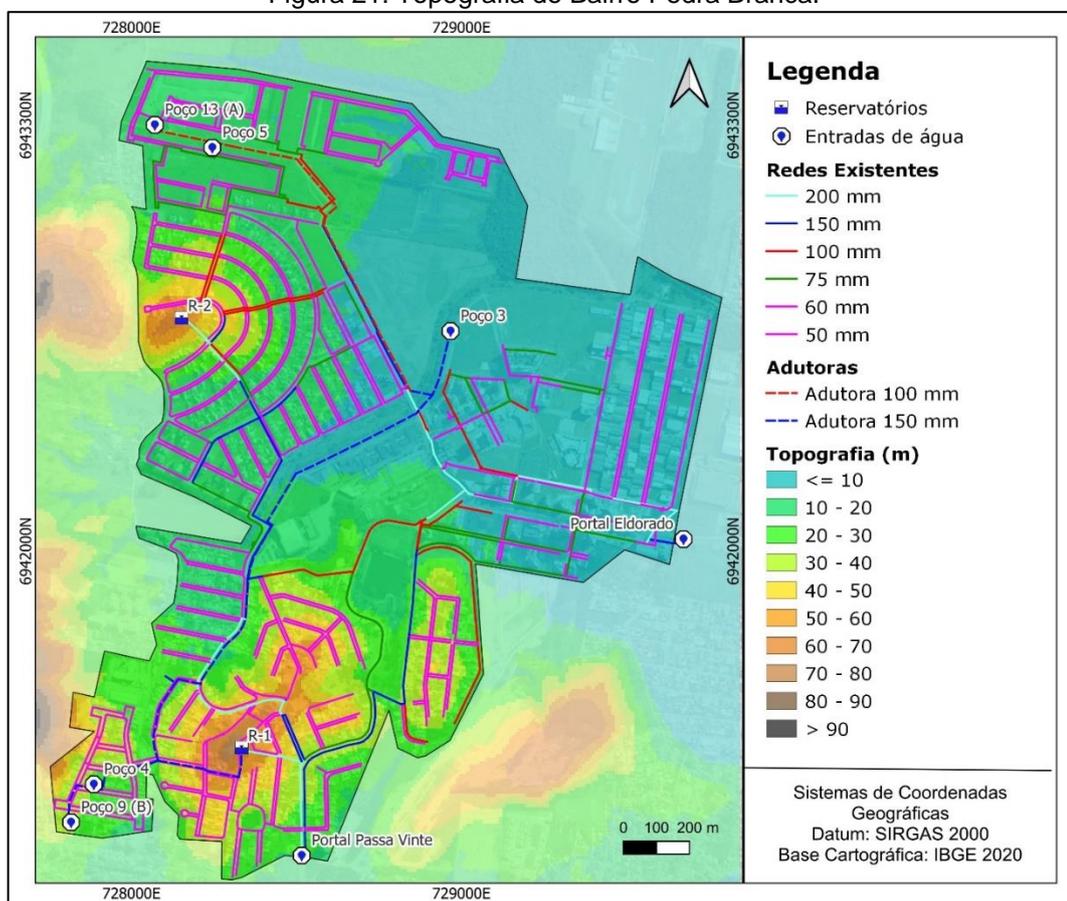
## 4 RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE DE DADOS DO SISTEMA DE ÁGUA

#### 4.1.1 Topografia e pressões no sistema

O bairro apresenta uma topografia com relevo acentuado, sendo o ponto mais alto localizado na cota 70 m e o ponto mais baixo localizado na cota 5 m. O reservatório R1 está localizado no ponto mais alto do sistema, na cota 70 m. Já o reservatório R2 está localizado na cota 60 m. Na Figura 21 é apresentada a topografia do sistema de abastecimento de água do bairro Pedra Branca.

Figura 21: Topografia do Bairro Pedra Branca.

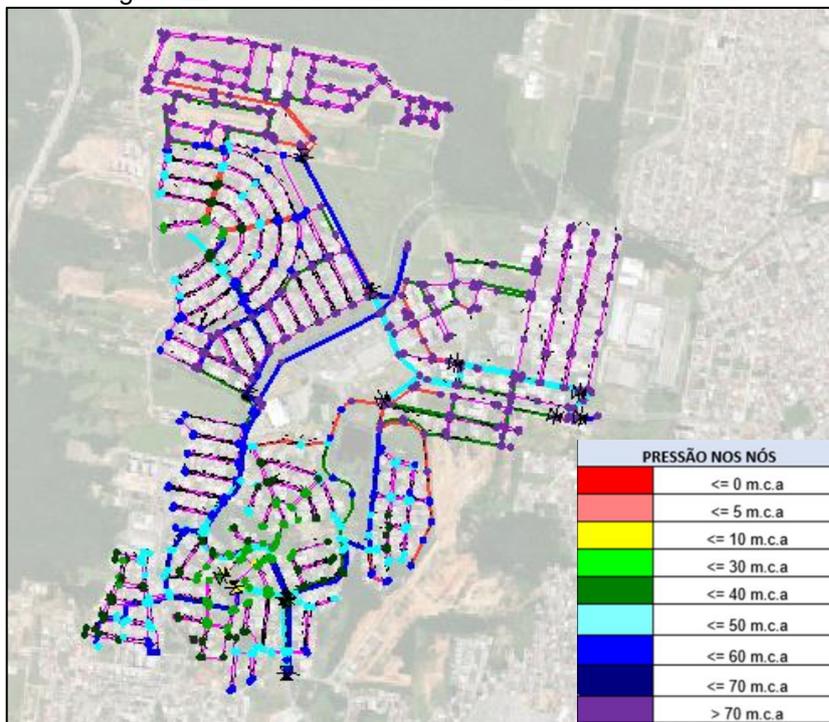


Fonte: Elaborado pelo Autor.

As pressões máximas e mínimas no sistema foram obtidas através dos resultados do modelo hidráulico calibrado. Através das informações de topografia, consumo e perdas geoespacializadas, é possível obter, por meio de simulações do modelo hidráulico, o comportamento das pressões no sistema ao longo do dia, em diferentes cenários de demanda. Na demanda mínima noturna, o sistema apresenta

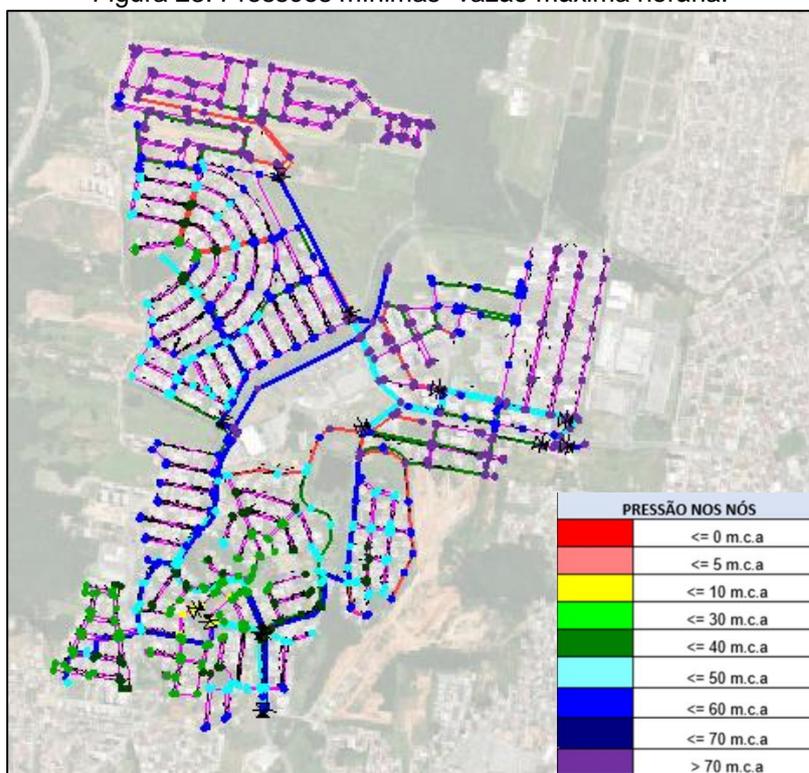
as pressões máximas. (Figura 22). Na demanda máxima horária, o sistema apresenta as pressões mínimas (Figura 23).

Figura 22: Pressões máximas - vazão mínima noturna.



Fonte: SANOVA, 2024.

Figura 23: Pressões mínimas- vazão máxima horária.



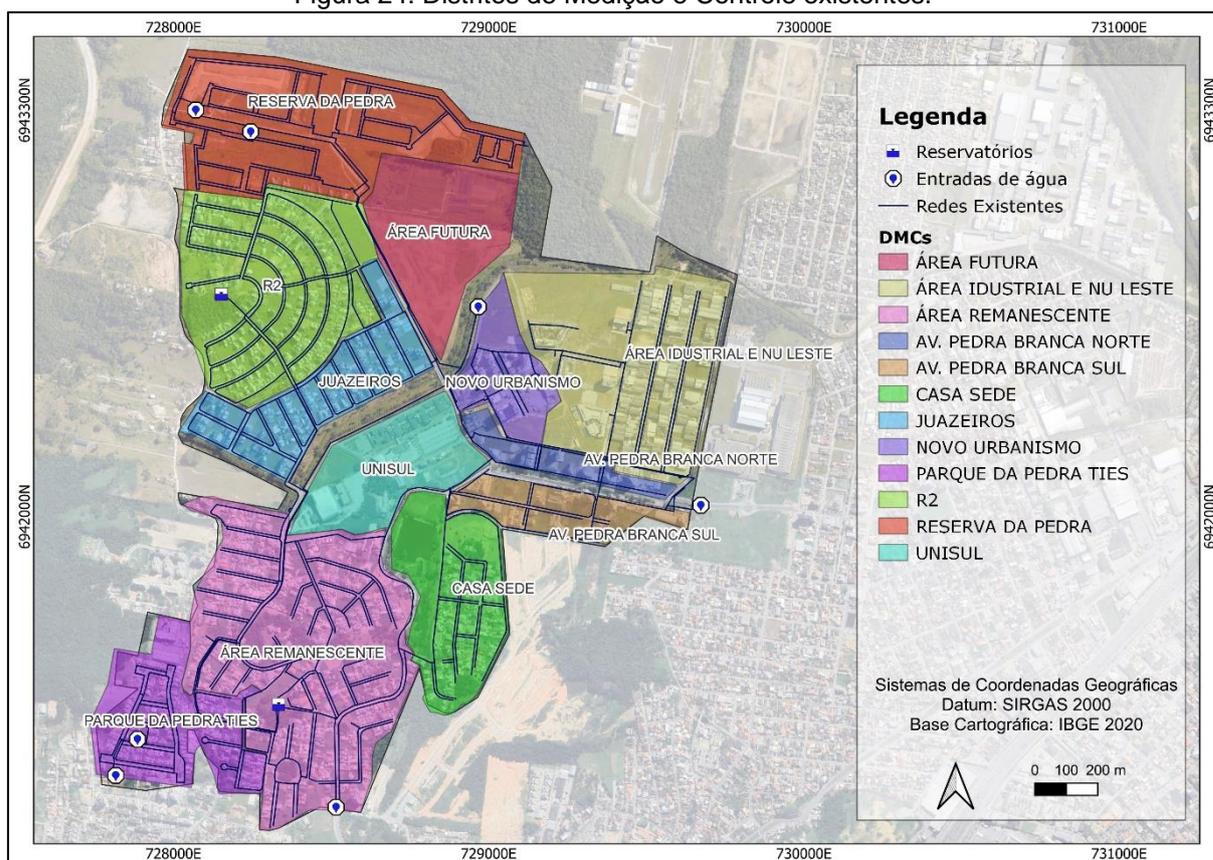
Fonte: SANOVA, 2024.

Observa-se que as pressões em grande parte do sistema se encontram próximas ou maiores que 50 mca, valor recomendado pela NBR 12218. Esta situação ocorre devido às altas pressões registradas nas importações de água do SAMAE Palhoça. Observa-se também que as regiões próximas ao reservatório R1 apresentam pressões mais baixas.

#### 4.1.2 Distritos de Medição e Controle

O sistema atualmente apresenta 11 distritos de medição e controle. A área denominada 'Área Futura' corresponde a área que será futuramente ocupada conforme planejamento de bairro. O DMC Unisul corresponde ao campus universitário presente no bairro, que pelo consumo alto, é gerido como um DMC. O DMC 'Área Remanescente' corresponde a região do sistema ainda não setorizada. A área e a localização correspondente a cada DMC podem ser observadas na Figura 24.

Figura 24: Distritos de Medição e Controle existentes.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Tabela 5 são apresentados os dados de número de ligações, extensão de rede, pressão média e área dos DMCs existentes.

Tabela 5: Dados dos Distritos de Medição e Controle.

DMC	Num. ligações	Extensão de rede (m)	Pressão média (mca)	Área (m <sup>2</sup> )
Área Industrial e NU Leste	135	4.934	67	349.482
Av. Pedra Branca Norte	34	2.529	69	52.896
Av. Pedra Branca Sul	40	2.703	66	87.913
R2	360	10.212	45	342.983
Casa sede	114	3.895	49	183.671
Novo Urbanismo	12	1.471	70	91.664
Juazeiros	187	6.040	59	168.027
Unisul	1	-	-	-
Parque da Pedra e Ties	145	6.131	33	184.652
Reserva da Pedra	68	11.699	65	356.599
Área Remanescente	511	14.549	37	514.876

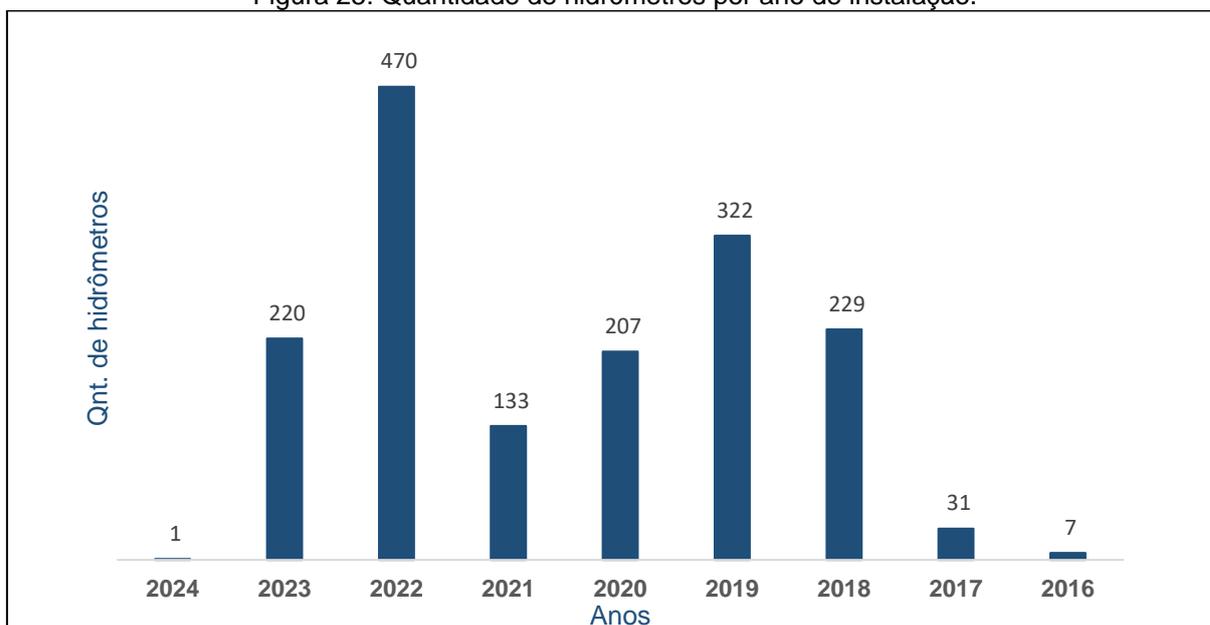
Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 4.1.3 Análise do parque de hidrômetros

Analisando os dados comerciais, é possível obter informações relevantes sobre a situação do parque de hidrômetros. Em 2024 o SAE apresenta 1.631 ligações ativas, sendo que 1.620 apresentam informações sobre a data de instalação dos hidrômetros. Analisando a Figura 25, percebe-se que não há ligações com hidrômetros instalados antes de 2016. Quanto a média de troca de hidrômetros anuais, a troca se manteve relativamente estável ao longo dos anos, sendo o ano de 2022 o que mais ocorreu instalações de novos hidrômetros. A idade média do parque calculada foi de 3,4 anos.

Considerando a quantidade de ligações atuais, para manter todos os hidrômetros do parque com idade inferior a 5 anos, seriam necessárias a troca de cerca de 326 hidrômetros por ano. Com exceção de 2022, todos os demais anos apresentaram trocas abaixo da média. É importante salientar que esta média é relativa a quantidade de ligações de 2024, portanto, embora a maior parte dos anos esteja abaixo da média, quando considerada a quantidade de ligações ativas em cada ano, os valores de troca ocorridos são considerados adequados.

Figura 25: Quantidade de hidrômetros por ano de instalação.

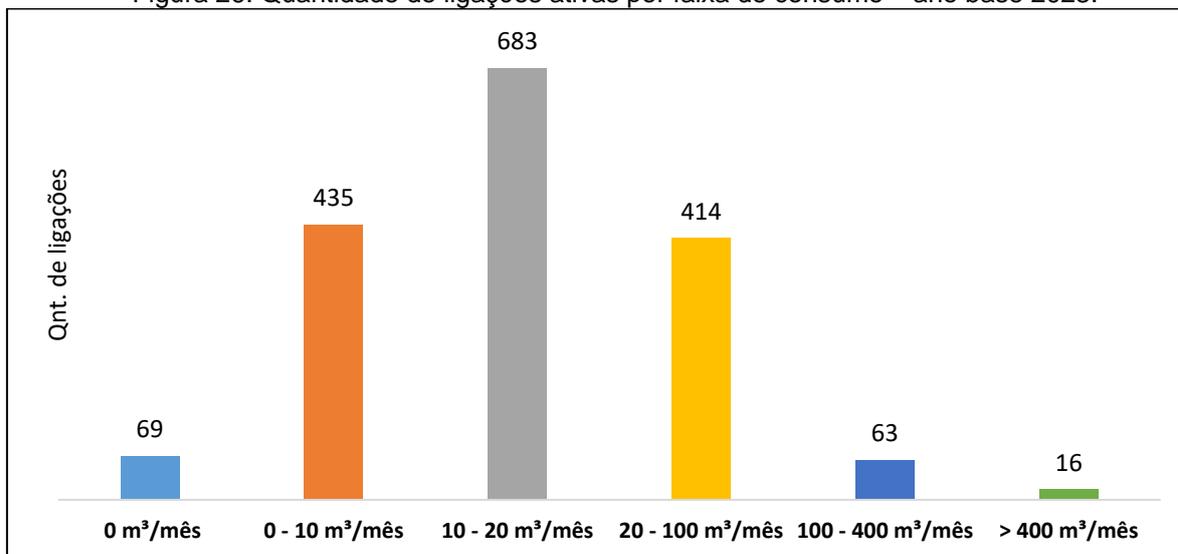


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quanto ao consumo médio das ligações, percebe-se na Figura 26 que cerca de 70% das ligações apresentam consumo médio entre 0 e 20 m<sup>3</sup> por mês, o que é um consumo esperado para uma economia residencial. As ligações que apresentam consumo médio entre 20 e 100 m<sup>3</sup> correspondem a 25 % das ligações ativas totais. O restante 5% são referentes as ligações que consomem em média mais que 100 m<sup>3</sup>/mês, portanto são considerados grandes consumidores.

Embora representem uma parcela pequena da quantidade total de ligações ativas do sistema, os 'grandes consumidores' são responsáveis por uma parcela significativa do consumo total do sistema, o que reforça a sua importância no faturamento da companhia. Em 2023 por exemplo, o consumo anual das 79 ligações referentes a consumos maiores que 100 m<sup>3</sup>/mês somou 347.152 m<sup>3</sup>/ano, o que correspondeu a cerca de 52% do consumo micromedido total.

Figura 26: Quantidade de ligações ativas por faixa de consumo – ano base 2023.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

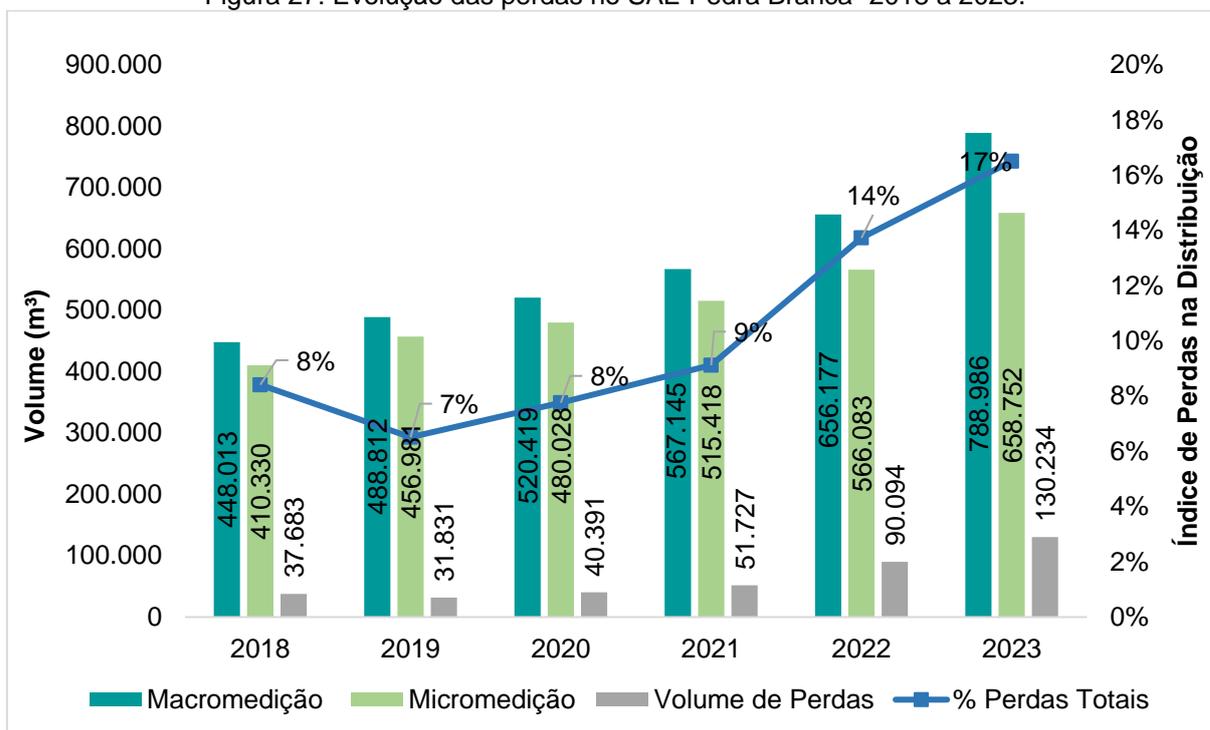
#### 4.2 HISTÓRICO DE PERDAS NO SAE PEDRA BRANCA

Foram analisados o histórico de dados e indicadores de perdas, compreendendo os anos de 2018 a 2023, de forma a complementar a análise da evolução da gestão de perdas do SAE Pedra Branca.

A evolução dos volumes anuais de macromedição, micromedição e perdas, bem como o índice de perdas na distribuição estão dispostos na Figura 27. Percebe-se que o índice de perdas totais se manteve estável de 2018 a 2021 e com aumentos significativos em 2022 e 2023, sendo o último ano registrando 17% de perdas totais.

O valor de 2023 apresentado neste tópico difere do encontrado na matriz de Balanço Hídrico, pois, para este caso, não se considera a parcela de consumo autorizado não faturado no cálculo. O cálculo do índice de perdas apresentado utiliza somente os valores de macromedição (volume de entrada) e micromedição (consumo autorizado faturado) na análise, o que a IWA denomina como água não faturada.

Figura 27: Evolução das perdas no SAE Pedra Branca- 2018 a 2023.



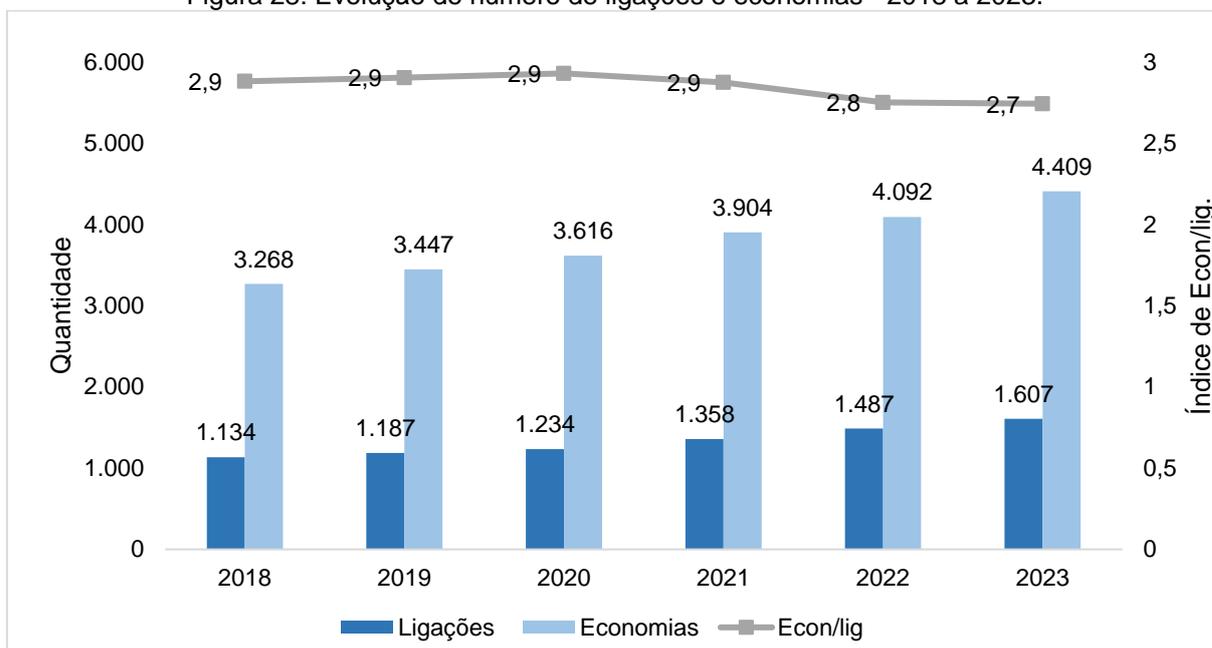
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Comparando os dados de 2018 e 2023, houve um crescimento de 60% no volume de micromedição e um crescimento de 76% no volume de macromedição. Quando observado o número de ligações e economias (Figura 28), as ligações tiveram um crescimento de 42 % enquanto as economias cresceram 35%.

Em um cenário onde a situação do parque de hidrômetros é mantida, ou seja, sem execução de melhorias, e ainda, o perfil de consumo também é mantido, era esperado que o consumo micromedido acompanhasse a mesma proporção de crescimento das ligações. Entretanto, o volume de micromedição cresceu cerca de 20% a mais que as ligações, o que pode indicar dois cenários: as melhorias no parque de hidrômetros através da troca dos medidores tiveram resultado expressivo no aumento do volume contabilizado; ou o consumo médio das ligações aumentou expressivamente (podendo ser explicado, por exemplo, por um aumento de ligações do tipo comerciais).

Referente ao número de ligações e número de economias ativas, observa-se que houve uma queda no índice de economias por ligação. Esta relação pode ser explicada por grande parte das novas ligações serem do tipo residenciais e com 1 economia, advinda da implementação de novos condomínios residenciais no bairro.

Figura 28: Evolução do número de ligações e economias - 2018 a 2023.

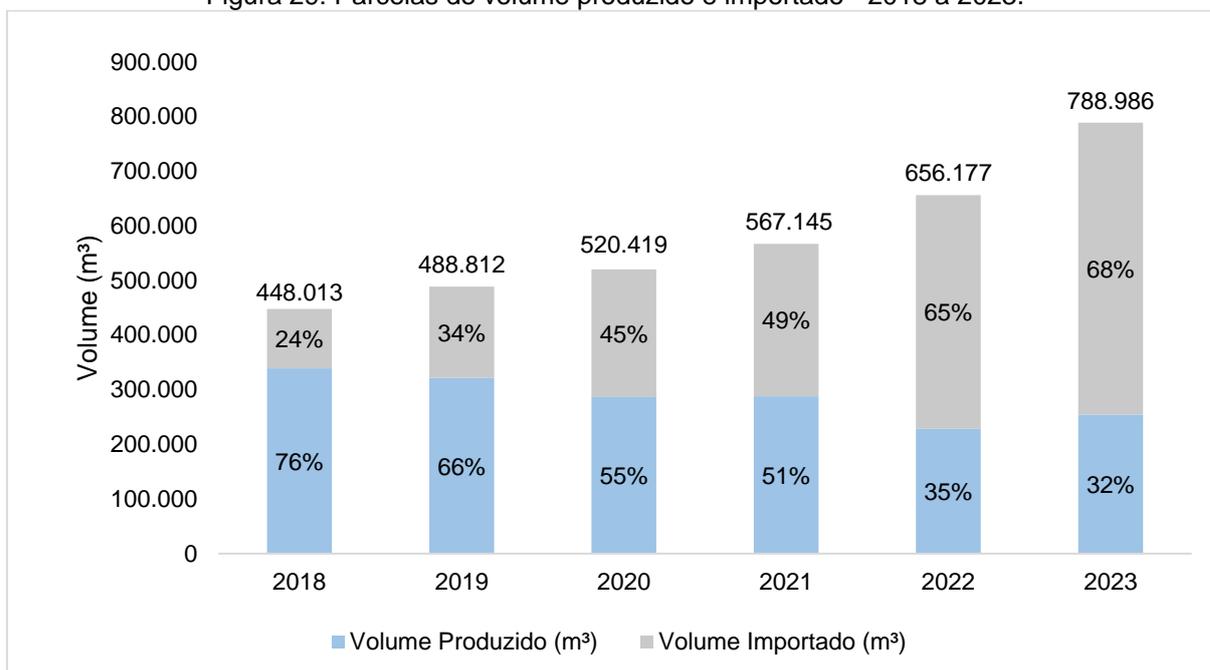


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Também se observa na Figura 27 que o volume macromedido cresceu 76% no período analisado, também não acompanhando o padrão de crescimento das ligações, de cerca de 42%. Estes dados podem indicar, portanto, problemas nos medidores localizados nas entradas do sistema.

De forma a tornar a análise mais clara e, possivelmente, identificar quais medidores possam estar apresentando problemas, foram analisadas as parcelas de volumes produzidos e importados do sistema de 2018 a 2023, disponível na Figura 29. Percebe-se que em 2018 a maior parte do volume macromedido advinha dos poços (76%) enquanto o restante (24%) advinha da importação do SAMAE Palhoça. Já em 2023 o cenário se inverteu, sendo a maior parte do volume de macromedição proveniente das importações de água.

Figura 29: Parcelas de volume produzido e importado - 2018 a 2023.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Não foi possível obter informações da confiabilidade dos macromedidores de 2018 a 2021. Sabe-se, entretanto, que desde 2022 os medidores dos poços são retirados para manutenção junto ao fabricante, que também é responsável por verificar os medidores em bancada. Os medidores das importações de água do Passa Vinte e Eldorado, entretanto, não foram verificados nestes últimos anos, e representam 68% do volume macromedido, o que indica que os dados de macromedição atuais também podem conter erros.

Esta situação evidencia a necessidade de verificação periódica dos macromedidores, bem como de ações de limpeza dos equipamentos e manutenção preventiva das instalações. É evidente que a confiabilidade dos dados é fundamental na tomada de decisão e deve ser prioridade na gestão de perdas de um sistema de abastecimento de água.

### 4.3 DIAGNÓSTICO DAS PERDAS DE ÁGUA ATUAIS

#### 4.3.1 Matriz de balanço hídrico para o ano de 2023

Com o preenchimento da planilha WB-EasyCalc inserindo os dados expostos na metodologia, obteve-se o balanço hídrico e seus respectivos componentes para o sistema de abastecimento de água da Pedra Branca, referente ao ano de 2023. A

planilha apresenta os resultados do balanço hídrico de duas maneiras: volumes em m<sup>3</sup>/dia ou m<sup>3</sup>/ano. A Figura 30 apresenta os resultados do Balanço Hídrico em m<sup>3</sup>/ano.

Figura 30: Matriz Balanço Hídrico SAE Pedra Branca - 2023.

<b>Volume de Entrada</b> <b>788.984 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 2,5%	<b>Consumo autorizado</b> <b>668.752 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 0,3%	<b>Consumo autorizado faturado</b> <b>658.752 m<sup>3</sup>/ano</b>	<b>Consumo medido faturado</b> <b>658.752 m<sup>3</sup>/ano</b>	<b>Água faturada</b> <b>658.752 m<sup>3</sup>/ano</b>	
			<b>Consumo não medido faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup>/ano</b>		
	<b>Perdas de água</b> <b>120.232 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 16,2%	<b>Consumo autorizado não faturado</b> <b>10.000 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 20,0%	<b>Consumo medido não faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup>/ano</b>	<b>Consumo não medido não faturado</b> <b>10.000 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 20,0%	<b>Água não faturada</b> <b>130.232 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 14,9%
		<b>Perdas Aparentes</b> <b>55.957 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 2,0%	<b>Consumo não autorizado</b> <b>3.344 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 16,6%	<b>Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados</b> <b>52.613 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 1,9%	
<b>Perdas Reais</b> <b>64.275 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 30,4%					

Fonte: WB-EasyCalc.

Observa-se que as perdas totais foram de 120.232 m<sup>3</sup>/ano, o que representa 15,2% do volume de entrada do sistema. As perdas subdividem-se em 55.957 m<sup>3</sup>/ano para perda aparentes e 64.275 m<sup>3</sup>/ano para perdas reais. Portanto, do volume total de perdas, 46,5% correspondem a perdas aparentes e 53,5% correspondem a perdas reais.

A metodologia de balanço hídrico Top-Down busca compreender as componentes de consumo autorizado e perdas aparentes, e por diferença, obter o valor de perdas reais. Conforme descrito na metodologia, os valores inseridos na planilha foram majoritariamente estimados, mesmo que baseados em dados da literatura. A incerteza de todos os dados inseridos, quando acumulada, é evidenciada na análise dos valores de margem de erro. O erro acumulado nas perdas reais, por exemplo, foi de 30,4%.

Embora o grau de incerteza seja alto, através dos resultados da matriz é possível realizar algumas discussões importantes. A primeira é referente a parcela de consumo não autorizado (fraudes e ligações clandestinas), que embora seja um desafio constante para todas as companhias de saneamento, não é um componente relevante nas perdas de água do SAE Pedra Branca.

Ainda que o parque de hidrômetros seja considerado relativamente novo (com idade média de 3.4 anos), e a parcela de grandes consumidores com medidores ultrassônicos de alta precisão represente 1/3 do consumo micromedido total, obteve-se um valor médio de 8% de submedição. Como resultado, verificou-se que as perdas aparentes correspondem a 46% do total de perdas do sistema. Uma das hipóteses que explica esse resultado é a possibilidade de a curva IDM proposta pela AESBE (2015), utilizada como base para o cálculo da submedição, não refletir com precisão a realidade atual do parque. Na prática, a submedição pode ser menor, resultando em perdas aparentes menores e, conseqüentemente, em um percentual maior de perdas reais (como era esperado).

As perdas reais, embora esperado que ocupassem uma proporção maior, ainda compõem uma parcela importante das perdas do sistema (54%). Conforme constatado por meio do modelo hidráulico e representado nas Figura 22 e Figura 23, algumas regiões ainda apresentam pressões elevadas, consequência principalmente da pressão elevada observada nas importações de água do SAMAE.

Com base nos resultados, pode-se observar que a principal função do Balanço Hídrico é fornecer um panorama geral dos principais problemas do sistema, servindo como ponto de partida para investigações mais aprofundadas e definição de prioridades de ação. No caso do bairro Pedra Branca, as perdas reais e aparentes estão igualmente divididas na composição total de perdas, sendo necessárias estudar a aplicação de ações em ambas as áreas.

É evidente também que o Balanço Hídrico é uma ferramenta importante para o acompanhamento de indicadores de gestão de perdas ao longo dos anos. Portanto, ressalta-se a importância de sua realização anualmente por parte da gestão do SAE Pedra Branca.

#### **4.3.2 Indicadores de perdas para o ano de 2023**

Com o preenchimento da planilha WB-EasyCalc inserindo os dados expostos, obteve-se os principais indicadores de desempenho do sistema para o ano de 2023. Os resultados são divididos em: volume de perdas reais; indicadores de performance de perdas reais; indicadores de performance de perdas aparentes; indicadores de performance de perdas. Os resultados estão apresentados a seguir.

Os primeiros resultados observados são referentes aos volumes de perdas reais. Observa-se que o volume anual de perdas reais é de 181 m<sup>3</sup>/dia. O volume mínimo atingível de perdas reais, é de 125 m<sup>3</sup>/dia. Observa-se que o sistema está bastante próximo de um valor ideal de perdas reais para as suas características, possivelmente, por conta das pressões altas registradas.

Figura 31: Volume de perdas reais.

Volume de perdas reais				
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior
AAPF - Volume Anual Atual de Perdas Reais [m <sup>3</sup> /dia]	181	30%	126	236
MAPF - Volume Mínimo Atingível de Perdas Reais [m <sup>3</sup> /dia]	125	10%	112	138

Fonte: WB-EasyCalc.

Através do volume anual de perdas reais e o volume mínimo atingível de perdas, obteve-se o Índice Infraestrutural de Perdas (IEE), sendo o resultado obtido entre 1 e 2. Considerando os indicadores de perdas reais calculados, o sistema de abastecimento da Pedra Branca estaria categorizado como A1, tanto no grupo de países desenvolvidos como subdesenvolvidos, o que significa que o potencial para maiores reduções de perdas não registradas é pequeno, a menos que ainda haja potencial para redução de pressão ou melhoria na precisão dos medidores de grandes clientes.

Figura 32: Indicadores de performance de perdas reais.

Indicadores de Performance de perdas reais					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [ +/- %]	Limite inferior	Limite superior	Pais Desenvolvido	Pais em Desenvolvimento
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	1	32%	1	2	<b>A1</b>	<b>A1</b>
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	109	30%	76	143		
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	2	32%	2	3		
m3/km rede por hora (q.s.p.)	0,11	202%	-0,11	0,33		
					Explicações	Explicações

Fonte: WB-EasyCalc.

Quanto aos indicadores de perdas aparentes, é calculado o indicador referente as perdas aparentes expressas em relação ao consumo autorizado, em que o resultado obtido foi 8%. Este valor é considerado aceitável, considerando que 2/3 do consumo micromedido total é medido através de medidores velocimétricos, que mesmo novos, apresentam um índice de desempenho da medição menor.

Figura 33: Indicadores de Performance de perdas aparentes.

Indicadores de Performance de perdas aparentes				
	Melhor estimativa	Margem de erro [ +/- %]	Limite inferior	Limite superior
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	8%	4%	8%	9%
litros/ligação/dia	95	2%	93	97
litros/cliente/dia	98	2%	95	100

Fonte: WB-EasyCalc.

A água não faturada consiste na soma das parcelas de perdas totais e de consumo autorizado não faturado. Através do índice litros de água não faturada por ligação dia, também é possível realizar o enquadramento do sistema em relação aos grupos de performance. Para este indicador, o sistema de água da Pedra Branca foi classificado do grupo A2 para países em desenvolvimento, o que significa que a

redução adicional de perda pode não ser econômica, a menos que haja insuficiência de abastecimento ou tarifas muito altas; são necessárias análises mais criteriosas para identificar melhorias economicamente viáveis.

Figura 34: Indicadores de Performance de 'Água Não Faturada'.

Indicadores de Performance de Perdas					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [±/-%]	Limite inferior	Limite superior	Pais Desenvolvido	Pais em Desenvolvimento
Volume de água não faturada expressa em % do volume de entrada no sistema	17%	15%	14%	19%	<b>B</b>	<b>A2</b>
Valor da água não faturada expressa em % do custo operacional anual	0%	15%	0%	0%		
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	221	15%	188	255		
					Explicações	Explicações

Fonte: WB-EasyCalc.

Observa-se, portanto, que de maneira geral, o sistema de abastecimento de água do bairro Pedra Branca apresenta bons indicadores de desempenho, especialmente quando comparados aos grupos de performance elencados por Liemberger & Partners. As perdas de água estão próximas de um limite ótimo, o que indica que uma redução adicional pode ser tecnicamente difícil e onerosa. Diante disso, destaca-se a importância da implementação dos distritos de medição e controle, facilitando a identificação de regiões críticas do sistema e permitindo decisões mais assertivas no combate às perdas, resultando em melhores resultados e redução de custos.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o cálculo do Nível Econômico de Perdas para o SAE Pedra Branca, a fim de entender melhor qual nível de perdas é possível atingir e, assim, estabelecer metas realistas de redução.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DE AÇÕES DE CONTROLE ATIVO DE PERDAS REALIZADAS NO SAE PEDRA BRANCA

##### 4.4.1 Avaliação das perdas nos distritos de medição e controle

O sistema atualmente apresenta 11 distritos de medição e controle. Os primeiros distritos de medição e controle implantados no SAE Pedra Branca foram os

DMCs Parque da Pedra e Juazeiros, no ano de 2018. Deste então, outros DMCs foram sendo implantados gradativamente. Os últimos DMCs implantados foram o Pedra Branca Norte, R2, Novo Urbanismo Leste e Área Industrial, no ano de 2023. Em 2024 a UNISUL também passou a ser considerada um DMC. Atualmente todos os DMCs apresentam medidores ultrassônicos, instalados conforme a Figura 35.

Figura 35: Medidores Ultrassônicos instalados nos DMCs



Fonte: Arquivo pessoal.

Nem todas as regiões do sistema estão dentro de áreas de DMC, o que resultou na criação da chamada 'Área Remanescente', em que o cálculo atual do seu volume é feito subtraindo o volume total de entrada no sistema com os volumes lidos nos demais DMCs.

As leituras dos volumes de macromedição são realizadas no mesmo dia de leitura dos hidrômetros do DMCs, portanto não é necessário realizar ajustes, visto que o período de medição é o mesmo. Constatou-se durante a execução deste estudo, que o DMC Parque da Pedra apresenta parte das ligações em outra rota de leitura, que ocorre em dia diferente do restante do DMC e da leitura do macromedidor, o que pode causar inconsistências.

Foram compilados os dados históricos de macromedição, micromedição e volume de perdas para o período de maio de 2023 a abril de 2024, apresentados no Anexo 1. As células em verde representam os valores de perdas positivos. As células

em cinza representam valores de perdas negativos, ou seja, o volume micromedido registrado foi maior que o macromedido. As células em vermelho são referentes a quando o DMC não estava implementado, portanto sem monitoramento de perdas.

Percebe-se que, com exceção dos DMCs Novo Urbanismo e Reserva da Pedra, todos os demais DMCs apresentaram problemas nos dados, registrando perdas negativas. As problemáticas envolvendo estes dados estão discutidas a seguir:

- **By-pass aberto**

Todos os medidores foram instalados com by-pass, para que em eventuais necessidades de manutenção dos medidores, fosse possível manter o abastecimento do DMC. Frequentemente ocorrem relatos de falta d'água em regiões altas do DMC Juazeiros, que segundo relatos das equipes de operação, são resolvidos com a abertura do by-pass. Esta situação ocorre frequentemente, de forma que desde o DMC foi instalado, apenas no mês de outubro obteve-se a leitura de todo mês. Os demais meses houve interrupção na medição por conta da abertura do by-pass.

Embora seja uma situação bastante específica, a falta de alinhamento e comunicação é frequente em diversas companhias de saneamento. Equipes antigas de operação frequentemente se acostumam com a operação dos sistemas de determinada forma, fazendo com que a implementação de novas setorizações e tecnologia sejam dificultadas.

- **Setorização**

Outro problema bastante comum observado na implementação de distritos de medição de controle é referente à setorização das redes. Os projetos de setorização são sempre baseados em informações de cadastro técnico, que muitas vezes estão desatualizados ou incompletos. Desta forma, quando os DMCs são implementados conforme projeto, ocorre que a área não é setorizada adequadamente, restando pontos de mistura com outros setores.

Este caso é evidenciado quando ocorre o caso do volume micromedido ser maior que o volume macromedido, o que indica existência de mais de um ponto de entrada de água no setor. Esta situação foi observada na setorização do DMC Casa Sede. O setor apresentava uma rede e um registro aberto que não constava no cadastro técnico, que criava uma outra entrada para o setor, fazendo com que o

macromedidor do DMC não registrasse todo o volume de entrada. A solução encontrada foi diminuir o setor, fechando um registro existente onde se tinha certeza de que não poderia haver pontos de mistura.

Para isso, foram necessários testes de campo com fechamento de registros e verificação da vazão instantânea no macromedidor, para ter certeza que a setorização foi realizada corretamente. Estes testes devem ser realizados sempre que um novo DMC é implantado, para garantir que não ocorram problemas nas medições. Observe-se que nos últimos meses, o DMC Casa Sede apresentou perdas positivas, o que indica que o problema de setorização foi solucionado.

- **Reservatório de jusante R2:**

O DMC R2 é referente ao setor abastecido pelo R2. Como o R2 funciona como um reservatório de jusante, ou seja, uma única tubulação de entrada e saída, o macromedidor eletromagnético instalado na adutora mede tanto o sentido positivo (de enchimento do reservatório) quanto o sentido negativo (esvaziamento do reservatório). Para determinação do volume macromedido do setor, portanto, utiliza-se a diferença entre o volume totalizado positivo e o volume totalizado negativo, que representa o volume total que permaneceu no setor.

O medidor eletromagnético, até julho de 2023, apresentava problemas na medição volume positivo, resultando em valores de macromedição menores que a realidade, e conseqüentemente, em perdas negativas. Foi realizado o reparo do equipamento junto ao fabricante, e com isso, passou a ser medido ambos os sentidos de fluxo corretamente, resultando em perdas positivas, com variação de 5% a 15%.

- **A problemática da ‘Área remanescente’**

A área remanescente corresponde a área restante do sistema, não contemplada pelos demais DMCs (Figura 24). Idealmente, o volume de entrada deste DMC seria obtido pela diferença entre os volumes de entrada do sistema e os volumes macromedidos de todos os demais DMCs. Atualmente, o SAE utiliza esta metodologia para cálculo das perdas deste setor, o que resulta em índices de perdas bastante elevados, em torno de 70%.

Como mais da metade dos setores apresenta problemas na aquisição dos dados de macromedição, por diversos motivos já apresentados, esta metodologia

tende a acumular erros. Além de concentrar as perdas de outros setores em um único setor, também acaba somando os valores negativos de perdas, o que acaba aumentado exacerbadamente as perdas que ocorrem neste setor.

O cálculo ideal, considerando a situação dos dados dos DMCs do SAE Pedra Branca, seria a utilização dos dados de micromedição dos demais DMCs para obtenção do volume macromedido da Área Remanescente. Desta forma, o resultado de perdas da Área Remanescente concentraria as perdas de todos os DMCs que apresentam perdas negativas, excluindo os erros relativos aos dados de macromedição, decorrentes dos problemas já mencionados.

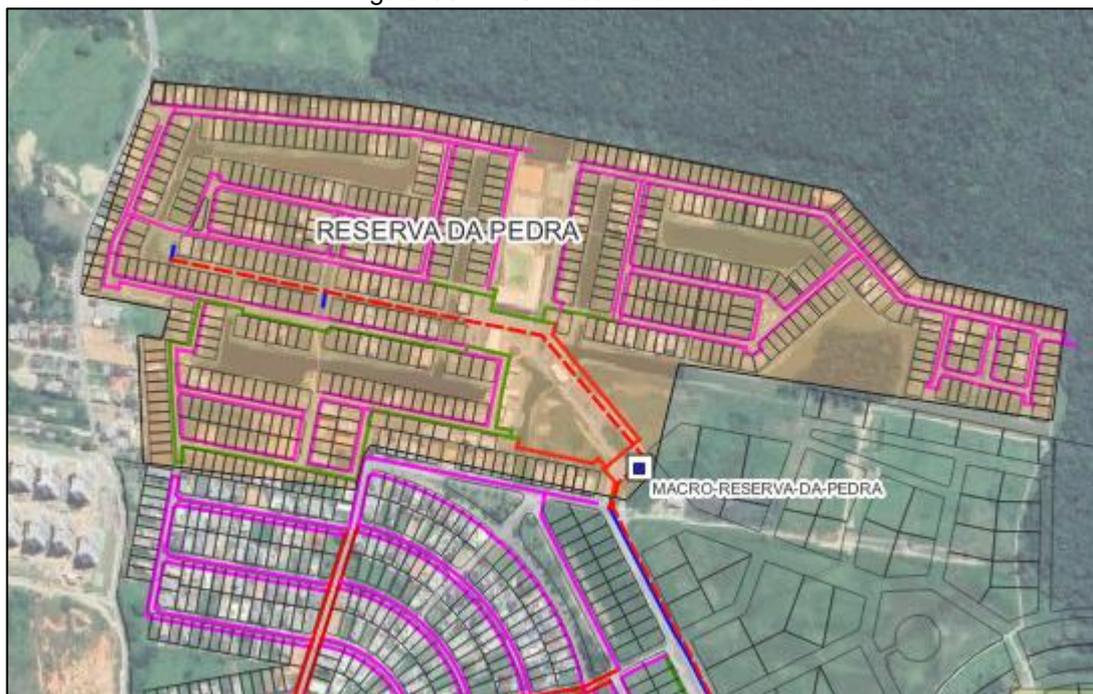
Diante dos dados apresentados, observa-se que o DMC Reserva da Pedra apresenta perdas totais entre 60% e 70%, o que pode representar potenciais problemas que devem ser investigados. Os DMCs Novo Urbanismo Oeste, Unisul e R2 apresentam perdas controladas, em torno de 10%, portanto entende-se que não são áreas prioritárias para execução de ações de redução de perdas.

O DMC Casa Sede, desde a sua setorização, vem apresentando perdas em torno de 20%, portanto pode ser uma área para futuras investigações. Os demais DMCs, incluindo a área remanescente, apresentam problemas nos dados de macromedição, os esforços para estes DMCs, portanto, devem ser destinados na correta setorização e operação das áreas, para obtenção de dados coerentes com a realidade.

#### **4.4.2 Análise de perdas reais no DMC Reserva da Pedra**

O DMC Reserva da Pedra foi criado na metade de 2023, e corresponde ao novo loteamento de casas implementado no bairro Pedra Branca. O loteamento atualmente está em fase de construção das residências, com muitos terrenos ainda sem ocupação. As áreas comuns do condomínio, como quadra de esportes, piscinas e salões de festas já se encontram em operação. A área correspondente ao DMC Reserva da Pedra pode ser observada na Figura 36.

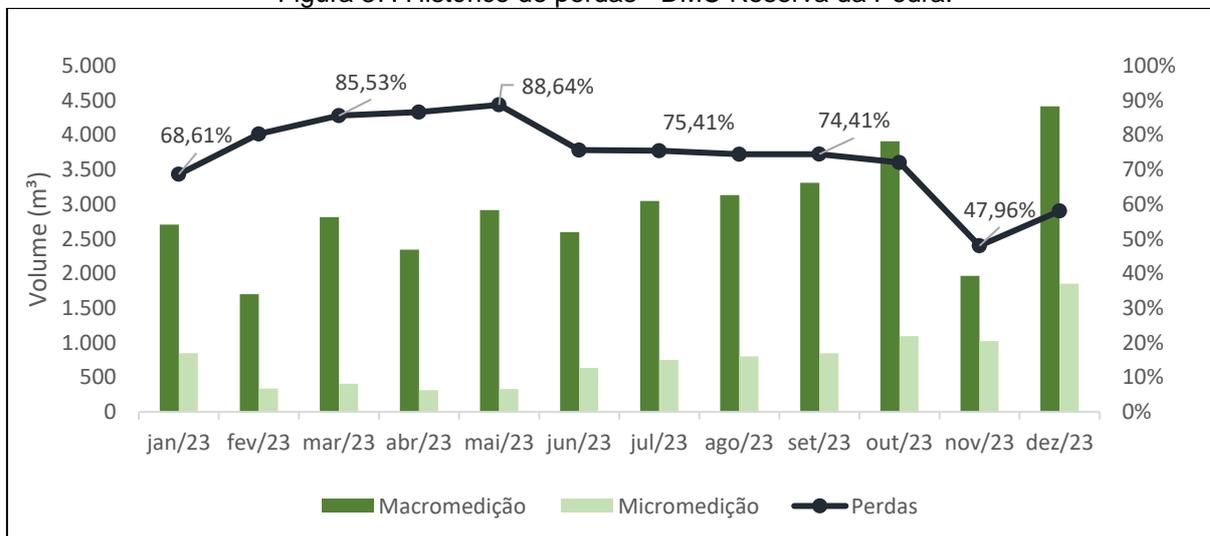
Figura 36: DMC Reserva da Pedra.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Desde a criação do DMC, foram monitoradas as perdas totais mensalmente, através da leitura do volume registrado no macromedidor e dos consumos micromedidos. Observou-se que o índice de perdas se encontrava em torno de 70 %, conforme pode ser observado na Figura 37, o que é considerado elevado. Com isso, foram levantadas algumas hipóteses para o problema. Primeiramente, verificou-se que o macromedidor na entrada, um medidor ultrassônico, não apresentava problemas e que estava corretamente parametrizado. No âmbito de perdas aparentes, verificou-se que todas as novas residências estavam com ligações regulares.

Figura 37: Histórico de perdas - DMC Reserva da Pedra.

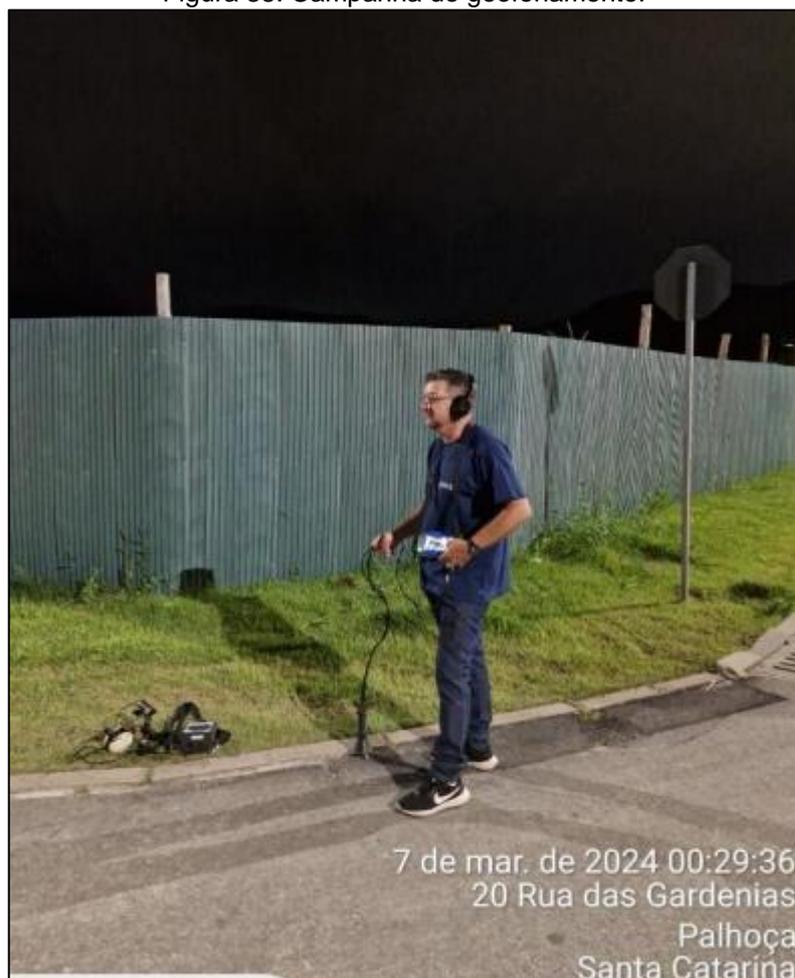


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Desta forma, levantou-se a hipótese de ocorrência de vazamentos no local. A primeira ação realizada foi uma campanha em campo para o fechamento estratégico de registros de manobra, de forma a isolar setores menores dentro do DMC e obter alguma informação sobre qual região poderia estar apresentando problemas de vazamento. Esta campanha foi realizada dia 18 de dezembro de 2023.

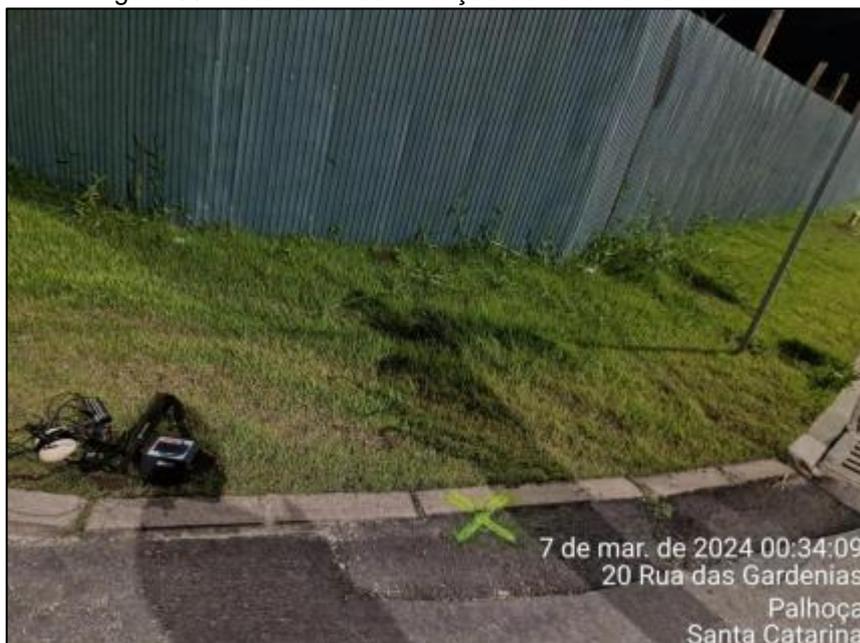
Foi contratado o serviço de pesquisa de vazamentos com geofonamento (Figura 41) para quantificação e localização de possíveis vazamentos que poderiam estar ocorrendo no DMC. O serviço foi realizado nos dias 6 e 7 de março de 2024, a partir das 23h. Foram detectados um suposto vazamento de rede na Rua das Gardenias (Figura 39) e um vazamento no pé do cavalete (Figura 40).

Figura 38: Campanha de geofonamento.



Fonte: SAE Pedra Branca.

Figura 39: Local com identificação de vazamento na rede.



Fonte: SAE Pedra Branca.

Figura 40: Local com identificação de vazamento no pé do cavalete.



Fonte: SAE Pedra Branca.

Ambos as suspeitas de vazamento foram confirmadas, e o reparo ocorreu algumas semanas após a pesquisa de vazamentos. O conserto do vazamento pode ser observado nas Figura 41 e Figura 42.

Figura 41: Reparo do vazamento na rede identificado pelo geofonamento.



Fonte: SAE Pedra Branca.

Figura 42: Reparo do vazamento na rede identificado pelo geofonamento.



Fonte: SAE Pedra Branca.

#### 4.4.3 Análise da troca de hidrômetros de 2022

Foram avaliados os períodos de 2021 e 2023, de forma a analisar os volumes micromedidos antes e após a troca de hidrômetros, ocorrida em 2022. O total de hidrômetros analisados foram 372. Destes, 28 hidrômetros possuíam o consumo médio maior que 50 m<sup>3</sup>/mês. Os demais 344 possuem consumo médio menor que 50 m<sup>3</sup>/mês. Para cálculo dos consumos médios foram utilizados os dados de 2023. Os respectivos volumes micromedidos mensais para os anos de 2021 e 2023, para as faixas de consumo mencionadas, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Volumes micromedidos mensais (2021 e 2023) dos hidrômetros trocados em 2022.

Meses	Volume micromedido total (m <sup>3</sup> /mês)			
	Consumo médio > 50 m <sup>3</sup> /mês		Consumo médio < 50 m <sup>3</sup> /mês	
	2021	2023	2021	2023
<b>Janeiro</b>	<b>3.276</b>	<b>4.796</b>	<b>5.139</b>	<b>6.374</b>
<b>Fevereiro</b>	<b>3.260</b>	<b>4.245</b>	<b>4.850</b>	<b>5.212</b>
<b>Março</b>	<b>3.809</b>	<b>5.371</b>	<b>5.855</b>	<b>5.896</b>
<b>Abril</b>	<b>3.652</b>	<b>4.977</b>	<b>5.718</b>	<b>5.672</b>
<b>Mai</b>	<b>3.653</b>	<b>4.710</b>	<b>5.532</b>	<b>6.068</b>
<b>Junho</b>	<b>3.907</b>	<b>4.594</b>	<b>4.889</b>	<b>5.396</b>
<b>Julho</b>	<b>3.755</b>	<b>3.968</b>	<b>5.214</b>	<b>5.563</b>
<b>Agosto</b>	<b>3.951</b>	<b>5.021</b>	<b>5.463</b>	<b>5.774</b>
<b>Setembro</b>	<b>4.509</b>	<b>4.654</b>	<b>5.123</b>	<b>5.705</b>
<b>Outubro</b>	<b>4.165</b>	<b>5.114</b>	<b>4.990</b>	<b>5.835</b>
<b>Novembro</b>	<b>3.888</b>	<b>3.938</b>	<b>5.226</b>	<b>5.140</b>
<b>Dezembro</b>	<b>4.086</b>	<b>4.415</b>	<b>6.320</b>	<b>7.048</b>
<b>TOTAL (m<sup>3</sup>)</b>	<b>45.911</b>	<b>55.803</b>	<b>64.319</b>	<b>69.683</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Somando todos os hidrômetros analisados, o consumo micromedido de 2021 registrado foi de 110.230 m<sup>3</sup>/ano, enquanto em 2023, o volume micromedido total foi de 125.486 m<sup>3</sup>/ano. Observa-se, portanto, um aumento de 15.256 m<sup>3</sup>, o que corresponde a um aumento de 13,84% em relação ao consumo de 2021.

Deste aumento de 15.256 m<sup>3</sup>, 9.892 m<sup>3</sup> é referente aos hidrômetros com consumo médio maior que 50 m<sup>3</sup>/mês, enquanto 5.364 m<sup>3</sup> é referente aos hidrômetros com consumo menor que 50 m<sup>3</sup>/mês. Percebe-se, portanto, que os 'grandes consumidores' representam não somente a maior parcela do consumo total, mas também a maior parcela de submedição. Para esta faixa de consumo, a troca de

hidrômetros resultou em um aumento de 21,5% do volume lido em comparação com 2021. Para os pequenos consumidores, o aumento foi de somente 8,3%.

Esta diferença pode ser explicada pelo fato de que para consumidores maiores, devido ao alto consumo, os hidrômetros tendem a perder a eficiência mais rapidamente devido ao desgaste do equipamento, e estão mais susceptíveis a problemas mecânicos como travamentos. A substituição, portanto, traz aumentos mais expressivos nos volumes lidos, visto que a submedição observada era significativa.

Além disso, uma vez substituídos, os hidrômetros tendem a operar na maior parte do tempo com vazões maiores, onde sua faixa de submedição é menor, fazendo com que o aumento observado no volume lido seja maior, conforme exposto no tópico 2.4.2.

#### **4.4.4 Problemáticas identificadas na gestão de perdas**

Através das conversas realizadas com a equipe técnica e comercial do SAE Pedra Branca, bem como dos resultados obtidos através deste estudo, foi possível revisar as ações de controle e redução de perdas elencadas na revisão bibliográfica e avaliar sua aplicação no SAE Pedra Branca, identificando quais âmbitos de ações são realizados adequadamente e quais apresentam oportunidades de melhorias. Para isso as ações e as respectivas considerações e problemáticas foram organizadas na forma de uma matriz, apresentada na Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7: Problemáticas identificadas no âmbito de perdas reais.

Gestão de perdas	Tópico	Avaliação e problemáticas identificadas
Perdas reais	<b>Controle e detecção de vazamentos</b>	Foram realizadas campanhas geofonamento no DMC Reserva da Pedra, onde identificou-se potencial ocorrência de vazamentos. A campanha foi realizada por uma empresa terceirizada, visto que o SAE não possui equipe de campo preparada para executar este serviço. Esta característica dificulta a implementação de rotinas de detecção de vazamentos, visto que o custo para contratação do serviço é bastante alto. Quanto ao controle de vazamentos, atualmente está sendo implementado um sistema de telemetria, em que será possível obter dados de vazão em tempo real, sendo mais fácil a identificação de potenciais vazamentos.
	<b>Gerenciamento de pressões</b>	O gerenciamento de pressões ocorre apenas em alguns locais do sistema. Existem algumas regiões do sistema, como é o caso, por exemplo do DMC Reserva da Pedra, que apresentam pressões altas (maiores que 50 mca), consequência principalmente das altas pressões registradas nas importações de água do SAMAE e da topografia da região. Com o novo projeto de modelagem foi elaborado uma nova setorização do sistema, com gerenciamento de pressões, que deve ser implementado entre 2025 e 2026.
	<b>Setorização e DMCs</b>	Atualmente o sistema não é setorizado em centros de reservação. A setorização existente é referente as áreas dos DMCs. Conforme observado no tópico 4.5, alguns DMCs apresentaram problemas de setorização, possuindo mais de uma entrada, portanto ocasionando uma diminuição da leitura do medidor da entrada do DMC. Observou-se que a criação de setores menores para monitoramento das perdas, embora proveitosa para melhor identificação dos possíveis problemas do sistema, apresenta desafios na sua implementação. Devem ser realizados novos testes em campo para localização de possíveis locais de mistura.
	<b>Gerenciamento da infraestrutura</b>	As ações de gerenciamento da infraestrutura se concentram principalmente no conserto de vazamentos visíveis, nas trocas preventivas de hidrômetros e demais problemas emergenciais que surgirem na operação do sistema. Não foram identificados programas de troca preventiva de redes ou ramais antigos. Foi identificado uma falta de integração entre as ações técnicas e de planejamento e as ações da equipe operacional, onde pode-se citar como exemplo: a abertura dos by-passes dos medidores da entrada dos DMCs, sem que sejam registrados e comunicados o dia e a hora de fechamento, para eventuais correções nos balanços de perdas.

Tabela 8: Problemáticas identificadas no âmbito de perdas aparentes.

Gestão de perdas	Tópico	Avaliação e problemáticas identificadas
Perdas aparentes	<b>Redução de erros na macromedição</b>	Ao analisar os macromedidores existentes nas entradas de água do sistema, percebe-se que os medidores das importações, responsáveis pelo maior volume de entrada de água, não possuem a confiabilidade desejada. Por exemplo, o macromedidor eletromagnético do Portal Passa Vinte apresenta problemas no cabo do conversor, o que obriga a utilização do medidor mecânico para os cálculos de perdas. Diante dessa problemática, destaca-se a importância de escolher tecnologias mais avançadas e precisas, como os medidores eletromagnéticos. Além disso, ressalta-se a importância da correta instalação dos medidores, assim como das ações de manutenção e verificações anuais (com uso de pitometria, por exemplo) para garantir a confiabilidade dos dados.
	<b>Redução de erros na micromedição</b>	Através das análises do parque de hidrômetros e da submedição, identificou-se que o parque apresenta uma gestão de trocas satisfatória, mantendo a maior parte dos medidores com idade inferior a 5 anos. Observou-se que todos os medidores se encontram bem dimensionados. Embora o parque tenha idade média de 3,4 anos, com hidrômetros predominantemente classe b, a submedição média observada foi de cerca de 8%. As perdas aparentes representaram cerca de 46% das perdas totais do sistema, o que evidencia a importância da redução de erros na micromedição para redução das perdas do sistema.
	<b>Combate a fraudes</b>	O combate a fraudes e ligações clandestinas não é prioridade para a gestão de perdas atualmente, visto que o bairro apresenta um padrão mais elevado e a grande maioria das ligações estão regularizadas.
	<b>Gestão de grandes consumidores</b>	Atualmente existem 75 ligações consideradas grandes consumidores, monitoradas por medidores ultrassônicos de alta precisão. Estas ligações correspondem a 1/3 do volume total micromedido do sistema. Em conversas com a equipe técnica, constatou-se que há um acompanhamento mensal da variação do consumo destes consumidores, o que é bastante importante visto que estes correspondem a uma importante parcela da receita total da companhia.
	<b>Melhorias cadastro comercial</b>	Atualmente, o SAE utiliza o Sansys como sistema comercial e, em geral, apresenta boas práticas na gestão comercial. A maioria das ligações possui informações cadastrais atualizadas, e foram identificados poucos erros cadastrais, resultado dos esforços constantes para correção e atualização dos dados. A situação observada é particularmente favorecida pelo fato de o sistema ser de pequeno porte, com poucas ligações, o que facilita uma gestão mais próxima dos dados. Em sistemas maiores, os desafios para a gestão do cadastro comercial são mais significativos. Ressalta-se a importância de uma base de dados comerciais confiável para a tomada de decisões relacionadas à gestão de perdas.

## 5 CONCLUSÕES

Com relação aos resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho, pode-se concluir que foi possível obter uma compreensão mais aprofundada sobre as perdas no sistema e identificar as principais problemáticas dentro do SAE Pedra Branca.

A metodologia IWA de Balanço Hídrico, pela análise Top-Down, mostrou-se uma ferramenta essencial na gestão de perdas e na quantificação dos volumes perdidos. Ele auxilia os gestores a realizar um estudo detalhado de todos os componentes das perdas no sistema, proporcionando uma compreensão quantitativa dos volumes que compõem o balanço hídrico e uma visão mais clara das ações de controle e redução que devem ser implementadas.

O sistema apresentou um índice de perdas de 15,2%, com 46,5% de perdas aparentes e 53,5% de perdas reais. Este resultado foi inesperado, considerando que, com uma idade média do parque de 3,4 anos, esperava-se uma submedição baixa, não representando um volume significativo nas perdas totais. Conclui-se, portanto, que as perdas reais e aparentes estão igualmente divididas na composição total de perdas, sendo necessárias estudar a aplicação de ações em ambas as áreas.

Os resultados dos indicadores de desempenho e seus respectivos enquadramentos nos grupos de performance propostos pela IWA, sugere que o sistema de água do SAE Pedra Branca pode estar próximo de um nível ótimo de perdas.

Também foram avaliadas as perdas nos Distritos de Medição e Controle (DMCs) e seus aspectos operacionais. Verificou-se que, para os 11 DMCs existentes, a maioria apresentava valores negativos de perdas, ou seja, o volume de micromedição registrado foi maior que o de macromedição. Os resultados revelaram algumas problemáticas relatadas pela equipe técnica do SAE, como a falta de alinhamento com a equipe operacional que resultava em aberturas frequentes de bypass (sem registro do momento ocorrido), problemas de setorização, entre outras questões específicas de cada DMC.

Na avaliação das ações para controle de perdas aparentes, observou-se que a substituição de 372 hidrômetros em 2022 resultou em um aumento de 13,84% no

volume registrado pelos hidrômetros. Notou-se que a maior parcela de submedição estava relacionada aos hidrômetros com consumo médio superior a 50 m<sup>3</sup>/mês. Este resultado destaca a importância das substituições preventivas de hidrômetros e da gestão de grandes consumidores, visto que estes representam a maior parte do consumo micromedido e, conseqüentemente, do faturamento da companhia.

No âmbito das perdas reais, avaliou-se os resultados da campanha de geofonamento realizada no DMC Reserva da Pedra. A campanha foi eficaz na detecção de vazamentos não visíveis, e o reparo desses vazamentos impactou positivamente os índices de perdas do DMC. Ressalta-se a importância da implantação de DMCs, que permitiu identificar o condomínio Reserva da Pedra como uma área com potencial existência de vazamentos e realizar o trabalho de pesquisa de vazamentos de forma mais localizada e eficiente.

Foi evidenciada a importância de obter dados confiáveis dos sistemas, a necessidade de gestão ativa de perdas, incluindo substituições preventivas de hidrômetros e pesquisas de vazamentos, e a importância de um monitoramento constante de diferentes regiões do sistema, por meio dos DMCs, para apoiar a tomada de decisões dos gestores e possibilitar a redução dos índices de perdas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO (AESBE). **Serie Balanço Hídrico – Guia Prático Para Quantificação de balanços Hídricos e Indicadores de Desempenho Operacional**. 1. Ed. Brasília: [s.n], v. 5, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO (AESBE). **Serie Balanço Hídrico – Guia Prático De Procedimentos Para Estimativa De Submedição No Parque De Hidrômetros**. 1. Ed. Brasília: [s.n], v. 3, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO (AESBE). **Serie Balanço Hídrico – Guia Prático Para Método Direto De Quantificação De Perdas Reais Em Sistemas De Abastecimento**. 1. Ed. Brasília: [s.n], v. 6, 2015.

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 NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15538 - Medidores de água potável - Ensaio para avaliação de eficiência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014 18 p.

BEZERRA & CHEUNG, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água**. Tecnologias de Controle. João Pessoa, 2013.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Brasil. Ministério da Saúde. **Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 2. ed. – Brasília: Funasa, 2014.

GOMES, Heber Pimentel; CARVALHO, Paulo Sérgio O. de. **Manual de Sistemas de Bombeamento Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2012

HELLER, L.; PADUA V.L. (Coord.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 2 v.

IWA, BLUE PAGES. **Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Performance Measures**. Lambert A & Hirner W.H. (2000).

LAMBERT, A., & HIRNER, W. (2002). **Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures**. *Water Loss Control*, 17(1), 3-14.

LAMBERT, A. et al. **A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems**. *AQUA*, v.48, n.6, 1999.

MORENO, José; QBAR Nizar; ONOFRE, Regina Mel, SOUZA, Roseane Garcia Lopes. **Manual de Controle da Qualidade e Operação do Sistema de Abastecimento de Água**. São Paulo, 2012.

MOTTA, Renato Gonçalves da. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de abastecimento público de água de abastecimento público**. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas**, In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

VICENTINI, Liliana Pedroso. **COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO PARA AVALIAÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**. 2012. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010

## ANEXO 1 - HISTÓRICO DE PERDAS NOS DMCS: MAI/23 A ABR/24.

DMC	DADOS	mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23	nov/23	dez/23	jan/24	fev/24	mar/24	abr/24
NOVO URBANISMO OESTE	V Macro	9760	9444	8741	10374	7679	9701	7607	9508	8605	8082	9375	8977
	V Micro	9746	6943	8469	9165	5661	6149	7001	8605	7459	7371	8840	8309
	Perda	14	2501	272	1209	2018	3552	606	903	1146	711	535	668
	<b>Perda</b>	<b>0,15%</b>	<b>26,48%</b>	<b>3,11%</b>	<b>11,65%</b>	<b>26,28%</b>	<b>36,62%</b>	<b>7,96%</b>	<b>9,50%</b>	<b>13,32%</b>	<b>8,80%</b>	<b>5,71%</b>	<b>7,44%</b>
AV PEDRA BRANCA NORTE	V Macro						4506	3370	4268	5076	6172	5538	6491
	V Micro						4740	3808	4174	4761	6147	5295	6731
	Perda						-234	-438	94	315	25	243	-240
	<b>Perda</b>						<b>-5,19%</b>	<b>-13,00%</b>	<b>2,20%</b>	<b>6,21%</b>	<b>0,41%</b>	<b>4,39%</b>	<b>-3,70%</b>
AV PEDRA BRANCA SUL	V Macro	5154	5043	4581	6027	4912	6726	4069	5571	2297	5109	6711	5864
	V Micro	4978	4489	4427	5606	4839	6194	5105	5736	5617	5256	5987	5978
	Perda	176	554	154	421	73	532	-1036	-165	-3320	-147	724	-114
	<b>Perda</b>	<b>3,41%</b>	<b>10,99%</b>	<b>3,36%</b>	<b>6,99%</b>	<b>1,49%</b>	<b>7,91%</b>	<b>-25,46%</b>	<b>-2,96%</b>	<b>-144,54%</b>	<b>-2,88%</b>	<b>10,79%</b>	<b>-1,94%</b>
PARQUE DA PEDRA	V Macro	2839	2362	2190	2465	2400	2823	2460	3411	2471	2824	2839	2773
	V Micro	3008	2699	2441	2839	2581	2744	2779	3535	2671	3084	3067	2914
	Perda	-169	-337	-251	-374	-181	79	-319	-124	-200	-260	-228	-141
	<b>Perda</b>	<b>-5,95%</b>	<b>-14,27%</b>	<b>-11,46%</b>	<b>-15,19%</b>	<b>-7,56%</b>	<b>2,80%</b>	<b>-12,97%</b>	<b>-3,64%</b>	<b>-8,09%</b>	<b>-9,21%</b>	<b>-8,03%</b>	<b>-5,08%</b>
CASA SEDE	V Macro	976	512	516	560	418	1222	789	2379	1179	2722	2914	2708
	V Micro	2836	2774	2798	2982	2938	3047	2800	2296	1975	2228	2419	2154
	Perda	-1860	-2262	-2282	-2422	-2520	-1825	-2011	83	-796	494	495	554
	<b>Perda</b>	<b>-190%</b>	<b>-442,3%</b>	<b>-441,7%</b>	<b>-432,5%</b>	<b>-602,9%</b>	<b>-149,3%</b>	<b>-254,9%</b>	<b>3,49%</b>	<b>-67,51%</b>	<b>18,15%</b>	<b>16,99%</b>	<b>20,46%</b>
JUAZEIROS	V Macro						11195	4592	757	548	7630	4032	255
	V Micro						8492	7204	8355	7836	8490	7740	8587
	Perda						2703	-2612	-7598	-7288	-860	-3708	
	<b>Perda</b>						<b>24,14%</b>	<b>-56,88%</b>	<b>-1003,70%</b>	<b>-1329,93%</b>	<b>-11,27%</b>	<b>-91,96%</b>	

DMC	DADOS	mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23	out/23	nov/23	dez/23	jan/24	fev/24	mar/24	abr/24
R2	V Macro	1626	2288	3055	7196	6215	5963	5475	7153	6954	6675	6199	6428
	V Micro	5280	4886	5444	5444	6039	5554	4954	6841	5902	6603	6009	6293
	Perda	-3654	-2598	-2389	1752	176	409	521	312	1052	72	190	135
	<b>Perda</b>	<b>-225%</b>	<b>-113,55%</b>	<b>-78,20%</b>	<b>24,35%</b>	<b>2,84%</b>	<b>6,87%</b>	<b>9,52%</b>	<b>4,36%</b>	<b>15,13%</b>	<b>1,08%</b>	<b>3,07%</b>	<b>2,10%</b>
RESERVA DA PEDRA	V Macro	2913	2596	3046	3131	3306	3907	1964	4411	4321	4426	4208	3898
	V Micro	331	634	749	802	846	1094	1022	1852	1552	1706	2243	1838
	Perda	2582	1962	2297	2329	2460	2813	942	2559	2769	2720	1965	2060
	<b>Perda</b>	<b>88,64%</b>	<b>75,58%</b>	<b>75,41%</b>	<b>74,38%</b>	<b>74,41%</b>	<b>72,00%</b>	<b>47,96%</b>	<b>58,01%</b>	<b>64,08%</b>	<b>61,46%</b>	<b>46,70%</b>	<b>52,85%</b>
UNISUL	V Macro									1343	1970	1354	-
	V Micro									1209	1773	1239	1127
	Perda									134	197	115	-1127
	<b>Perda</b>									<b>9,98%</b>	<b>10,00%</b>	<b>8,49%</b>	
ÁREA INDUSTRIAL E NU LESTE	V Macro						6840	3013	459	2499	4326	5028	2293
	V Micro						7824	6535	8548	10779	9597	9413	3936
	Perda						-984	-3522	-8089	-8280	-5271	-4385	-1643
	<b>Perda</b>						<b>-14,38%</b>	<b>-116,89%</b>	<b>-1762,31%</b>	<b>-331,33%</b>	<b>-121,84%</b>	<b>-87,21%</b>	<b>-71,65%</b>
ÁREA REMANESCENTE	V Macro	46298	38162	37341	36847	43306	14060	31054	33683	37666	17317	23244	33827
	V Micro	13429	12745	13030	10152	18122	7477	9482	12252	9860	10997	10290	9558
	Perda	44397	38738	36378	40477	31265	9832	28684	9281	27806	6320	12954	24269
	<b>Perda</b>	<b>76,78%</b>	<b>75,24%</b>	<b>73,63%</b>	<b>79,95%</b>	<b>63,31%</b>	<b>56,80%</b>	<b>75,16%</b>	<b>43,10%</b>	<b>73,82%</b>	<b>36,50%</b>	<b>55,73%</b>	<b>71,74%</b>
SAE PEDRA BRANCA	V Macro	69566	60407	59470	66600	68237	66944	64393	71600	72959	67253	71442	73514
	V Micro	57508	52096	53915	56975	54287	53315	47890	62194	60002	63232	62542	62811
	Perda	12058	8311	5555	9625	13950	13629	16503	15849	12957	4021	8900	10703
	<b>Perda</b>	<b>17,3%</b>	<b>13,8%</b>	<b>9,3%</b>	<b>14,5%</b>	<b>20,4%</b>	<b>20,4%</b>	<b>25,6%</b>	<b>20,3%</b>	<b>17,8%</b>	<b>6,0%</b>	<b>12,5%</b>	<b>14,6%</b>