



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Carlos Kenzo Yoshitake Pinto

**Análise Crítica das Técnicas e Estratégias de Controle de Perdas de Água em
Sistemas de Abastecimento: Uma Revisão de Literatura**

Buri
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Carlos Kenzo Yoshitake Pinto

**Análise Crítica das Técnicas e Estratégias de Controle de Perdas de Água em
Sistemas de Abastecimento: Uma Revisão de Literatura**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Ambiental na Universidade
Federal de São Carlos.

Orientação: Prof. Dr. Jorge Luis
Rodrigues Pantoja Filho.

Buri
2023

Pinto, Carlos Kenzo Yoshitake

Análise crítica das técnicas e estratégias de controle de perdas de água em sistemas de abastecimento: uma revisão de literatura / Carlos Kenzo Yoshitake Pinto -- 2023.
80f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri
Orientador (a): Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho
Banca Examinadora: Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho, Anai Floriano Vasconcelos, Beatriz Cruz Gonzales
Bibliografia

1. Perdas de água. 2. Vazamentos. 3. Controle de perdas.
I. Pinto, Carlos Kenzo Yoshitake. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Folha de Aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do(a) candidato(a) **Carlos Kenzo Yoshitake Pinto**, realizada em 19/01/2024:

Documento assinado digitalmente
 JORGE LUIS RODRIGUES PANTOJA FILHO
Data: 22/01/2024 15:02:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho – Orientador(a)
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente
 ANAI FLORIANO VASCONCELOS
Data: 22/01/2024 09:13:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Anai Floriano Vasconcelos
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente
 BEATRIZ CRUZ GONZALEZ
Data: 22/01/2024 14:35:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Beatriz Cruz Gonzalez
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.



Dedico este trabalho a todas as pessoas que contribuíram e me apoiaram de alguma forma durante minha jornada acadêmica, especialmente à minha falecida avô Yoshica e a toda minha família que me amparou oferecendo carinho, apoio e incentivos durante toda realização da graduação.



AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer a Deus, por ser meu refúgio espiritual e me dar forças para continuar seguindo em momentos difíceis.

Aos meus pais Carlos e Sonia, por todo apoio que me deram durante toda minha vida especialmente os sacrifícios dedicados à minha educação desde quando nasci.

Às minhas tias “Mi” e “Ha”, que semelhante aos meus pais, realizaram diversos sacrifícios para me garantir uma boa criação e desempenham um papel extremamente importante na minha base familiar.

À minha falecida avó, que mesmo já em seu eterno descanso, em vida sempre foi uma pessoa muito carinhosa e que sou eternamente grato.

À minha irmã Vitória, que me incentivou em momentos difíceis da escrita deste documento.

À faculdade UFSCar e todo seu corpo docente, por oferecer a oportunidade, condições, infraestrutura e ensino para que eu pudesse me graduar. Em especial ao meu professor orientador, Jorge, que me despertou grande interesse na área de saneamento em suas aulas e me auxiliou e confiou em mim até o fim para que este trabalho pudesse acontecer.

Aos meus colegas e amigos que conheci durante a graduação, todos compõem e fazem parte das minhas memórias e experiências que vivenciei durante o período de formação, especialmente o Luan, Dheosmani, Rafael e Luis pela amizade e parceria.

Aos meus companheiros de estimação, Hachi, Kira, Mochi e falecida Misty por sempre serem capaz de aliviar os estresses da vida e serem capazes de me garantir momento de alegria diários.



RESUMO

PINTO, C. K. Y. **Análise Crítica das Técnicas e Estratégias de Controle de Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento: Uma Revisão de Literatura.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2023.

Após os extensos períodos de estiagem que ocorreram no de 2014-2015 no estado de São Paulo, a Região Metropolitana de São Paulo, sentiu o que de fato é um cenário de crise hídrica. Discussões a respeito da disponibilidade hídrica do Brasil e sua heterogeneidade de distribuição entre os estados brasileiros e sobre a qualidade da gestão de bacias vem crescendo e ganhando a devida atenção de toda população. Com crescimento populacional e expansão dos centros urbanos acelerada, muitas das vezes de forma não planejada, o fornecimento de água potável com disponibilidade, qualidade e pressão adequada à toda população brasileira se torna uma tarefa difícil nesse contexto. Diante do exposto o presente trabalho aborda o tópico de perdas de água nos sistemas de abastecimento com foco nas redes de distribuição, levantando informações sobre as definições de perdas reais e aparentes, principais causas, impactos econômicos e ambientais, e algumas das principais estratégias de combate às perdas. O intuito é realizar uma revisão bibliográfica a respeito do estado da arte sobre o tópico de perdas de água e demonstrar a multidisciplinaridade dos tópicos relevantes necessário para entender e combater o fenômeno de perdas em redes de distribuição. O levantamento de dados e trabalhos demonstram que a nível nacional, o Brasil possui elevadas taxas de perdas e diversos estudos mostram que a redução de perdas podem trazer contribuições significativas a capacidade de atendimento das redes de distribuição e diminuição de prejuízos econômicos e ambientais para toda sociedade.

Palavras-chave: Perdas reais e aparentes, Redes de distribuição, Impactos econômicos e ambientais, Combate às perdas.



ABSTRACT

After the extended periods of drought that occurred in 2014-2015 in the state of São Paulo, the greater Metropolitan Region of São Paulo, felt what in fact is a water crisis scenario, discussions regarding water availability in Brazil and its heterogeneity of distribution between the Brazilian states and the basin management quality has been growing and gaining attention from the entire population. With the population growth and the accelerated expansion of urban centers, often unplanned, providing drinking water with proper availability, quality and pressure to the entire Brazilian population becomes a difficult task in this context. In view of the above, this work addresses the topic of water losses in supply systems with focus on the distribution networks, gathering information on the definitions of real and apparent losses, its main causes, economic and environmental impacts, and some of the main combat strategies against the losses. The goal is to carry out a bibliographical review regarding the state of the art on the topic of water losses and demonstrate the multidisciplinary nature of relevant topics necessary to understand and combat the phenomenon of losses in distribution networks. The collection of searched data and academic papers demonstrate that at a national level, Brazil has high loss rates and several studies show that the reduction of losses can make significant contributions to the supply capacity of the distribution networks and can reduce the economic and environmental losses related to water for the the entire society.

Keywords: Real and apparent losses, Distribution networks, Economic and environmental impacts, Combat strategies against the losses.

LISTA DE FIGURAS / LISTA DE TABELAS/ LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de sistema de abastecimento isolado.....	19
Figura 2: Esquema de sistema de abastecimento integrado.	19
Figura 3: Tipos de vazamentos.....	25
Figura 4: Esquema de derivação de ramal.	26
Figura 5: Esquema de ligação "by-pass".	27
Figura 6: Esquemática do sistema Cantareira.	29
Figura 7: Determinação do nível eficiente de perdas de água.....	31
Figura 8: Ocorrência de trincas e fissuras em edificações em razão de colapso de solo.....	34
Figura 9: Cratera formada em Harrisburg decorrente de vazamento em rede de abastecimento.	34
Figura 10: Cratera encontrada na Rua Oscar Freire, São Paulo, decorrente de vazamento em rede de abastecimento.	35
Figura 11: Local de rompimento da rede de abastecimento de água e comprometimento de imóvel próximo.....	36
Figura 12: Fissuras e rachaduras causadas por movimentação de solo em imóvel no Recreio de São Jorge.	36
Figura 13: Curvas de erros – Hidrômetros novos: posição normal/posição inclinada - Adaptado de Medidores Lautaro.	42
Figura 14: Matriz de balanço hídrico proposto pela IWA.	44
Figura 15: Gráfico com componentes da vazão mínima noturna.....	46
Figura 16: Detecção de vazamento por meio de um sistema de telemetria - Registros pré e pós a reparação de um vazamento.....	46
Figura 17: Esquema de componentes de haste de escuta	49
Figura 18: Operador utilizando a haste de escuta.	49
Figura 19: Maleta e geofone mecânico.....	50
Figura 20: Esquema de funcionamento básico de geofone eletrônico.	50
Figura 21: Geofone eletrônico.	51
Figura 22: Correlacionador de ruídos e seus componentes.	52

Figura 23: Métodos básicos de gerenciamento de perdas reais adaptado por SANTOS (2018).	54
Figura 24: Aspecto de um Registrador Gráfico de Pressão.....	56
Figura 25: Aspecto de um data logger para registro de pressões.	56
Figura 26: Gráfico de registro de pressões em caso de subdimensionamento da válvula redutora de pressão.	57
Figura 27: Gráfico de registro de pressões em caso de superdimensionamento da válvula redutora de pressão.	57
Figura 28: Válvula redutora de pressão em ligação by-pass.	58
Figura 29: Setorização clássica em sistemas distribuidores de água.....	60
Figura 30: Métodos básicos de gerenciamento de perdas aparentes adaptado por SANTOS (2018).	61
Figura 31: Ações para o controle de perdas aparentes.	62
Figura 32: Simulação de impactos de redução das perdas.	65
Figura 33: Evolução das perdas no setor Guará II, antes e após VRP.....	66
Figura 34: Mapa referente aos valores de pressão obtidos por Diagrama de Voronoi.....	67
Figura 35: Mapa referente à idade das tubulações.....	68
Figura 36: Mapa referente às manutenções recorrentes nas tubulações.	68
Figura 37: Carta de vulnerabilidade à vazamentos e localização de casos de acidentes geológicos.....	69



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Causas dos vazamentos.....	37
---------------------------------------	----



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AGERGS Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul
- CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- DAEE Departamento de Águas e Energia Elétrica.
- EMBASA Empresa Baiana de Águas e Saneamento
- EPA Environmental Protection Agency
- FUNASA Fundação Nacional de Saúde
- IWA International Water Association (Associação Internacional de Água).
- NBR Norma Brasileira
- PNCDA Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
- RMSP Região Metropolitana de São Paulo
- SABESP Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
- SIG Sistema de informação geográfica
- UFSCar Universidade Federal de São Carlos
- VRP Válvula redutora de pressão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. JUSTIFICATIVA	16
3. OBJETIVO.....	16
3.1. Objetivo geral.....	16
3.2. Objetivos específicos	17
4. METODOLOGIA.....	17
5. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
5.1. Conceitos fundamentais	18
5.2. Perdas de água	22
5.2.1. Perdas totais	23
5.2.2. Perdas reais (físicas)	23
5.2.3. Perdas aparentes (não-físicas ou comerciais).....	25
5.3. Impactos e importância das perdas de água em sistemas de abastecimento	28
5.4. Vazamentos na rede distribuição e riscos geológicos	33
5.5. Causas das perdas reais de água	37
5.6. Causas das perdas de aparentes	40
5.7. Métodos de detecção de perdas reais.....	43
5.7.1. Balanço hídrico	43
5.7.2. Método das vazões mínimas noturnas	46
5.8. Equipamentos de detecção de vazamentos	48
5.9. Ações para mitigação de perdas reais.....	52
5.9.1. Setorização.....	58
5.10. Ações para mitigação de perdas aparentes.....	61
5.11. Custos associados às perdas de água	63
5.12. Sensoriamento remoto no combate às perdas	65
5.13. Estudo de caso 1 – Válvulas redutoras de pressão na rede de distribuição: setor Guará II.....	65
5.14. Estudo de caso 2 – SIG na análise de vulnerabilidade a vazamentos - Guarulhos-SP.....	66
6. ANÁLISE CRÍTICA DO FENÔMENO.....	69
7. CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS	72

1. INTRODUÇÃO

A água é imprescindível à manutenção de toda vida do planeta e é um recurso insubstituível para qualquer ser vivo e até mesmo para diversos processos naturais que regulam o equilíbrio do meio ambiente (Setti *et al.*, 2001).

O sedentarismo da humanidade está extremamente relacionado à importância da água, é por conta deste recurso que as primeiras civilizações do globo, mesmo que culturalmente diversas, sempre tinham uma coisa em comum, a proximidade de suas instalações aos corpos hídricos (Baptista e Cardoso, 2013).

Recursos hídricos são definidos por qualquer fonte de água, seja ela superficial ou subterrânea, que podem ser utilizados pelo homem para qualquer fim, sendo os principais a manutenção da vida através do consumo direto ou produção de alimentos e a geração de energia através de usinas hidrelétricas (Costa *et al.*, 2012).

Mesmo que o planeta Terra também seja conhecido como planeta azul em motivo do volume de água que possui, a distribuição deste recurso não faz jus a este nome quando o assunto tratado é sobre a disponibilidade de uso e exploração deste recurso por meios economicamente viáveis no período atual. De toda água do globo, 97,5% é salgada; 2,5% doce e dentro desta pequena parcela, apenas 0,3% corresponde à água dos rios e lagos, sendo o restante compreendido por calotas polares, gelo e neve (Shiklomanov, 1993).

Segundo Setti *et al.* 2001, o Brasil é país privilegiado com relação à disponibilidade hídrica, entretanto mesmo que tal fato seja a representação da verdade, aproximadamente 70% de toda água doce do país está localizada na região Norte que reside menos de 5% de toda população brasileira. Portanto têm-se um cenário de ocorrência de grandes aglomerações de habitantes em regiões de maior escassez hídrica e maior demanda localizada com o incentivo à cultura de desvalorização deste recurso que é a água e conseqüentemente a falta da devida atenção e investimento que este tópico merece.

Diversas literaturas sobre a água e sua geração de energia hidrelétrica, como exemplo o estudo de Jia, Klemes e Tan (2021) com o título de “Overview of water use in Renewable Electricity Generation”, a classificam como um recurso não-renovável, mesmo que pelo conceito de recursos renováveis, definido por recursos

que após sua exploração, possuem a capacidade de retornar à natureza no mesmo nível de estoque através de um processo natural de reabastecimento (OECD,1997), essa seja a classificação correta para água, a real capacidade de renovação da água vem sendo discutida na atualidade pois o seu uso descontrolado muitas das vezes excede a taxa de renovação deste recurso na natureza, ocasionando em um déficit de disponibilidade hídrica e conseqüentemente escassez hídrica e problemas relacionados, reforçando a ideia de que a água deve ser tratada como um recurso finito e com os devidos cuidados necessários.

Desta forma, conforme toda a utilidade da água e seu risco de escassez, no Brasil já surgiram diversos instrumentos de valorização da água como a Política Nacional de Recursos hídricos instituída pela lei Lei 9.433/1977 que define a água no Brasil como um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico além de ter como objetivo e fundamentos garantir uso múltiplo da água, descentralização da gestão de recursos hídricos para atender às especificidades de cada região e cenário, garantir que gerações futuras tenham acesso à disponibilidade hídrica de qualidade, utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incentivo e promoção ao uso sustentável de águas pluviais e por fim o combate e prevenção contra eventos hidrológicos críticos sejam eles de causas naturais ou antrópicas.

Segundo Marengo (2015), em 2014, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) localizada na região Sudeste do país, vivenciou uma das maiores e mais severas secas de sua história. A população da RMSP enfrentou um longo período de estiagem e de escassez de abastecimento de água, medidas como racionamento de água durante os períodos do dia eram comuns, necessidade de caminhões pipa e até mesmo rodízio de abastecimento de água entre os bairros da capital São Paulo tornaram-se medidas provisórias para combater o período de estiagem. Além disso os impactos econômicos causados aos empreendimentos que dependem de grande disponibilidade hídrica foram gigantes, seja pela falta do recurso água como o aumento dos preços desta durante o período de seca, atividades de turismo e pesca nos reservatórios do sistema Cantareira que abasteciam a RSMP também foram severamente afetadas pelos níveis d'água dos corpos hídricos que compõem este sistema, é dado que em fevereiro de 2014, 20 toneladas de peixes morreram no Rio Piracicaba. Para a população paulista, foi um choque de realidade o fato de que o Brasil, um país considerado rico em disponibilidade hídrica, sofreu uma crise

hídrica desta magnitude, ficando evidente fatores como a distribuição hídrica nas áreas do país e o fato de que a água doce é um recurso escasso em nosso planeta e deve ser utilizado de maneira fracionada e consciente.

O sistema público de abastecimento é composto pelo conjunto de atividades, etapas de manipulação, infraestrutura, instalações necessárias para seja possível realizar o fornecimento de água potável aos consumidores finais, de modo geral, engloba desde a captação de água das fontes até as ligações prediais e ferramentas de medição. Os elementos principais que compõem o sistema de abastecimento: captação de água bruta, adução de água bruta e tratada, estações elevatórias e de recalque, estações de tratamento de água, reservatórios, rede de distribuição de água tratada e por fim a ligação familiar (FUNASA, 2016).

A SABESP, uma das maiores empresas de saneamento do mundo, entre o período de 2009 e 2022 realizou investimentos de R\$ 8,3 bilhões em ações de combate contra perdas de água, fenômeno este que segundo a mesma empresa é impossível de anular, independentemente da sofisticação de uma infraestrutura, mas que deve ser dada a devida atenção para que as políticas e ideias de combate ao desperdício e valorização da água possam ser postas em prática. A SABESP ainda aponta que ao longo deste período os índices de perda decresceram 4 pontos percentuais para as perdas reais, porém o índice de perda de micromedição ainda se encontra em 27,9% e o de perdas reais em 18,2%, ambos para o ano de 2021. Essas perdas de água já tratada em etapa final do sistema de abastecimento, ocorrem nas redes de distribuição, que segundo Netto e Fernández (2015), é definido pelo conjunto de equipamentos, estruturas, ferramentas e tubulações interligadas dispostas de forma estratégica e planejada com o objetivo de atender à demanda de uso d'água e pressão ideal nas tubulações e pontos de saída.

O combate e medidas de valorização do recurso hídrico fazem parte das gestões federal, estaduais, municipais e até mesmo localizadas. Existem diversas leis para que essa tarefa de interesse comum de toda população possa ser atendida, várias com implicações práticas à população e planos de desenvolvimento dos municípios como por exemplo a Lei estadual nº 1.172, de 17 de novembro de 1976 que *“Delimita as áreas de proteção relativas aos mananciais, cursos e reservatórios de água, a que se refere o Artigo 2.º da Lei n. 898, de 18 de dezembro de 1975, estabelece normas de restrição de uso do solo em tais áreas e dá providências correlatas”* e a portaria DAEE nº 1.630, de 30 de maio de 2017 que *“Dispõe sobre*

procedimentos de natureza técnica e administrativa para obtenção de manifestação e outorga de direito de uso e de interferência em recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo” e lei federal 12.651, de 25 de maio de 2012 (código florestal brasileiro) que “Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências”. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a presença de vegetação nativa nas bacias hidrográficas possui relação direta e benéfica com a qualidade de água oferecida pelos rios daquela bacia, níveis de erosão e tempo de detenção de água nos solos, fator este que diminui os picos de vazões dos rios, o que diminui riscos de inundações, e garante maior estabilidade e constância nos níveis de vazões dos rios, garantindo maior segurança hídrica e impactos causados pelos períodos de estiagem.

2. JUSTIFICATIVA

O presente estudo é impulsionado por todos os esforços que a população brasileira e seus gestores colocam para garantir que água potável seja de acesso à todos em quantidade, qualidade e acessibilidade adequada. Os investimentos em dinheiro, tempo e trabalho são inúmeros para que a água potável seja aproveitada da melhor maneira possível, sendo assim o combate às perdas de água, o foco principal deste trabalho. Tendo como objetivo comum de sociedade, a preservação e valorização do recurso hídrico, é imprescindível que se entenda os indicadores, causas e implicações que as perdas de água acarretam à sociedade, compreendendo não só fenômenos hidráulicos envolvidos, como também aspectos físicos, sociais, políticos e financeiros envolvidos neste assunto.

3. OBJETIVO

3.1. Objetivo geral

O presente trabalho aborda e compila informações técnicas, dados, reflexões e análises sobre o tópico de “perda de água em redes de abastecimento”, desta forma organizando pontos relevantes sobre a identificação dos principais fatores contribuintes às perdas e assim realizar uma análise abrangente e atualizada do

estado da arte com o intuito de subsidiar a reflexão e maior entendimento sobre o tema e suas implicações na sociedade.

3.2. Objetivos específicos

- Compilar base científica e dados empíricos sobre as causas e consequências das perdas de água em redes de abastecimento;
- Identificar os principais fatores de perda em sistemas de abastecimento de água, com foco nas redes de distribuição;
- Apresentar os principais métodos de detecção de vazamento;
- Comparar estratégias utilizadas pelas empresas e concessionárias de abastecimento para mitigar as perdas de água levando em consideração o levantamento teórico realizado;
- Demonstrar estratégias de redução de perda, através de estudos de caso;
- Avaliar impactos ambientais e econômicos;
- Identificar lacunas na literatura;
- Realizar análise crítica sobre as perdas de água e suas implicações;

4. METODOLOGIA

Este trabalho, tem como base metodológica, o estudo, compilação, compreensão, tratamento e exposição de dados secundários seguindo uma sequência lógica e suficiente para que a compreensão sobre o tema possa ser realizada de maneira didática, lógica e eficiente.

A revisão de literatura consistiu na procura e organização de dados e trabalhos de forma a permitir a compreensão das causas, consequências e debates relevantes referentes ao tópico de perdas de água. Desta maneira, para a elaboração do presente trabalho, buscou-se trazer uma abordagem sistemática e abrangente sobre o tópico de perdas de água em sistemas de abastecimento através da identificação e análise de trabalhos, livros, dissertações, artigos e contribuições acadêmicas de modo geral que possuem grande relevância para o tópico apresentado.

O embasamento teórico e os dados apresentados foram obtidos através de pesquisas em fontes confiáveis dentro do ramo acadêmico como o Google Acadêmico, periódicos de base de dados reconhecidas, tais como Scielo,

WebOfScience, ResearchGate, Scopus, dentre outras; dissertações de mestrado, teses de doutorado e relatórios de pós doutorado, normas técnicas brasileiras, legislações, publicações de órgãos governamentais e livros amplamente conhecidos dentro do tópico de sistemas de abastecimento e fenômenos hidráulicos.

A procura dentro das ferramentas de pesquisa foi feita através do uso de palavras-chaves ao tema como “sistemas de abastecimento de água e perdas de água”, “perdas aparentes e reais”, “combate às perdas em redes de distribuição”, “métodos de detecção e combate à vazamentos”, “alta pressão em redes de abastecimento” e diversas outras combinações de palavras-chaves.

Após a obtenção dos referenciais teóricos e fonte de dados, foi realizado um processo de peneira para seleção dos trabalhos considerados mais pertinentes e confiáveis, foi levado em consideração o grau de formação e especialização acadêmica dos autores, data de publicação, checagem se objetivo primário do trabalho possuía relevância à presente revisão, relevância do autor diante do tema escolhido e riqueza de informações que o trabalho apresentava.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1. Conceitos fundamentais

Segundo a FUNASA (2014), os Sistemas Públicos de Abastecimento de Água são compostos pelo conjunto de atividades, infraestruturas e instalações necessárias para que água potável com boa qualidade de uso, quantidade adequada e pressão suficiente seja ofertada à população.

Os sistemas compreendem todas as etapas e componentes desde a captação da água bruta nos mananciais até a contabilização da água tratada pelos hidrômetros prediais e o atendimento da demandas da população. Um sistema de abastecimento de água ainda pode ser classificado como isolado quando toda água utilizada pelo sistema provém de um único manancial e abastece isoladamente bairros, setores ou localizações específicas de um único município, enquanto que os sistemas integrados atendem mais de um município simultaneamente, sendo que a água ofertada provém de um ou mais mananciais. As Figuras 1 e 2 esquematizam as etapas de um sistema de abastecimento isolado e outro integrado.

Figura 1: Esquema de sistema de abastecimento isolado.



Fonte: FUNASA, 2014.

Figura 2: Esquema de sistema de abastecimento integrado.



Fonte: FUNASA, 2014.

De acordo com Tsutiya (2006), as etapas que compõem um sistema de tratamento são citadas e definidas a seguir:

Manancial: Corpo d'água subterrâneo ou superficial que é utilizado para a retirada de água utilizada no abastecimento. Os mananciais devem ser capazes de oferecer água suficiente para atender às vazões de água previstas em projeto e a longevidade do mesmo de modo que a qualidade natural da água atenda às exigências sanitárias cabíveis.

Captação: Componentes e estruturas, construídos ou montados dispostos próximos aos mananciais que tem como objetivo a retirada de água bruta do mananciais e sua destinação às etapas subsequentes.

Estação Elevatória: Todas as obras e equipamentos cujo objetivo é recalcar água para a unidade/etapa seguinte sendo que esta água pode ser tanto a bruta (não tratada) quanto a tratada. Comumente em um sistema de abastecimento completo existem várias estações elevatórias que realizam o bombeamento de água quando as cotas de nível à jusante são superiores que a montante ou quando a existência da mesma se faz necessária.

Adução: É a canalização utilizada para a condução de água entre as unidades e etapas que precedem a rede de distribuição e o atendimento do consumidor final. Podem possuir derivações denominadas sub-adutoras.

Estação de Tratamento de Água: Conjunto de unidades com a finalidade de tratar e adequar a água bruta aos padrões de potabilidade de consumo e uso exigidos.

Reservatório: Estrutura física integrante do sistema de distribuição que armazena volumes de água para compatibilizar as variações de vazões entre a adução e a distribuição de água, garantindo que a demanda seja atendida sob medida mesmo que o volume de água que sai do sistema seja maior do que o que entra em um dado intervalo de tempo. O oposto também se aplica, a água coletada pelas adutoras possui a garantia de que será armazenada mesmo em momentos em que a vazão de distribuição seja menor que a vazão que alimenta o sistema de abastecimento. Este elemento possui grande importância no condicionamento e manipulação da pressão do líquido nas redes de distribuição.

Rede de distribuição: Porção do sistema de abastecimento composta pelas tubulações e componentes acessórios responsáveis por colocar água potável disponível ao consumidores de maneira contínua, quantidades e pressões adequadas.

A Agência estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul (AGERGS) é uma autarquia instituída pela lei estadual nº10.931, de 09 de janeiro de 1997 que possui como um de seus objetivos, assegurar que a prestação de serviços de abastecimento de água atendam às condições satisfatórias de qualidade, regularidade, harmonia e equilíbrio financeiro/econômico (AGERGS, 2015). A agência, em seu regulamento dispõem de uma série de definições e

conceitos relacionados ao abastecimento de água disposto no Capítulo II Artigo 3º da referida lei:

“[...]”

IV. AFERIÇÃO: é o processo utilizado para verificar a precisão de registro do hidrômetro ou do sistema de medição correspondente, de acordo com os padrões estabelecidos pelo INMETRO;

VI. CONSUMO: volume de água utilizado em um imóvel, num determinado período e fornecido pelo sistema público de abastecimento de água, através de sua ligação com a rede pública;

VII. CONSUMO ESTIMADO: volume mensal de água atribuído a uma economia conforme sua categoria de uso nos casos previstos neste regulamento, utilizado como base para faturamento em imóvel não hidrometrado;

VIII. CONSUMO FATURADO: consumo medido ou estimado utilizado como base mensal para o

faturamento do serviço de abastecimento de água;

IX. CONSUMO MEDIDO: volume de água utilizado em um imóvel e registrado através do hidrômetro instalado na ligação;

X. CONSUMO MÉDIO: média dos últimos 6 (seis) consumos consecutivos medidos, relativa a ciclos de prestação do serviço em um imóvel;

XIII. HIDRÔMETRO: aparelho destinado a medir e registrar, cumulativamente, o volume de água utilizado;

XIV. INSTALAÇÃO PREDIAL DE ÁGUA: conjunto de canalizações, aparelhos, equipamentos e dispositivos prediais localizados a partir da última conexão do quadro do hidrômetro e empregados no abastecimento e na distribuição de água ao imóvel, sob responsabilidade do usuário proprietário ou titular de outro direito real sobre o imóvel;

XV. IRREGULARIDADE: todo artifício utilizado para obter vantagem sobre a medição e a respectiva cobrança pelo abastecimento de água e/ou coleta de esgoto;

XVI. LIGAÇÃO: conexão do imóvel ao sistema público de abastecimento de água e/ou esgotamento sanitário, com o respectivo cadastramento no sistema comercial da delegatária;

XVIII. RAMAL PREDIAL DE ÁGUA: canalização compreendida entre o colar de tomada ou peça de derivação até a última conexão do quadro do hidrômetro, sob responsabilidade da delegatária;

XIX. RELIGAÇÃO DO ABASTECIMENTO: procedimento efetuado pela delegatária com o objetivo de restabelecer o abastecimento de água, cessado o fato que motivou a suspensão;

XXI. SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: conjunto de instalações e equipamentos que têm por finalidade captar, aduzir, tratar, reservar e distribuir água potável;

XXIII. SUSPENSÃO DO ABASTECIMENTO: interrupção temporária do abastecimento de água a um imóvel, mantido seu ramal predial;

XXIV. TARIFA DE ÁGUA: valor cobrado pela prestação do serviço de abastecimento de água ao Imóvel. [...]"

Segundo a FUNASA (2016), grande parte das tubulações que compõem o sistema de abastecimento são subterrâneas, somada ao fato da grande complexidade do sistema completo e de sua dimensão, o uso de ferramentas de medição é imprescindível para constatar, identificar, controlar e monitorar os sistemas de abastecimento. Na área de saneamento a utilização dos termos Macromedição e Micromedição são bastante utilizados e suas definições estão a seguir:

- Macromedição: Conjunto de medições de vazão, pressão e nível de reservatório realizadas em um sistema de abastecimento, desde a captação de água do manacial até um ponto anterior à entrega da água tratada ao consumidor, os pontos de medição podem ser monitorados à distância ou localmente e permanentes ou temporários. Geralmente os medidores de macromedição são os que apresentam maior porte em razão das vazões nas quais operam (FUNASA, 2016).

- Micromedição: Medição do volume de água consumida nos pontos de abastecimento de um usuário independentemente de sua categoria e nível de consumo, geralmente é feito por um instrumento de medição individual. Os micromedidores também são chamados de hidrômetros (FUNASA, 2016).

5.2. Perdas de água

O conceito “perda de água” é caracterizado pela diferença de volume de água medida em um determinado trecho de entrada de um sistema de abastecimento e a soma dos valores medidos em pontos de consumo ou em qualquer outro ponto de interesse. O termo é utilizado para quantificar a água “perdida” entre duas etapas do processo de abastecimento e pode ocorrer em qualquer etapa do sistema, desde a captação até o ponto de consumo (Kusterko *et al.*, 2018). A *International Water Association* (IWA – Associação Internacional da Água) ainda traz uma definição mais técnica e específica, definindo as perdas de água como a diferença nos valores aferidos entre a água que entra no sistema de abastecimento e o consumo

autorizado medido pelos micromedidores. Entretanto, mesmo com diversas medidas de combate às perdas de água, boa operação da mão de obra e dos equipamentos de um sistema de abastecimento, a quantificação das vazões de água que entram e saem de um sistema são todas obtidas através de medidores de volume e vazão, portanto um determinado grau de imprecisão está inerente à essas ferramentas fazendo com que uma faixa de tolerância deva ser levada em consideração na quantificação de perdas (Tsutiya, 2006).

5.2.1. Perdas totais

Segundo a Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2016), as perdas totais de água em uma rede de abastecimento são compostas pela soma das “Perdas físicas ou reais” e “Perdas não físicas ou aparentes”, essa classificação é baseada na natureza e forma com que a perda ocorre. A quantificação das perdas transparece a qualidade de infraestrutura e gestão de uma rede de abastecimento e ainda serve como base para tomadas de decisão e verificação da integridade e plenitude de operação de uma rede de abastecimento e seus trechos.

A FUNASA ainda afirma que o índice de perdas médio do Brasil, no ano de 2016, se mantém elevado (40%) e destaca possíveis fatores que motivam este índice alto como, falhas na detecção de vazamentos ou metodologias ineficazes, redes de distribuição operando sob pressões muito elevadas, problemas relacionados à qualidade de gestão dos sistemas, dificuldade no combate às ligações clandestinas e fraudes, ausência de políticas e programas de monitoramento da rede, imprecisão de hidrômetros, entre outros.

5.2.2. Perdas reais (físicas)

Segundo a SABESP (2023), perda física ou real é definida pelo volume de água que não é consumido ou utilizado de quaisquer formas. Este tipo de perda representa os vazamentos das tubulações de abastecimento e o volume de água propriamente perdido do sistema em um definido percurso da rede. Em redes de abastecimento, foco deste trabalho, representa a água que já passou por diversas etapas de manipulação como coleta, transporte, tratamento e monitoramento, trata-se do produto finalizado e pronto para o atendimento das demandas dos consumidores finais, ou seja, o estágio de maior valor agregado ao recurso água.

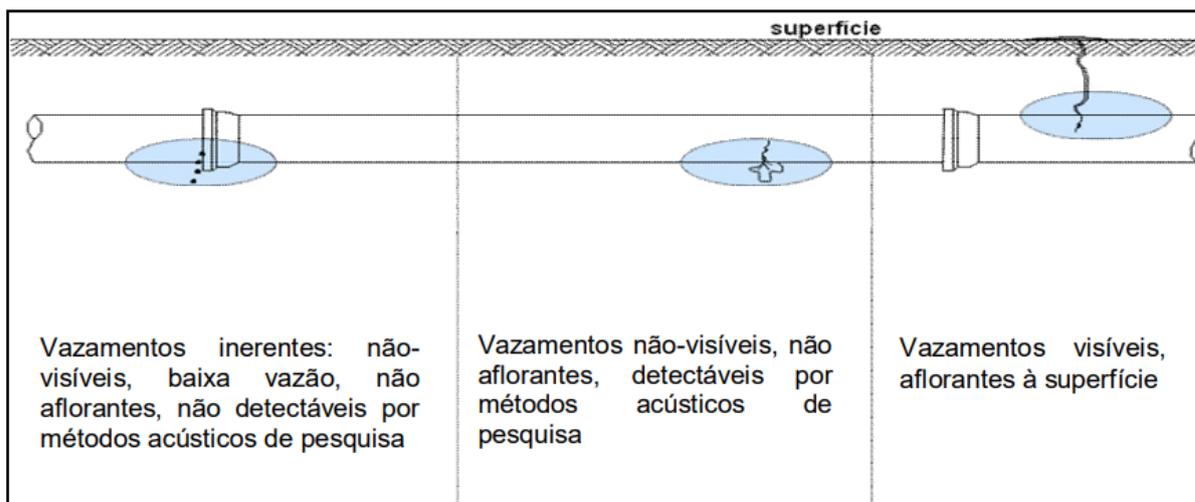
A FUNASA exemplifica que as perdas reais podem acontecer em qualquer etapa de um sistema de abastecimento de água:

- Na etapa de adução da água bruta, as principais fontes de perdas são os vazamentos nas tubulações e limpeza dos poços de sucção. A respeito do impacto das perdas nessa etapa, este variará conforme os estados das tubulações e eficiência operacional.
- Nas etapas de tratamento e reservação as perdas ocorrem em formas de vazamentos estruturais, em processos de limpeza e manutenção de modo geral, porém perdas nessa etapa são mais significativas pois o tratamento propriamente dito da água já se iniciou.
- Já para as etapas de adução de água tratada e distribuição, as perdas também ocorrem em forma de vazamentos de tubulações, manutenções nas redes e descargas. Sendo assim, a garantia da integridade das tubulações desta etapa é fundamental para que toda a água tratada e manipulada por todos os processos anteriores não seja desperdiçada.

Carvalho *et al* (2004) exemplifica que, tratando-se das perdas reais oriundas de vazamentos nas tubulações, existem 3 diferentes classificações de vazamentos: 2 não-visíveis e 1 visível. A figura 3 esquematiza os tipos de vazamentos.

- O primeiro tipo refere-se aos vazamentos não-visíveis, não aflorantes, de baixa pressão e que não são capazes de ser detectados por equipamentos acústicos especializados em identificar e localizar vazamentos em tubulações. Em resumo, são os vazamentos de menor impacto visual com relação ao volume de água perdido na rede mas que por serem tão discretos, a sua identificação e solução tornam-se mais desafiadores e geralmente representam cerca de 25% dos volumes perdidos por vazamentos. Geralmente são ocasionados por altas pressões e qualidade dos materiais e mão de obra;
- Os vazamentos não visíveis, não aflorantes mas detectáveis por instrumentos de metodologias acústicas de localização e identificação, possuem vazões pontuais de perda maiores e representam aproximadamente 30% dos volumes perdidos;
- Os vazamentos visíveis são aqueles que afloram até a superfície e podem ser detectados facilmente pela empresa concessionária e pela população e portanto até mesmo a população consegue contribuir com o monitoramento deste tipo de vazamento a partir de comunicados feitos à concessionária.

Figura 3: Tipos de vazamentos.



Fonte: Vicentini, 2012.

As perdas de água no tratamento, até mesmo nos sistemas bem operados, apresentam 3% de vazamentos visíveis e 97% não visíveis, sendo que a ocorrência de vazamentos em tubulações de diâmetros maiores do que 150mm são facilmente visíveis, entretanto é em pequenos vazamentos que a problematização se torna maior, principalmente quando as tubulações de diâmetros menores estão localizadas próximas a córregos, riachos ou galerias de águas pluviais, locais onde o solo se encontra úmido ou saturado naturalmente. Desta forma é formado um cenário crítico de dificuldade de detecção que pode se estender por meses ou anos até o conserto (Trojan e Kovaleski, 2005).

5.2.3. Perdas aparentes (não-físicas ou comerciais)

As perdas aparentes não são representadas pelo volume de água perdido ao longo do sistema e com isso foi desperdiçado. O conceito de perdas aparentes ou comercial possui um viés empresarial sob a lógica de que se um produto que já possui todos seus custos intrínsecos de produção e transporte agregados é entregue ao consumidor, mas que por algum motivo ou ineficiência de operação não gera nenhuma receita para a empresa, existe prejuízo nessa relação, em outras palavras, perda.

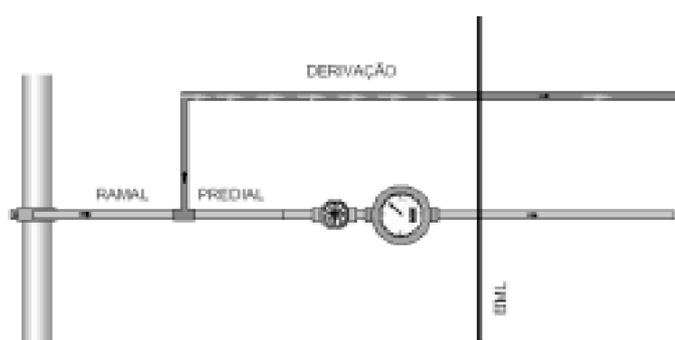
As perdas aparentes ou comerciais são aquelas que estão relacionadas à problemas de gestão de redes e comerciais, disparidades nas macro e micro medições de vazão de consumo, sobretudo ocorrência de fraudes (Kusterko, 2023). Este tipo de perda é calculado pela soma do “o volume de água consumida não-

autorizada” e o “volume de água efetivamente consumido pelos usuários”, seguido da diferença desse valor calculado e o “volume monetizado pela empresa concessionária”, gerando uma perda de faturamento ao prestador de serviço e conseqüentemente diminuição da qualidade de operação da rede em razão de prejuízos (Lima, 2017).

Dentro das fraudes que ocasionam as perdas aparentes, o roubo de água é uma prática bastante comum em ligações prediais e industriais e este tipo de prática é realizada de modo a retirar água tratada da rede de forma que a mesma não consiga ser contabilizada totalmente ou parcialmente pelos micromedidores de um logradouro (Carvalho *et al.*, 2023). As formas de roubo de água são feitas de 3 principais maneiras: Derivação de ramal, “By-Pass” e Ligação Clandestina.

Derivação de ramal: Adulteração na ligação entre a rede pública de abastecimento e os pontos de consumo. Conforme o demonstrado pela figura 4, é instalado uma tubulação complementar que deriva do ramal predial de modo que é posicionado antes da passagem do hidrômetro, desta forma parte da água que passaria totalmente pela tubulação única e seria devidamente aferida pelo hidrômetro, agora, em razão da pressão existente na rede, também escoo pela “tubulação complementar”, fazendo com que menos água seja contabilizada pelo hidrômetro.

Figura 4: Esquema de derivação de ramal.

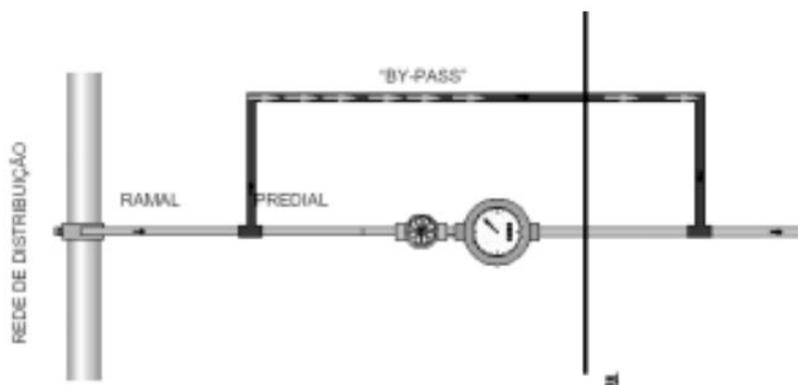


Fonte: Carvalho *et al.*, 2023.

“By-pass”: A figura 5 demonstra que é semelhante à derivação de ramal. Neste caso a fraude é feita de maneira menos discreta, pois ocorre o ligamento de uma conexão entre trecho prévio ao hidrômetro e ao ramal predial de modo que toda

água que passaria pela tubulação em que o hidrômetro está instalado, agora flui pela conexão de “by-pass”, zerando totalmente os valores medidos pelo hidrômetro.

Figura 5: Esquema de ligação "by-pass".



Fonte: Carvalho *et al.*, 2023.

Ligação clandestina: É feita uma ligação direta com a rede de distribuição sem qualquer tipo de permissão, cadastro ou anuência da empresa concessionária. Neste tipo de fraude não há a ocorrência de hidrômetro em nenhum trecho do ramal predial clandestino, e portanto não é possível ocorrer nenhum tipo de cobrança sobre o uso da água.

Ligações clandestinas são práticas legalmente proibidas e constituem dano ao patrimônio público e são consideradas como crime de furto de acordo com o artigo 155 parágrafo 3º do Código Penal. A concessionária “Águas de Teresina” ainda afirma que as fraudes ainda comprometem a estrutura física da rede de distribuição, aumentando os vazamentos e conseqüentemente as perdas reais de um sistema, além do conjunto dessas práticas ilegais fazerem com que a rede de distribuição opere com pressão diferente da planejada em projeto e, por fim, aumentam os riscos de contaminações do sistema devido os materiais inadequados utilizados nessas práticas.

Diversas empresas concessionárias como a EMBASA (Empresa Baiana de Águas e Saneamento S .A.) combatem frequentemente as fraudes de consumo de água a partir do monitoramento integral das redes e aplicação de multas aos consumidores irregulares. Segundo a EMBASA, só nos primeiros 7 meses do ano de 2023, a empresa já aplicou mais de R\$1,5 milhão de reais em multas e débitos decorrentes de fraudes localizados na rede de distribuição de Feira de Santana-BA.

As perdas de água são estimadas e calculadas a partir da diferença dos valores de entrada e saída apontada pelos hidrômetros e portanto este elemento deve estar sempre calibrado e com funcionalidade plena, entretanto erros de leitura e imprecisão causada por falta de calibração e manutenção do mesmo e até mesmo a sua natureza quanto à precisão são fatores que contribuem para a existência de perdas aparentes, sendo que os erros de medição podem ocorrer tanto no momento de macromedição, em que a água sai da estação de tratamento, quanto na micromedição, composta pelos pontos de consumo e seus hidrômetros (Bezerra e Cheung, 2013).

5.3. Impactos e importância das perdas de água em sistemas de abastecimento

A partir do entendimento do conceito das perdas reais e aparentes/comerciais, faz-se necessário refletir sobre suas consequências para as concessionárias, consumidores, meio ambiente e a própria sociedade como um todo, pois a água é o recurso comum para a manutenção de toda a vida no planeta e não se pode tratar perdas elevadas desse recurso limitado com normalidade tendo em vista toda sua importância.

Se tratando de perdas reais ou físicas, Tsutiya (2006) aponta 2 pontos extremamente relevantes. O primeiro refere-se ao fato de que a não perda do produto final água para ambiente, garante que a maior quantia possível de água captada dos mananciais chegue aos consumidores finais e isso é traduzido em menores necessidades de ampliar a rede de captação e explorar ainda mais as fontes de água. Ao se perder a água para o meio ainda há o argumento de que as perdas reais reabastecem os lençóis freáticos, o que de fato condiz com a realidade, porém devido às grandes dimensões que os sistemas de abastecimento e as distâncias entre o ponto de captação nos mananciais e os consumidores finais podem atingir, muita vezes essa água não volta para o manancial do qual foi retirado, como é o caso que ocorre em transposição de bacias.

Negligenciar as perdas reais em razão desse fato isolado não é uma forma adequada de gerenciamento de recursos hídricos na medida que os sistemas de abastecimento de água e sua constante expansão para o atendimento das demandas crescentes implicam na execução de obras custosas e em grandes

impactos ambientais com a construção de barragens, represas e a movimentação de água para fora de suas bacias e mananciais.

O Sistema Cantareira, por exemplo, é o maior produtor de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), utilizando 33 m³/s de água para abastecer aproximadamente 46% da população da RMSP, o sistema é composto por cinco reservatórios: Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro. Para que o sistema seja capaz de ofertar esta quantidade de água à RMSP, o sistema faz a transposição de 2 bacias hidrográficas, importando água da Bacia do Piracicaba para a Bacia do Alto Tietê, sendo que dos 33 m³/s produzidos, apenas 2m³/s provém da Bacia do Alto Tietê, e dos 31 m³/s restantes que partem da Bacia do Piracicaba, 22 m³/s vêm dos reservatórios Jaguari-Jacareí, cujas bacias então inseridas majoritariamente em território do estado de Minas Gerais, ou seja, cerca de 45% da área produtora de água do sistema está em território mineiro (Brasil, 2023). A figura 6 a seguir esquematiza a transporte de água no sistema Cantareira.

Figura 6: Esquematização do sistema Cantareira.



Fonte: Brasil, [s.d.].

É importante lembrar que os vazamentos representam brechas físicas em tubulações e, por este motivo, em situações em que tubulações subterrâneas estão em solo saturado e a pressão exterior sobre a tubulação é maior do que a interior, ocorre a entrada de fluidos não planejados à rede e possivelmente contaminantes.

O segundo ponto trazido aborda a saúde pública, tendo em vista que a água é um recurso ingerido pelo seres vivos para a manutenção de suas necessidades biológicas e garantir que os sistemas de abastecimento atendam à demanda com um produto seguro e adequado para o consumo é imprescindível para atender ao propósito básico desses sistemas. Com a existência de vazamentos na rede de distribuição, a despressurização de água no sistema decorrente de manutenções ou intermitências no abastecimento necessárias, pode ocorrer a contaminação da água que é abastecida através de entrada de agentes nocivos nas tubulações. A contaminação de rede por despressurização do sistema é um fenômeno que já foi constatado em diversos países, inclusive os denominados desenvolvidos, e foi responsável por mortes e doenças decorrentes de contaminação das redes de distribuição (Martins, 2001).

Raman *et al* (1978) apud Martins (2001), em um estudo realizado na cidade de Aurangabad localizada no estado de Maharashtra, Índia, que possuía, à época, cerca de 1,5 milhão de habitantes, estavam sofrendo diversos surtos de doenças entéricas. Após a realização de um estudo que tinha como objetivo avaliar a qualidade da água distribuída com os surtos, verificou-se que o problema de contaminação não provinha da qualidade de tratamento da água, mas era decorrente de vazamentos que a rede de distribuição possuía, sendo que estes representavam de 20% a 30% da água produzida.

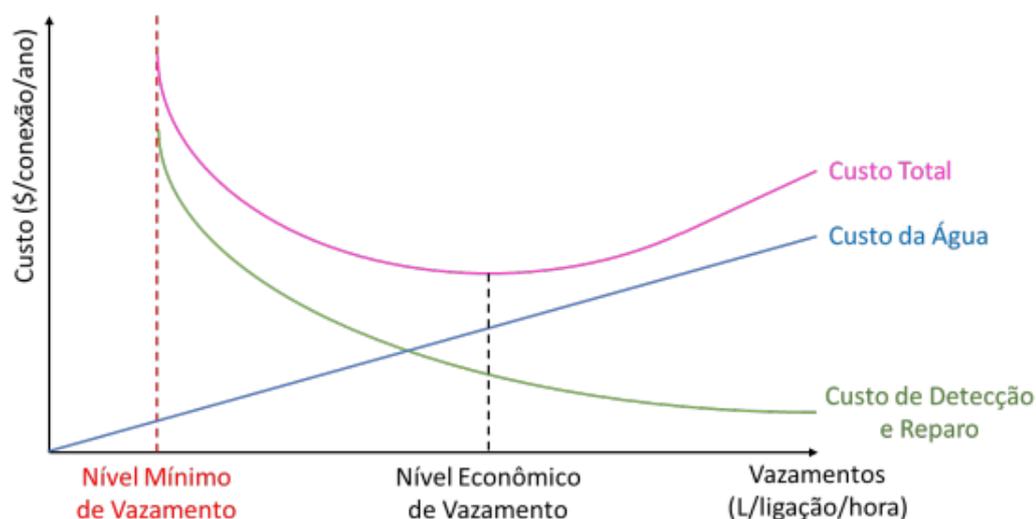
As perdas totais significam prejuízo para as empresas concessionárias. Sejam elas reais ou aparentes, o fato é que a água tratada carrega consigo mesmo os custos de produção e transporte oriundos das despesas com energia elétrica desde a alimentação das bombas até a utilização dos equipamentos e sistemas de monitoramento, produtos químicos, mão de obra, obras e diversos outros. Portanto esses custos, juntamente aos prejuízos às concessionárias, compõem um fator extremamente relevante para a precificação das tarifas de água pagas pelos consumidores como também nas tomadas de decisões dentro dessas empresas de abastecimento no que diz respeito aos investimentos na rede e custos de operação e manutenção (Oliveira, Scazufca, Sayon, 2022).

Oliveira, Scazufca e Sayon (2022), ressaltam sobre a inviabilidade de se extinguir quaisquer tipos de perdas de água no sistema, uma vez que os autores não se referem-se às imprecisões dos macro e micromedidores, mas sobre a ocorrência de vazamentos ser inevitável. Desta maneira trazem 2 conceitos um o gráfico

representado na figura 7, exemplificando a relação dos custos com água perdida e os com detecção e reparo.

- Limite econômico: Volume a partir do qual os custos para reduzir e detectar os vazamentos de água se tornam maiores que o valor referente a água efetivamente perdida (varia conforme localização, custos de produção, etc.)
- Limite técnico (perdas inevitáveis): Volume mínimo de água que é perdida nos sistemas decorrente da eficiência das tecnologias atuais disponíveis dos materiais, equipamentos, ferramentas e logística.

Figura 7: Determinação do nível eficiente de perdas de água.



Fonte: United States Environmental Protection Agency (USEPA) apud Oliveira, Scazufca e Sayon, 2022.

Os referidos autores explicam que os gastos relativos às perdas por vazamentos de água são compostos por 2 principais tipos de custos: a) o custo da água, que representa o prejuízo econômico oriundo dos vazamentos de água das redes de distribuição, e b) os custos de detecção e reparo dos vazamentos representado por todo gasto necessário para monitorar, identificar e reparar os vazamentos, por fim o custo total refere-se à soma dos custos da água e de detecção e reparo.

O ponto “nível mínimo de vazamento” refere-se ao limite técnico definido anteriormente e para que os vazamentos se mantenham nesse nível, há um grande custeio com a detecção e manutenção da rede. Com um alto valor de vazamentos, é representado uma situação em que as empresas concessionárias não realizam

fiscalizações de perdas e/ou não investem recursos no combate aos vazamentos, desta forma o volume de água que é perdido se torna maior e mesmo não havendo grandes gastos com o combate às perdas, o prejuízo com o custo da água perdida se torna grande o suficiente para que exista um cenário em que a empresa tenha menos custos totais mesmo investindo mais em detecção e reparo da rede. Desta forma tem-se o “nível econômico de vazamento” que representa o menor custo total possível e é o ponto de “equilíbrio” entre os custos da água e os de detecção e reparo.

Os autores apontam que levando em consideração as limitações técnicas existentes, o valor mínimo de perdas reais nas redes de distribuição apresenta-se em torno de 25% e que esse tipo de perda representa aproximadamente 60% das perdas totais de um sistema.

A tese de Souza (2016) aborda uma série de impactos ambientais que as perdas reais causam para o ambiente onde ocorrem, é discorrido sobre:

- Os riscos à saúde pública que as perdas oferecem à população correlacionando a existência de vazamentos com a vulnerabilidade da rede de distribuição à contaminação por coliformes fecais e demais substâncias tóxicas, ainda ressaltando sobre o potencial que os vazamentos oferecem para o aumento de transmissão do vírus da dengue através da formação de charcos da água, locais ideais para o desenvolvimento e reprodução do vetor do vírus, o mosquito *Aedes Aegypt*. O autor afirma que no ano de 2016, a Secretaria de Saúde de Olinda e a Prefeitura Municipal decretaram estado de emergência no combate ao mosquito devido a um aumento de 2987 casos de doenças transmitidas pelo mosquito em relação ao ano anterior.
- A superexploração dos lençóis de Olinda resultou em um rebaixamento do nível deste de quase 70m em relação ao nível piezométrico inicial, desta forma diversos poços tiveram que ser desativados e a vazão de captação teve que ser reduzida. O rebaixamento dos níveis dos lençóis freáticos oferece riscos à estabilidade de fundações inadequadas, criando um cenário de risco à desmonoramentos e além disso pode alterar estruturas históricas construídas no município de Olinda.
- A população de Olinda, no ano de 2016, passava por problemas relacionados à disponibilidade de água ao abastecimento público e

portanto o combate às perdas reais detém grande importância na garantia de atendimento à demanda da população.

- Desequilíbrio ecológico gerado por liberação de sulfato de alumínio e cloro no meio ambiente, pois ambas substâncias, quando liberadas no meio em quantidades elevadas, debilitam a manutenção da flora e partir disso diversos outros problemas podem se originar.

5.4. Vazamentos na rede distribuição e riscos geológicos

Com o crescimento populacional e ampliação das paisagens urbanas, ocorre a ocupação de áreas sem planejamento prévio sem que as características físicas do local sejam respeitadas, desta forma a dinâmica do solo desses locais é alterada tornando-os mais suscetíveis à acidentes geológicos (Rauen, 2014).

A definição de risco geológico foi feita por Cerri e Amaral (1998) apud Rauen (2014) que conceituaram de forma clara o fenômeno como: “a análise do risco envolve a possibilidade de que o processo geológico (induzido ou não) seja acompanhado de dano e perdas (acidente)”.

Para se entender como os vazamentos podem afetar o risco geológico de um local é necessário entender o conceito de erosão mesmo que de forma simplificada.

Erosão é fenômeno com origem nas ações concomitantes de fatores que causam o processo de desagregação e transporte de materiais e partículas do solo ou de rocha sobre a superfície terrestre sendo os principais agentes erosivos: ações da água, do vento, do gelo e de organismos (Oliveira, 2010).

Em situações em que a erosão é desenvolvida pela ação do fluxo de águas subsuperficiais, incluindo a água proveniente de aquíferos, ocorre o desenvolvimento de “*piping*” que é um fenômeno que caracterizado pela remoção de partículas do interior do solo, formando assim canais que aumentam conforme o sentido contrário ao do fluxo d’água que podem dar origem à colapsos do solo (Tominaga; Santoro; Amaral, 2015). O fenômeno de “*piping*” é extremamente relevante ao tópico de riscos geológicos e vazamentos, pois a existência destes nas redes de abastecimento de água constituem também uma forma de fluxo de água subsuperficial que pode se comportar de forma semelhante ao processo natural (Rauen, 2014).

Os vazamentos na rede de distribuição também possuem bastante relevância com relação aos denominados “solos colapsíveis” que recebem essa nomenclatura

pois quando submetidos à algum tipo de carregamento e umedecidos por infiltração de água, vazamentos em redes de distribuição e/ou de esgoto ou aumento no nível de lençóis freáticos, sofrem uma espécie de “colapso de estrutura”, gerando recalques repentinos que podem ocasionar trincas e fissuras em alvenarias de construções e até mesmo o comprometimento estrutural, levando à interdição destas (Tominaga; Santoro e Amaral, 2015). No estado de São Paulo, os solos de argila porosa vermelha presentes na cidade de São Paulo e os sedimentos cenozoicos espalhados em vasta área do interior paulista são tidos como solo comprovadamente colapsíveis (Cintra, 1998 apud Tominaga; Santoro; Amaral, 2015). As figuras 8,9 e 10 demonstram situações de rupturas físicas ocasionados por perdas reais.

Figura 8: Ocorrência de trincas e fissuras em edificações em razão de colapso de solo.



Fonte: Rodrigues, 2007 apud Tominaga; Santoro e Amaral, 2015.

Rauen (2014) dá exemplos de acidentes que ocorreram em razão de vazamentos em redes de distribuição, ilustrando a problemática sob nível mundial.

- Caso Harrisburg, Pensilvania – Estados Unidos

Em dezembro de 2012, na cidade de Harrisburg, capital de Pensilvania, o solo de uma via colapsou, formando uma cratera de grandes dimensões conforme ilustra a figura 9.

Figura 9: Cratera formada em Harrisburg decorrente de vazamento em rede de abastecimento.



Fonte: Rauen, (2014).

- Caso Rua Oscar Freire, São Paulo – SP, Brasil.

O caso foi semelhante ao ocorrido em Harrisburg, uma cratera se abriu no meio de avenida Oscar Freire, umas das avenidas mais conhecidas da cidade de São Paulo. As dimensões aproximadas da cratera eram de 1,5m de diâmetro e 2 m de profundidade e segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), o vazamento de água provocado pela rachadura de um anel de junta de uma rede antiga contribuiu para a ocorrência do fenômeno.

Figura 10: Cratera encontrada na Rua Oscar Freire, São Paulo, decorrente de vazamento em rede de abastecimento.



Fonte: G1 Globo, 2010.

- Caso Rua 110, Guarulhos – SP, Parque Continental, Brasil.

O acidente comprometeu dois imóveis no Parque Continental e uma parte da via. Andrade (1999) apud Rauen (2014), constou que o Parque Continental é uma área especialmente problemática com relação a processos erosivos.

Figura 11: Local de rompimento da rede de abastecimento de água e comprometimento de imóvel próximo.



Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guarulhos - SAAE, 2014.

- Caso Rua Margarida, Guarulhos – SP, Recreio de São Jorge, Brasil.

O bairro do Recreio de São Jorge já é reconhecido como um bairro problemático em relação ao risco de escorregamentos, uma forma de acidente de movimentos de terra (Sato *et al.*, 2011) que aliado ao fato de que idade da tubulação ultrapassava os 20 anos, provocou um acidente que comprometeu dois imóveis em 2013.

Figura 12: Fissuras e rachaduras causadas por movimentação de solo em imóvel no Recreio de São Jorge.



Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guarulhos - SAAE, 2014.

5.5. Causas das perdas reais de água

Tratando-se das perdas reais de água, elas podem ocorrer em diversas etapas de um sistema de abastecimento e como o sistema completo compreende um conjunto de equipamentos e setores distintos, portanto as causas das perdas de água variam conforme este fator.

A tabela a seguir compila as principais causas das perdas reais, separando-as entre causas internas, quando são relacionadas à estrutura, fenômenos hidráulicos, operação e gerenciamento da rede, e causas externas.

Tabela 1: Causas dos vazamentos.

	Causas Internas	Causas Externas
Bombas	<ul style="list-style-type: none"> - Desgastes das gaxetas - Ajustes inadequados nos registros, válvulas e juntas - Pressões elevadas 	
Reservatórios	<ul style="list-style-type: none"> - Má qualidade dos materiais - Má execução da obra - Envelhecimento dos materiais 	
	<p>Material</p> <ul style="list-style-type: none"> - Má qualidade dos materiais - Corrossão - Envelhecimento <p>Execução</p> <ul style="list-style-type: none"> - Projeto inadequado <p>Tubulações</p> <ul style="list-style-type: none"> - Encaixes inadequados - Corrossão <p>Operação</p> <ul style="list-style-type: none"> - Golpe de aríete - Pressão Alta - Qualidade da água (corrossão interna) 	<p>Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Carga de tráfego - Agressividade do solo - Poluição do solo <p>Desastres Naturais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Movimentos de terra ocasionados por obras - Deslizamentos - Movimentos sísmicos

Fonte: Sapporo (1994, apud Tsutiya 2006).

Tsutiya (2006) aponta que no ano de 1993, 90% dos vazamentos consertados na Região Metropolitana de São Paulo foram feitos nos ramais prediais e cavaletes, enquanto que os 10% restantes em redes primárias e secundárias. Entretanto deve-se ter cautela aos tirar conclusões sobre esses dados, pois embora o número de pontos de vazamentos transpassem a ideia de que nas políticas de combate às perdas reais, os maiores esforços devam ser destinados aos pontos de conexão predial, isso não necessariamente reflete na quantidade de volume de água perdida

na rede, à medida que a vazão dos vazamentos nas redes primárias e secundárias são significativamente maiores os dos ramais e cavaletes, fazendo com que a proporção de volume perdido não seja igual a do número de casos.

Tratando se de elevadas pressões, o golpe de aríete é o fenômeno representado pelo choque violento produzido sobre as paredes das tubulações de um conduto forçado quando o movimento do líquido é modificado, podendo ser descrito também como a sub e sobrepressão gerada em uma tubulação que é ocasionada pelo fechamento brusco de um registro/válvula que interrompe o escoamento (Netto *et al.*, 2005). A equação 1 demonstra o equilíbrio energético que acontece no fenômeno:

$$m.v = F.t \quad (1)$$

Onde:

m = massa da porção de água

v = velocidade médio do escoamento

F = força de inércia

t = tempo de redução de velocidade

A equação demonstra que à medida que o tempo de redução de velocidade (tempo de fechamento de registros/válvulas) diminui, a força de inércia F deve ser inversamente proporcionalmente maior para que a equação seja satisfeita, em outras palavras, quanto mais rápido se reduz a velocidade do escoamento, mais acentuados serão os efeitos de pressão do golpe de aríete.

O golpe de aríete é um fenômeno que deve ser levado em consideração no dimensionamento de um projeto e pois suas implicações em relação à pressão do sistema devem ser previstas. A ocorrência de erros em projeto em relação à previsão do golpe de aríete, ou até mesmo a sua não previsão, é um fator que impacta a vida útil e integridade das tubulações e pode ser um fator decisivo na qualidade de uma infraestrutura uma rede de abastecimento.

Existem diversos modelos matemáticos para a previsão deste fenômeno que devem ser escolhidos e aplicados conforme as características do sistema e de sua operação, por exemplo, é inadequado a adoção de modelos de fechamento lento como o modelo de Michaud e Vensano que consideram manobras com variação linear de velocidade e maior tempo de fechamento quando na verdade um modelo

de fechamento rápido deveria ter sido aplicado como por exemplo a fórmula de Allievi (Tsutiya, 2006).

Netto *et al.* (2005) ainda cita a ocorrência do fenômeno nas linhas de recalque após a interrupção de fornecimento de energia elétrica às bombas de recalque. Com a parada deste equipamento, a velocidade do escoamento é reduzida e o sentido do escoamento da água pode até inverter em razão da gravidade. Com o objetivo de evitar o retorno do água através das bombas e amenizar os efeitos do golpe de aríate, as linhas de recalque possuem válvulas de retenção que devem estar em plena funcionalidade e ser fechadas no momento correto após a paralisação das bombas. Válvula de retenção é um órgão acessório à tubulação cuja função é dar passagem a água em um só sentido e impedem que o escoamento seja feito no sentido contrário ao do projetado, elas devem ser instaladas em adutoras de recalque para evitar que a água retorne às bombas quando estas não estiverem operando (Hardenbergh, 1964 apud Nascimento 2009).

Segundo Bulhões (2017), o golpe de aríate pode ser responsável por danos diretos às estruturas de transporte de água de um sistema de abastecimento, podendo romper as tubulações, gerar novos vazamentos, desencaixar conexões, fagidar e deformar tubulações.

A pressão de operação de uma rede de distribuição é um fator que está diretamente relacionado aos vazamentos que ocorrem nela. Operar uma rede sob uma pressão muito elevada resulta em 2 principais problemas: a) a frequência com que o rompimento das tubulações e conexões ocorrem é aumentada e b) a quantidade de volume de água que é perdido com os vazamentos, também se torna maior, pois quanto maior a pressão de operação da rede, maior será a vazão dos vazamentos e, conseqüentemente, maior serão as perdas reais do sistema de abastecimento (Morais e Almeida, 2006).

A idade de operação das tubulações está relacionada à qualidade da infraestrutura das redes de abastecimento e é um fator de extrema importância para garantir que uma rede consiga ser operada de maneira eficiente, segura e sem a necessidade de grande frequência de manutenções e reparos. Rauen (2014) explica que após a instalação das tubulações, com o uso destas e o passar dos anos, as tubulações sentem os efeitos da ação dos fenômenos de natureza química entre seu material de construção e os minerais presentes na água ou presentes no solo. Netto *et al.* (2006) dá como exemplo o fato que nas tubulações de ferro fundido,

reentrâncias, conhecidas também como “tubérculos”, podem surgir em seu interior devido à ação de elementos corrosivos.

Rauen (2014) exemplifica uma situação bastante recorrente em tubulações mais antigas que transportam águas muito duras ou com teor elevado de impurezas, é o acúmulo progressivo de substâncias contidas na água resultando na formação de camadas aderentes e incrustações nos interiores das tubulações e conseqüentemente em alterações de diâmetro interno útil e perdas de carga das tubulações. Um exemplo bastante comum é a deposição progressiva de cálcio das águas calcáreas que é agravado com o tempo. Essas alterações podem acarretar em situações práticas não previstas em projeto e assim ameaçar a integridade do dimensionamento das tubulações.

O histórico de falhas de uma tubulação e a quantidade de ajustes que foram feitos para readequá-las também é um outro importante fator na previsão de futuras falhas (Walski e Pelliccia, 1982 apud Rauen 2014). Andreou, Marks e Clark (1987) apud Rauen (2014) constataram em um estudo que a cada quebra que ocorria em uma tubulação, esta ficava cada vez mais fragilizada e suscetível à novas quebras, este padrão foi observado até a terceira quebra, após esse número, a taxa de rompimentos se demonstrou constante e elevada, assim o autor denominou estas tubulações como em “estado de quebra rápida”.

5.6. Causas das perdas de aparentes

Conforme discorrido no tópico 5.2.3. (Perdas Aparentes), as perdas aparentes estão mais ligadas à diferença do que se espera que saia do sistema, com o valor aferido do que sai. As perdas aparentes não necessariamente significam que a água está sendo desperdiçada ou simplesmente perdida para o meio, portanto suas causas se restringem à aspectos relacionados aos medidores de vazão e da saída de água do sistema, que não seja através de vazamentos, não prevista ou não autorizada.

As principais causas são listadas a seguir:

- Inexistência de hidrometração nas ligações com os ramais prediais;
- Deficiência nas práticas e rotinas comerciais;
- Cadastros comerciais de consumidores desatualizados ou incorretos e falta de acompanhamento e controles sistematizados dos consumos medidos e faturados;

- Ligações clandestinas;
- Fraudes (*by-pass*, violações nas tubulações ou hidrômetros e roubo de água em hidrantes de incêndio ou qualquer outro ponto da rede de distribuição);
- Falta de quantificação do consumo autorizado não-faturado;
- Política tarifária;
- Imprecisão dos medidores.

Com relação ao item “imprecisão dos medidores”, uma série de fatores operacionais podem ocasionar ou agravar esta situação, Tsutiya (2006) compila uma série de problemas e práticas que potencializam essa imprecisão. No que se diz respeito aos macromedidores têm-se:

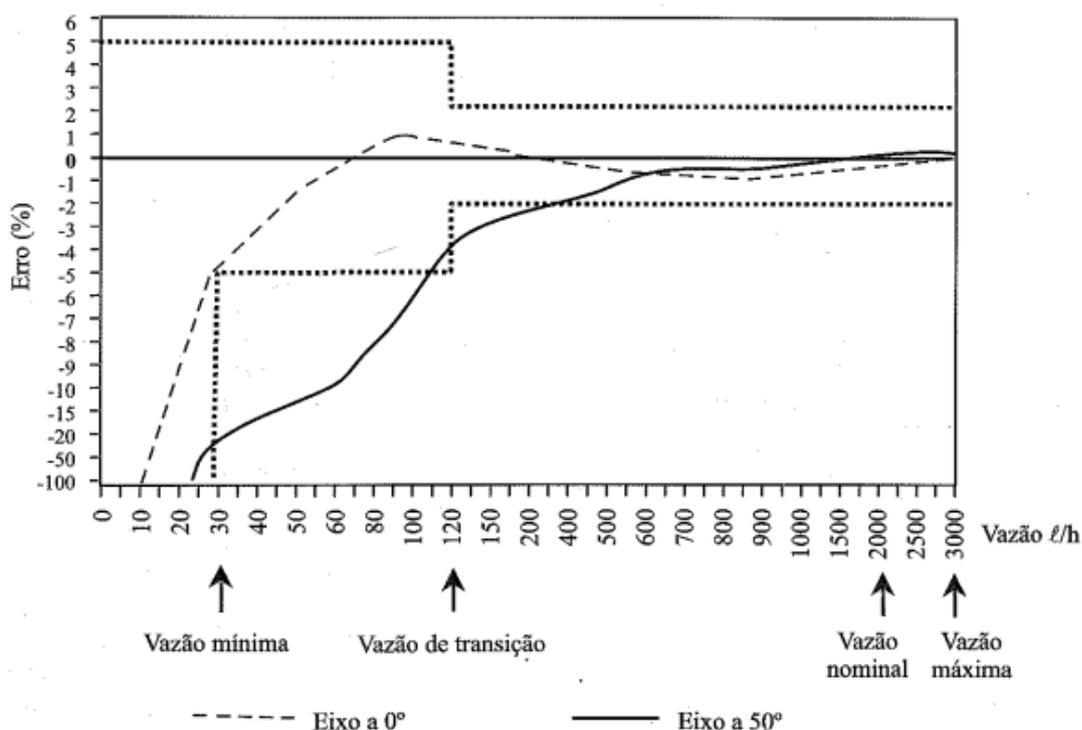
- Instalação inadequada dos hidrômetros, não respeitando às especificações das normas e os trechos especificados de montante e jusante;
- Descalibração do medidor;
- Dimensionamento inadequado, medidor operando em velocidades das quais o mesmo perde precisão;
- Grande amplitude entre as vazões máxima e mínima;
- Problemas com a instrumentação secundária de coleta e conversão de dados;
- Problemas na transmissão de dados quando se utiliza telemetria;
- Falta de compromisso com de manutenção e calibração periódicas.

Para os micromedidores:

- Idade do hidrômetro, ocorre desgaste nas engrenagens e dispositivos internos, acarretando em perda de precisão;
- Características da água que é distribuída, principalmente quando há presença de óxidos provindos da corrosão de tubulações;
- Inclinação lateral do hidrômetro;
- Perfil de consumo dos imóveis dificilmente apresenta vazões próximas à nominal do hidrômetro, na maioria dos casos esses se situam na faixa inferior à vazão “mínima”. O autor explica que os hidrômetros possuem uma curva de erro que varia conforme a vazão da água que passa pelo aparelho, nesta curva os erros podem ser tanto positivos quanto negativos, ou seja, podem tanto aumentar ou diminuir o volume de água

aferida à depender da magnitude da vazão. Conforme a figura 13, sob pequenas vazões, principalmente próximas à vazão mínima, o erro (negativo) é bastante significativo. O entedimento desse conceito se faz necessário para justificar a ocorrência do “efeito caixa d’água”, nas edificações que possuem caixa d’água, ocorre um amortecimento da vazão que passa pelo hidrômetro em razão desses reservatórios, resultando em uma menor vazão que passa pelo hidrômetro. Este fato é bastante decisivo na submedição dos hidrômetros, principalmente levando em consideração que a utilização de caixas d’água é uma prática enraizada na tradição de construção civil do país.

Figura 13: Curvas de erros – Hidrômetros novos: posição normal/posição inclinada - Adaptado de Medidores Lautaro.



Fonte: Tsutiya, 2006.

Gularte (2005) enfatiza sobre a importância da boa calibração dos macromedidores tendo em vista as grandes vazões as quais operam e por serem os responsáveis por aferir a quantidade de água que entra no sistema de abastecimento.

Os hidrômetros são os representantes da micromedição e em conjunto são responsáveis pelas maiores evasões de volumes não faturados das empresas de saneamento. Normalmente os hidrômetros utilizados nas residências, comércio e

pequenas indústrias são do tipo velocimétrico cuja medição da vazão utiliza como princípio a relação proporcional de volume de água que passa pelo aparelho e o número de revoluções de uma turbina dentro de seu mecanismo interior. Possuem precisão aproximada de $\pm 2\%$, normalmente necessitam de manutenção periódica de 3 a 5 anos e possuem vazões nominais de 1,5 m³/h ou 3,0 m³/h (Tsutiya, 2006).

Existem 3 classificações metrológicas de hidrômetros velocimétricos, classe A (menor precisão), classe B (precisão intermediária) e classe C (maior precisão), a precisão dessas diferentes classificações leva em consideração a sensibilidade da rotação da turbina à pequenas vazões, quanto mais preciso, mais sensível (Gularte, 2005). Os hidrômetros classe B são mais utilizados por oferecem um melhor equilíbrio entre a precisão e custo. Sem a influência de fatores externos ocorre queda de 1% de precisão a cada ano e sua vida útil encontra-se entre 5 e 10 anos dependendo das condições da água distribuída (SABESP/IPT, 1987).

5.7. Métodos de detecção de perdas reais

Existem e estão sendo desenvolvidos diversos métodos que buscam detectar as perdas reais, desde modelos matemáticos complexos até simulações assistidas por software especializado, como o EPANET. Neste tópico serão discutidos alguns dos métodos já existentes e consolidados no combate às perdas.

5.7.1. Balanço hídrico

O balanço hídrico é uma ferramenta que determina as perdas de água de um sistema e o seu objetivo principal é demonstrar e identificar de forma mais clara, os pontos e etapas que estão sendo mais impactantes nas perdas de um determinado sistema.

Levando em consideração as definições de perdas reais e aparentes suas causas, dimensões e dificuldade de se identificar, monitorar e quantificar todos os pontos que contribuem para as perdas totais de um sistema de abastecimento, há uma grande dificuldade em se extrair e distinguir os valores de perdas reais e aparentes dentro das perdas totais de um sistema. Porém realizar tal diagnóstico é extremamente importante para que a gestão das empresas concessionárias seja auxiliada na tomada de decisões e na impossibilidade de se quantificar essas perdas de forma direta é necessário que haja pelo menos estimativas e o balanço hídrico é uma das ferramentas utilizadas para encontrar a proporção de perdas reais e aparentes nos sistemas de abastecimento (Santos, 2018).

Para padronizar a estruturação do balanço, a IWA (*International Water Association*) propôs uma matriz que contém as variáveis mais relevantes para compor os fluxos e usos da água.

Figura 14: Matriz de balanço hídrico proposto pela IWA.

Água que entra no sistema (inclui água importada)	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (inclui água exportada)	Água faturada
			Consumo faturado não medido (estimado)	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido (uso próprio, caminhão pipa, entre outros)	Água não faturada
			Consumo não faturado não medido	
	Perdas de água	Perdas aparentes (comerciais)	Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)	
			Erros de medição (macro e micromedição)	
		Perdas reais (físicas)	Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios (de adução e/ou distribuição)	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes (de distribuição)	
	Vazamentos nos ramais até o ponto de medição do cliente			

Fonte: IWA(2006) apud Oliveira, Scazufca e Sayon (2022).

Tsutiya (2006) traz as definições sobre os componentes do balanço hídrico:

- Perdas de água: Diferença entre o volume de água que não entra sistema e o consumo autorizado.
- Consumo autorizado faturado: Volume de água que efetivamente gera receita para as companhias através das tarifas, representa o somatório das contas pagas pelos consumidores que compõem o volume de água aferidos pelos hidrômetros e os volumes estimados para os locais que não possuem hidrômetros.
- Consumo autorizado não-faturado: Volume de água utilizado que não gera receita e a concessionária possui ciência de seu uso. É composta pelos volumes medidos, uso administrativo da própria concessionária e abastecimento de caminhões pipas) e volumes não-medidos que devem ser estimados representando a água utilizada no combate à incêndios, rega de espaços públicos, lavagem de ruas e alguns usos pela própria concessionária que normalmente não são medidos como a lavagem das redes de água e esgotos e dos reservatórios.

- Perdas aparentes: Volume de água consumido que não foi contabilizado e não gera receita, estão relacionados aos erros e incertezas de medição, fraudes e uso não-autorizado.

- Perdas reais: Volume de água perdido do sistema de abastecimento através de vazamentos nas tubulações, vazamentos nos reservatórios e extravazamentos nos reservatórios.

- Águas faturadas: Volume de água do qual a concessionária tem ciência do uso, mediu e gerou receita a partir das contas emitidas aos consumidores.

- Água não-faturada: Volume de água oriundo da diferença entre a água que entra no sistema e o consumo autorizado faturado, este componente do balanço hídrico compreende as perdas reais e aparentes, como também o consumo autorizado não-faturado.

Segundo Alegre *et al.* (2006) apud Vicentini (2012), a elaboração do balanço hídrico deve ser realizada conforme:

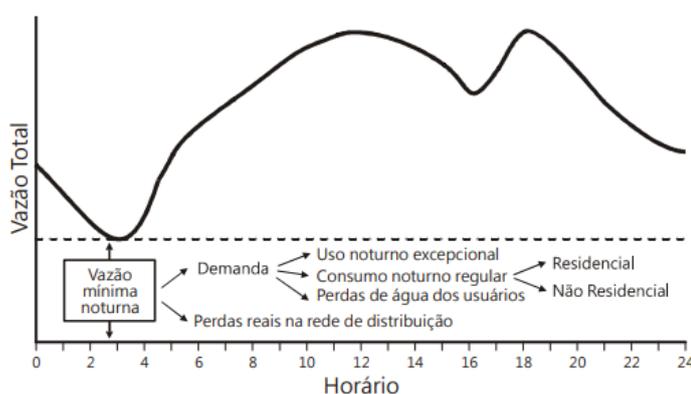
1. Determinar o volume de água que entra no sistema;
2. Determinar o consumo faturado medido e o consumo faturado não-medido;
3. Calcular o volume de água não faturada subtraindo a água faturada e a água que entra no sistema.
4. Definir o consumo não faturado medido e o consumo não-faturado não medido;
5. Somar os volumes de consumo autorizado faturado e o consumo autorizado não-faturado para compor o consumo autorizado;
6. Calcular as perdas de água como sendo a diferença entre a água que entra no sistema e o consumo autorizado;
7. Avaliar e estimar, usando as metodologias adequadas disponíveis, as parcelas de uso não-autorizado e dos erros de medição, somando-as para compor as perdas aparentes;
8. Subtrair as perdas aparentes em relação às perdas de água para determinar as perdas reais;
9. Avaliar e estimar as perdas reais usando os melhores métodos disponíveis, somá-las e comparar com o resultados de perdas reais obtido através do balanço.

5.7.2. Método das vazões mínimas noturnas

Também conhecido como *bottom-up*, é o método de avaliação de perdas reais mais utilizado em todo o mundo, porém este método só pode ser aplicado caso a rede de distribuição esteja setorizada e seus resultados de perdas reais podem ser comparados diretamente com o volume de perdas reais obtidos a partir do balanço hídrico da IWA (Bezerra e Cheung, 2013).

O método consiste na análise das vazões durante o horário em que o consumo na rede é mínimo. Em sistemas urbanos, este intervalo ocorre entre 02:00 e 04:00 da madrugada. O valor de vazão da rede neste intervalo definido é chamado de vazão mínima noturna. Desta forma, entendendo-se que durante este período maior parte da população está dormindo, os reservatórios domiciliares já estão cheios e portanto o consumo autorizado de água é mínimo, grande parte da vazão mínima noturna aferida no sistema corresponde à perdas de água por vazamentos, cerca de 70% a 90% (Bezerra e Cheung, 2013), assim é possível estimar as perdas reais para o referido intervalo de tempo. A figura 15 demonstra um exemplo de perfil de consumo de água em rede de distribuição.

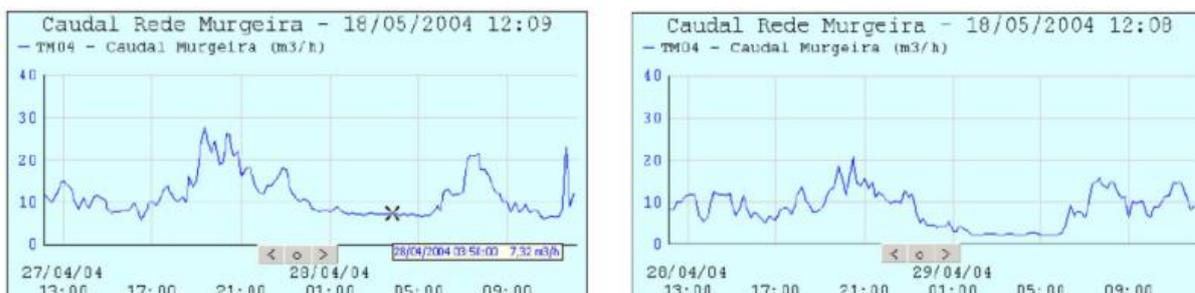
Figura 15: Gráfico com componentes da vazão mínima noturna.



Fonte: Bezerra e Cheung, 2013.

A figura abaixo demonstra uma situação real de detecção de vazamento a partir do acompanhamento diário de vazões mínimas noturnas. Percebe-se um aumento considerável de vazão durante a madrugada, se não há nenhuma situação excepcional de consumo, é um indicativo de novo vazamento na rede.

Figura 16: Detecção de vazamento por meio de um sistema de telemetria - Registros pré e pós a reparação de um vazamento.



Fonte: Alegre *et al.* 2005 apud Bezerra e Cheung, 2013.

Porém, ao determinar o volume de vazamento em um dado intervalo de tempo, não se deve multiplicar por 24 o volume de água perdido durante 1 hora e chamar isso de perda diária. O resultado obtido através desta multiplicação simples supervaloriza os volumes de perda, pois os vazamentos são diretamente afetados pela pressão do sistema e no período em que ocorre a vazão mínima noturna a pressão do sistema apresenta-se em seu pico. A pressão máxima do sistema é atingida neste intervalo pois é o horário em que ocorre a menor saída de água do sistema devido ao consumo reduzido dos consumidores, portanto não existe um alívio de pressão gerado pela saída de água nos pontos de consumo. Deste modo é necessário aplicar o denominado “Fator Noite-Dia”, que quando multiplicado pela Vazão Mínima Noturna resulta na média de volume diário de vazamentos (Bezerra e Cheung, 2013). Para realizar essa estimativa é necessário aplicar uma série de equações dispostas a seguir:

$$\text{Perdas reais} = F_{nd} \times Q_{min} \quad (2)$$

F_{nd} = Fator Noite-Dia (horas/dia)

Q_{min} = Vazão mínima noturna (L/hora)

F_{nd} é obtido através de medições de pressões ao longo de 24 horas em um ponto representativo do setor

$$F_{nd} = \sum \left(\frac{P_i}{P_{3:00-4:00}} \right)^{N_1} \quad (3)$$

P_i = Pressão média ao longo de 24 horas (medida de hora em hora)

$P_{3:00-4:00}$ = Pressão medida na entrada do setor no período das 03:00 – 04:00

N_1 = Fator de relação entre pressão e vazão de vazamentos

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N_1} \quad (4)$$

Q_0 = Vazão em momento inicial

Q_1 = Vazão em momento final

P_0 = Pressão em momento inicial

P_1 = Pressão em momento final

O fator N1 será melhor discutido no tópico 5.9. (Ações para mitigação de perdas reais); por enquanto, deve-se ter ciência que no Brasil, o valor médio de N1 é 1,40 (Lambert *et al.* 1999, apud Bezerra e Cheun, 2013). Ghidetti (2013) ao aplicar a metodologia de vazão mínima noturna para determinação de perdas reais de um setor de abastecimento do município de Itapetininga-SP, obteve um valor médio de $N1=1,15$.

Bezerra e Cheun (2013) afirmam que para método de vazões noturnas seja aplicado de maneira correta e coerente deve-se seguir um protocolo com as seguintes recomendações:

- Representatividade da área: A área escolhida deve ser representativa de todo o sistema.
- Estanqueidade do sistema: É necessário garantir que o sistema seja “fechado”, de forma que não exporte nem importe água para ou de outro setor.
- Período de monitoramento: O teste deve garantir que seja efetuado dentro do período de vazão mínima noturna (02:00 à 04:00).
- Perfil dos consumidores: Faz-se necessário conhecer o perfil de consumo noturno específico, como também os grandes consumidores, indústrias, hospitais, etc. Picos de utilização excepcionais devem ser monitorados e validados para que o método possua validade.
- Monitoramento de pressão: O ponto médio de pressão da rede deve ser determinado e para isso não se deve levar em consideração a cota média, mas sim o ponto com a maior concentração de ramais pois a probabilidade existência de vazamentos nessas ligações é maior e portanto definir o ponto médio a partir desta referência garante um valor de pressão nos pontos de vazamento mais condizentes com a realidade.

5.8. Equipamentos de detecção de vazamentos

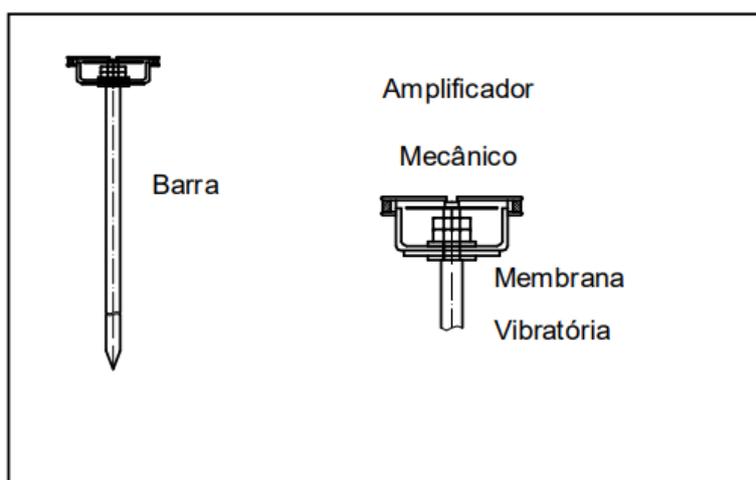
O controle ativo de vazamentos é uma das ações feitas em combate às perdas reais e, para que essa medida possa ser tomada pelas companhias de

abastecimento de água, existem diversos aparelhos auxiliares que prestam apoio aos colaboradores das concessionárias na detecção de vazamentos feita de forma mais “manual”. A detecção de vazamentos não-visíveis é realizada utilizando-se métodos acústicos de detecção que depende de geração de ruído (som ou vibração) gerado pelo vazamento nas tubulações (Dalmo, Viana e Mauad, 2007).

Haste de escuta

É um equipamento composto por um amplificador mecânico ou manual que é acoplado a uma barra metálica responsável por capturar os ruídos gerados por vazamentos em acessórios da rede de distribuição. A haste não é capaz de localizar os vazamentos, o aparelho tem como maior funcionalidade apenas indicar a existência deste nas proximidades. A figura abaixo demonstra o esquema das componentes de uma haste de escuta e um operador utilizando-a.

Figura 17: Esquema de componentes de haste de escuta



Fonte: SABESP, 2014.

Figura 18: Operador utilizando a haste de escuta.

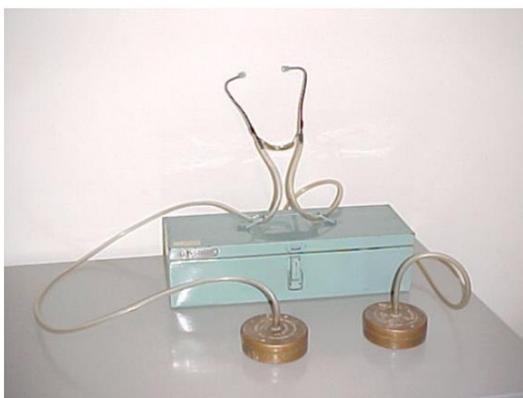


Fonte: SABESP, 2014

Geofone mecânico

O princípio básico de funcionamento de um geofone é a ampliação dos ruídos das mais variadas frequências gerados pelos vazamentos, tornando-os perceptíveis à audição humana e, desta forma, facilitando suas localizações. São compostos por um par de amplificadores mecânicos usados como sensores no contato com o solo que são compostos por uma base metálica, uma membrana vibratória, condutores plásticos e auriculares que são semelhantes aos estetoscópios. A principal vantagem em relação ao geofone eletrônico é seu custo. Em contrapartida suas desvantagens são o peso elevado, dificuldade de manuseio e operação, muitas das vezes exige operadores com experiência para obtenção de resultados confiáveis e o fato de não possuir ajuste de volume (Zaniboni, 2009). A figura 19 demonstra as características de um geofone mecânico.

Figura 19: Maleta e geofone mecânico.

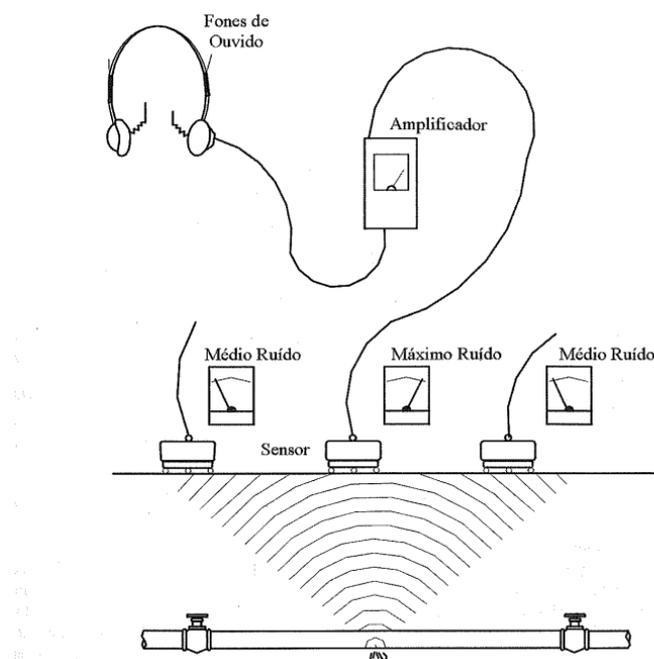


Fonte: Zaniboni, 2009.

Geofone eletrônico

O princípio de funcionamento é o mesmo do geofone mecânico porém com recursos mais sofisticados. Possui um sensor (transdutor) tipo microfone para o contato com o solo e cabo de ligação para conexão de amplificador e fones de ouvido. As principais vantagens são o seu menor peso, facilidade de manuseio e operação, maior conforto de uso, trabalha sob faixa maior de frequências, maior precisão e filtro de frequências de operação. Já suas desvantagens são o maior custo de aquisição e manutenção e o fato de exigirem operadores com um grau maior de escolaridade (Zaniboni, 2009).

Figura 20: Esquema de funcionamento básico de geofone eletrônico.



Fonte: Water Bureau of the Sapporo Municipal Government (1994), apud Tsutiya (2006).

Figura 21: Geofone eletrônico.



Fonte: Zaniboni, 2009.

Correlacionador de ruídos de vazamentos

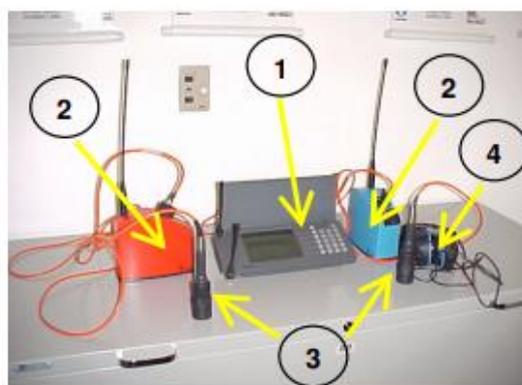
Zaniboni (2009) explica que este equipamento é mais sofisticado em relação aos citados anteriormente. O princípio de funcionamento do aparelho é a correlação entre o tempo que um som de vazamento atinge dois sensores que são dispostos em 2 pontos que possuem contato com componentes da rede (cavaletes, registros, etc.), desde que esses pontos de contato possuam ruído oriundo de vazamento previamente detectado por haste de escuta, ou seja, o vazamento deve estar localizado em trecho entre os dois sensores. Os sensores eletrônicos são

conectados a dois pré-amplificadores e a uma unidade de processamento (também chamado de unidade principal ou processador). Na unidade de processamento é onde ocorrem os processamentos do equipamento para determinar o ponto de vazamento a partir da análise de informações obtidas dos sensores e de dados de entrada que devem ser informados ao aparelho como: material, diâmetro do tubo e distância entre os sensores. Suas desvantagens são o alto custo de aquisição e manutenção, necessidade de que a rede possua um cadastro bastante detalhado e correto, contendo informações precisas sobre o seu posicionamento, material e diâmetro dos trechos da rede, tempo de operação e instalação consideravelmente longo, por fim a exigência de técnicos especializados (Abende, 2005).

O referido autor explica que a teoria por trás do funcionamento do aparelho baseia-se no princípio físico das diferentes velocidades de propagação de som de acordo com o material que constitui a rede bem como de seu diâmetro. Partindo do princípio de que o som ou vibração causada por um vazamento percorre ambas direções com mesma velocidade, os sensores captam o momento em que tal onda passa por eles e manda esta informação para unidade central onde é feito o processo e localização do vazamento. O aparelho pode funcionar em trechos com mais de um tipo de material e diâmetro da rede, desde que informados ao aparelho, e neste caso a unidade principal do aparelho calcula um equivalente de tubo médio que poderá ser utilizado para o cálculo das distâncias.

Figura 22: Correlacionador de ruídos e seus componentes.

- Componentes:**
- 1- Unidade Principal ou Processador;
 - 2- Pré-amplificadores;
 - 3- Sensores ou transdutores;



Fonte: Zaniboni, 2006.

5.9. Ações para mitigação de perdas reais

As ações para a diminuição de perdas são imprescindíveis para os sistemas de abastecimento levando em consideração não só a diminuição de prejuízos e

geração de maior receita para as companhias como também todos os benefícios ambientais, sociais e de saúde pública acarretados. Além disso o combate às perdas condiz com a proposta do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) do Ministério das Cidades, que tem como objetivo geral a promoção do uso racional da água de abastecimento público em benefício da saúde o pública, saneamento ambiental e eficiência dos serviços, gerando assim um melhor aproveitamento dos ativos existentes e a postergação de investimentos para a ampliação dos sistemas de abastecimentos, ou seja, pode ser entendido como melhor aproveitamento de recursos econômicos para garantir segurança hídrica à população brasileira (Brasil, 2023).

Segundo Lambert (2001), as principais ações de combate às perdas de água em redes podem ser divididas entre 4 diferentes categorias:

- Controle ativo de vazamentos não visíveis: medidas relacionadas à investigação, localização e solução de vazamentos invisíveis.
- Controle de pressão do sistema: manipulação das pressões na rede e seus trechos
- Velocidade e qualidade nos reparos: agilidade nas ações de manutenções da rede e reparo da rede.
- Gestão da infraestrutura: Monitoramento e controle da conformidade física e idade das tubulações e melhorias constantes na rede.

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{N1} \quad (4)$$

Sendo:

Q_1 = Volume do vazamento final

Q_0 = Volume do vazamento inicial

p_1 = Pressão final

p_0 = Pressão inicial

$N1$ = Coeficiente da relação pressão x vazamento – Valores usuais:

0,5 – Seção do tubo que não se altera com o vazamento (exemplos: tubos de ferro fundido e aço).

1,00 – Para uma avaliação simplificada. Torna as alterações numéricas de pressão, diretamente proporcionais com as de vazamento.

1,15 – Para condições gerais da rede de distribuição de água de um setor, onde se misturam os materiais, trechos com ferro fundido, PVC, aço, PEAD ou outro tipo de material.

1,5 – Seção do tubo que se altera com o vazamento (exemplos: tubos de PVC e PEAD).

A interpretação que se tem da equação é que o aumento dos volumes de vazamentos possui relação direta com o aumento de pressão de operação do sistema e vice-versa. Entretanto a relação não necessariamente é diretamente proporcional e o acréscimo nos volumes de vazamentos depende do tipo de material da tubulação, podendo ocorrer de mais ou menos intensa a depender deste critério.

Os mesmo autores ainda afirmam que para que seja possível avaliar se um sistema necessita de ajustes de pressão, é necessário se ter conhecimento da intensidade desta grandeza física, assim se fazer necessário o monitoramento das pressões ao longo da rede. O monitoramento deve ser feito em pontos estratégicos e representativos da rede. Recomenda-se a colocação de pelo menos 3 pontos por zona de pressão, uma na menor cota geométrica, uma na maior cota geométrica e outro em cota média da zona. O registro de dados deve ser feito de forma contínua e a quantidade de pontos de monitoramento varia também com o nível de controle que se deseja obter e as especificidades da rede e trechos específicos.

São utilizados registradores de pressões manométricas. Esses aparelhos podem ser do tipo registrador gráfico ou *data logger*, sendo o seu tipo variável

conforme a disponibilidade tecnológica das companhias de saneamento. O registrador gráfico deve ser capaz de apresentar registro de 24 horas ou setes dias e sua principal vantagem é a obtenção de forma imediata do comportamento das pressões ao longo do período de interesse. Sua maior desvantagem é a necessidade de se transferir os dados obtidos pela leitura para uma planilha. O *data logger* apresenta como principal vantagem o fato de que os dados já são capturados em formato eletrônico e o dispositivo possui capacidade de realizar registros por períodos maiores do que 7 dias, entretanto a desvantagem deste é a necessidade de utilização de computador e *software* próprio que nem sempre estão disponíveis em campo.

Figura 24: Aspecto de um Registrador Gráfico de Pressão.



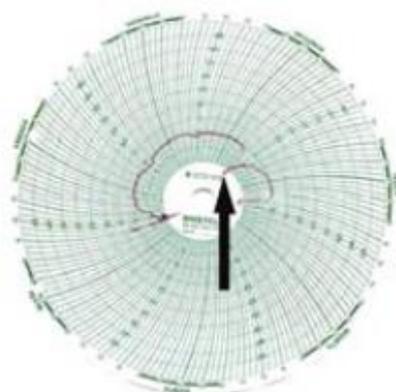
Fonte: Mecaltec, 2023.

Figura 25: Aspecto de um data logger para registro de pressões.



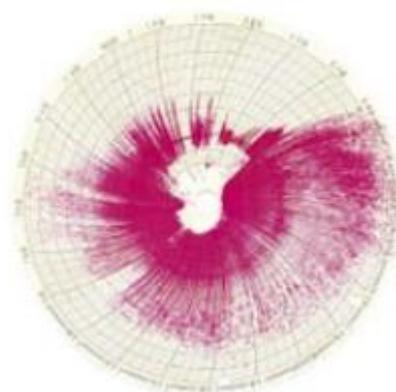
Fonte: Gonçalves e Lima, 2007.

Figura 26: Gráfico de registro de pressões em caso de subdimensionamento da válvula redutora de pressão.



Fonte: Gonçalves e Lima, 2007.

Figura 27: Gráfico de registro de pressões em caso de superdimensionamento da válvula redutora de pressão.



Fonte: Gonçalves e Lima, 2007.

Figura 28: Válvula redutora de pressão em ligação *by-pass*.



Fonte: SABESP, 2015.

Boosters possuem uma função oposta ao da válvula redutora de pressão, ou seja, é um equipamento que opera sob alimentação de energia elétrica e quando associado às válvulas redutoras de pressão, podem se tornar uma solução bastante efetiva no controle de pressão dos setores de abastecimento pois o *booster* permite otimizar o zoneamento piezométrico a partir do reforçamento de pressão nos pontos de cotas mais altas que comumente apresentam pressões menores (Tsutiya, 2006).

5.9.1. Setorização

A grande extensão das redes de distribuição faz com que práticas de controle e monitoramento dessas redes se tornem uma tarefa árdua. Ações feitas à montante são refletidas à jusante de uma rede, o que torna a adequação dos parâmetros operacionais de toda a rede simultaneamente, uma verdadeiro quebra cabeça.

O termo setorização, é utilizado para definir a execução do zoneamento clássico a partir dos reservatórios da rede, criando assim um cenário de 2 zonas de pressão relativas, a de baixa pressão que é comandada pelo nível do reservatório apoiado ou enterrado, e a de alta pressão que é comandada pelo nível do reservatório elevado – torre ou cota piezométrica de saída de uma elevatória (Tsutiya, 2006).

A complexidade de uma rede é elevada por diversos motivos: padrões de uso da água, usos múltiplos da água, vazamentos e extravazamentos de água, em alguns casos, de padrões de condições climáticas e complicadas dinâmicas hidrológicas, dependência do uso de bombas e suas alocações conforme o terreno, e diversos outros fatores. Assim a divisão da rede de distribuição em setores é uma estratégia para lidar com essa elevada complexidade. A setorização é utilizada por diversas cidades ao redor do mundo para controlar e operar os seus sistemas de abastecimento, buscando a melhora do fornecimento de água como um todo a partir de melhorias em partes menores do sistema (Fernández, 2023).

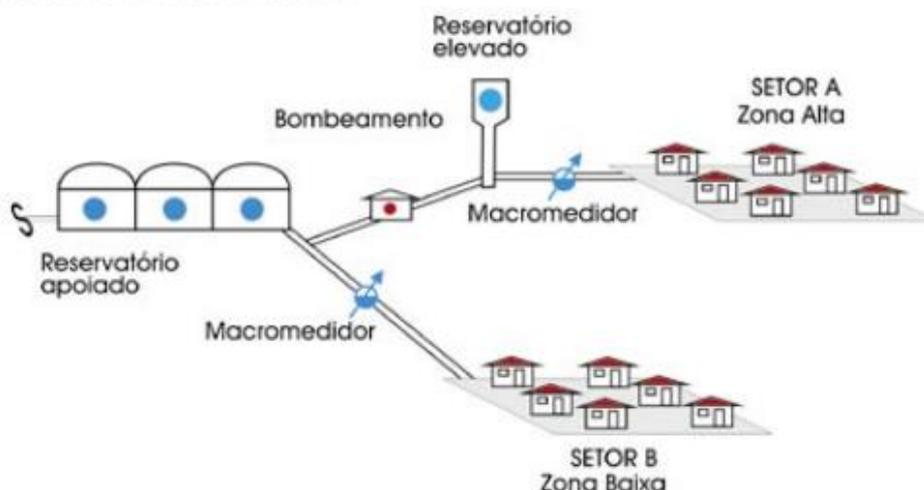
Fernández (2011) ainda afirma que a partição de uma rede deve levar em consideração as condições naturais da área setorizada como a presença de desníveis, rios, vias e quaisquer outros elementos topográficos relevantes. Além disso é necessário que ela seja feita de maneira flexiva e levando em consideração que mesmo com o uso de elementos e acessórios que isolam a rede das outras, elas ainda terão conectividade entre si, deverão ser capazes de ser ampliadas e de se adaptar a setorização de outras porções da rede.

A setorização tem início na fase de projeto do setor de abastecimento. É buscado executar um zoneamento piezométrico conforme o atendimento das pressões máximas estáticas e mínimas dinâmicas delimitadas por normas brasileiras, estando entre 40mca e 10mca respectivamente. Com o atendimento das pressões piezométricas permissivas em mente, a topografia acentuada de uma região pode se tornar um empecilho para que a setorização clássica de 2 divisões consiga fazer com que uma rede opere dentro dos limites da norma, entretanto criar uma terceira zona de pressão a partir do mesmo reservatório demonstra ser uma solução de projeto muito onerosa. Existem soluções alternativas mais práticas e baratas, elas baseiam-se no uso de Válvula Redutoras de Pressão e de “*Boosters*” que se bem operados, apresentam grande relação de custo-benefício e flexibilidade para adaptação que o processo de setorização demanda das redes (Tsutiya, 2006).

A imagem abaixo demonstra a setorização clássica e a criação dos setores A e B representando as zonas de alta e baixa pressão respectivamente.

Figura 29: Setorização clássica em sistemas distribuidores de água.

Sistema Distribuidor



Fonte: Gonçalves e Lima, 2007.

Ambos setores devem possuir macromedidores em sua entrada e os usuais hidrômetros nos consumidores finais, desta forma ocorre uma maior compatibilização entre macromedição e micromedição pois com o isolamento de uma porção consideravelmente menor da rede, o gerenciamento deste setor é beneficiado e os índices de perdas se tornam mais confiáveis e fáceis de se identificar, combater e monitorar.

Gonçalves e Lima (2007) explicam que expansões urbanas não previstas no projeto original podem alterar o limite da rede distribuidora do setor. Nessa situação é imprescindível analisar as consequências que esta expansão causa no comportamento da rede através de modelagem hidráulica, sendo o EPANET, um dos *softwares* de uso livre da EPA-*Environmental Protection Agency* para esta finalidade. Além disso os autores explicam que dentro de um setor, sua operação é feita através do trabalho conjunto de um ou mais subsetores, são eles:

- Zona de pressão: Área resultante da subdivisão da rede de distribuição, dentro da qual os limites de pressões estática e dinâmica são obedecidos conforme norma.
- Setor de macromedição: Delimitada porção da rede de distribuição que isolada, tem como finalidade registrar o consumo e perdas de água de um setor. A vazão é medida continuamente por meio de macromedidor situada nas linhas de alimentação e de saída (se for o caso) do setor.

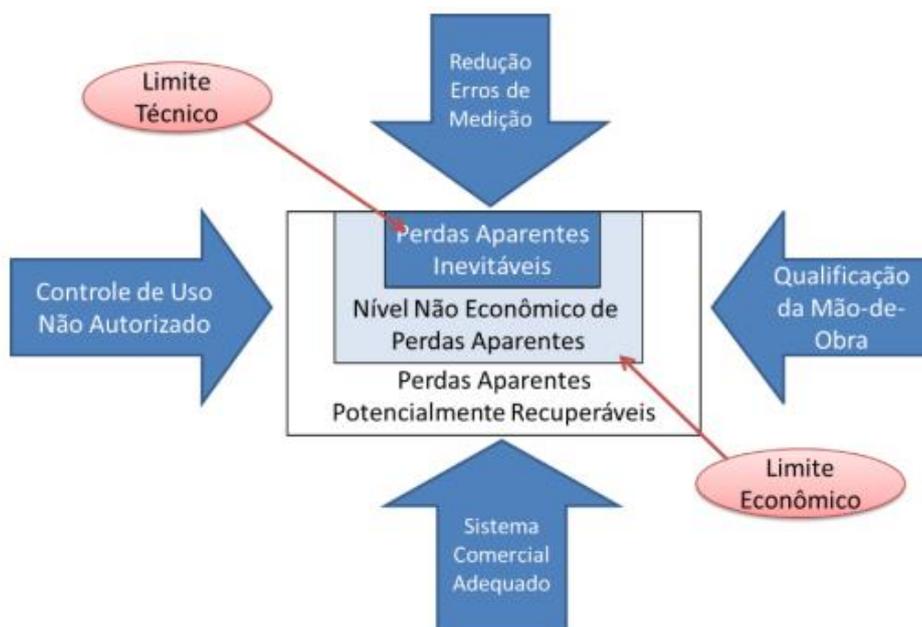
- Distrito de medição temporária: Porção da rede de distribuição delimitada e isolável que tem como objetivo acompanhar temporariamente a progressão de consumo e perdas de água na rede. A aferição de vazão é feita por equipamentos portáteis ou de instalação provisória.
- Setor de manobra: Menor subdivisão da rede, permite que o abastecimento seja isolado de forma que não afete o restante da rede.

5.10. Ações para mitigação de perdas aparentes

Entendendo o conceito das perdas aparentes e suas causas, é observável que os medidores de vazão são o instrumento fundamental para o levantamento de dados de vazão de consumo e entrada de água nas redes de distribuição e portanto para que tais dados sejam a representação mais fiel possível da realidade, é necessário que os macromedidores e hidrômetros não apresentem falhas de leitura e sejam o mais precisos possível.

Assim como nas ações para mitigação de perdas reais, o combate às perdas aparentes também é acompanhado de custos e por isso tanto o limite técnico (relacionado à imprecisão dos medidores) quanto o econômico devem ser definidos para um bom gerenciamento da rede de distribuição. A figura 30 compila medidas para o combate de perdas aparentes.

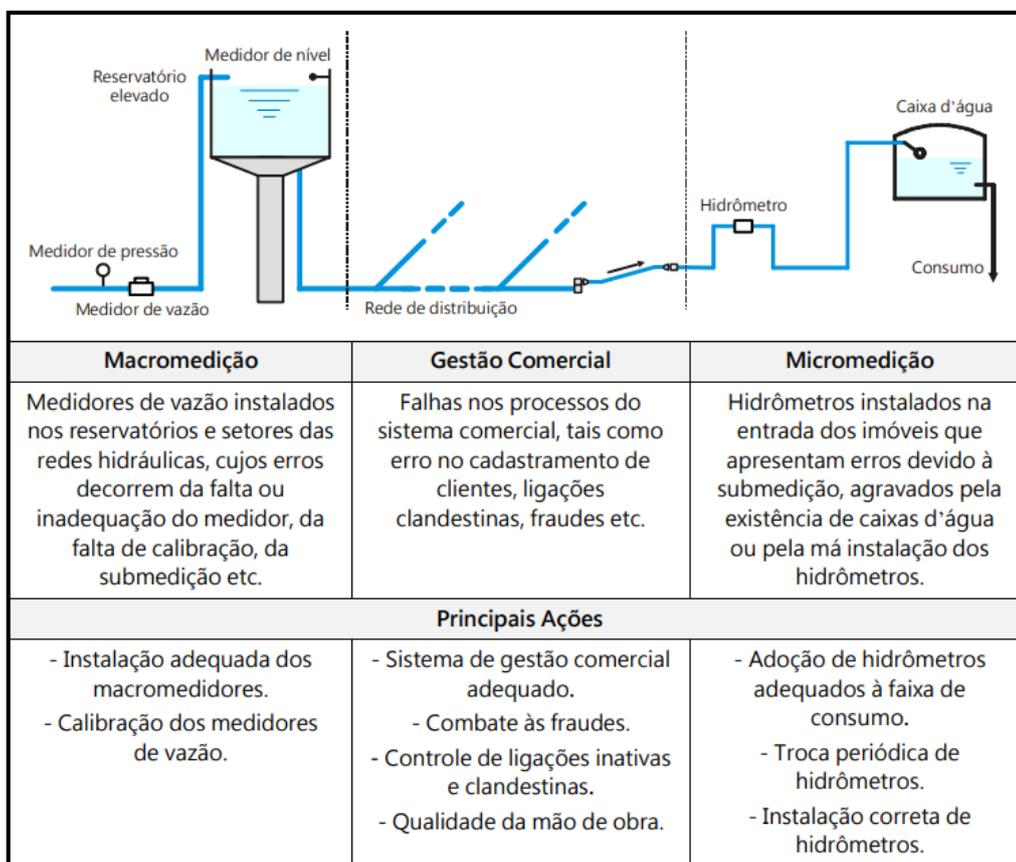
Figura 30: Métodos básicos de gerenciamento de perdas aparentes adaptado por Santos (2018).



Fonte: Tsutiya (2006) apud Santos (2018).

A figura 31 abaixo representa, de modo breve, os elementos e situações que compõem as perdas aparentes.

Figura 31: Ações para o controle de perdas aparentes.



Fonte: Bezerra e Cheung, 2013.

Os macromedidores, devido ao seu porte e vazão com que operam, em condições ideais de operação como vazão adequada, possuem uma precisão na faixa de 0,5% a 2%, sendo que tal precisão ainda pode ser agravada por diversos outros fatores relacionados indiretamente com o funcionamento do medidor e a leitura de seus dados como por exemplo: descalibração do medidor, dimensionamento inadequado, operação sob vazões não indicadas, amplitude de vazões muito grandes, instalação do medidor inadequada com relação ao seu posicionamento nas redes, problemas e imprecisões da instrumentação secundária de coleta e transmissão de dados e por fim problemas físicos por falta de manutenção ou que ocorreram no momento da instalação primária como por exemplo incrustação e danos provindos de cavitação (Vicentini, 2012).

Portanto é importante que todos os fatores listados acima sejam evitados e que seja garantido a manutenção periódica dos medidores conforme suas especificações de fábrica.

5.11. Custos associados às perdas de água

O tratamento da água para o território nacional exerce função imprescindível nas obrigações de âmbito nacional e internacional do Brasil. Visto que o sistema elétrico brasileiro é baseado na geração hidrelétrica, basicamente 70,6%, a falta desse recurso representaria um risco tanto no abastecimento quando econômico em diversas regiões do país, de acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico.

O Sistema Cantareira é um exemplo de sistema de captura e tratamento de água para a RMSP, criado para abastecer 8,8 milhões de pessoas. Com o acréscimo da expansão urbana nos últimos tempos, esse cenário se mostra como um desafio na gestão dos recursos hídricos, questão que abrange diversos outros países além do Brasil principalmente devido ao fato de que diversas grandes cidades estão sujeitas a variações de precipitação ao longo do ano e garantir a segurança hídrica da população de uma metrópole torna-se uma tarefa difícil e delicada (Soriano, 2016).

Segundo Marengo *et al.* (2015), o recurso “água” é pilar e recurso imprescindível para o funcionamento de diversas indústrias e setores de comércio, principalmente o alimentício. A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP, estima que 60% de todo o PIB industrial do estado é afetado por questões de falta de recurso hídrico e com a necessidade de alteração de hábitos e procedimentos de produção, a competitividade, lucro e produtividade desses empreendimentos serão afetados. Segundo Munich (2015) apud Marengo *et al.* (2015), produtos como tomate e alface sofrem um aumento de 30% nos seus preços em períodos de auge de seca.

No setor financeiro das empresas concessionárias a implementação de um controle para perdas vem se tornando a pauta principal. O volume de água que não é faturado, mas captado, tratado, importado ou transportado em infraestruturas de posses de grande valor, converte-se em elevados custos operacionais e de manutenção. No ano de 2016 de acordo com um estudo realizado pelo Associação Zero (2017) apud Silva (2018), que analisou dados disponibilizados pela ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos de Portugal) através do Relatório Anual dos Serviços de Água e Resíduos de Portugal, estimou-se que as perdas econômicas relacionadas às perdas de água e o seu não faturamento chegavam aos 235 milhões de euros/ano.

Trazendo para a perspectiva nacional, avaliando especialmente os custos diretos das perdas de água (reais e aparentes) às concessionárias, avaliar o quanto se poderia ter economizado com a redução de perdas é uma forma de avaliar os prejuízos que elas causam às companhias de saneamento. É importante ressaltar que os custos das perdas de água, especialmente as perdas reais, não são de caráter exclusivamente econômico, mas exploração e perda desse recurso finito tão precioso é custoso ao meio ambiente e também à própria sociedade que fica mais suscetível à enfrentar problemas relacionados à disponibilidade hídrica.

Em um estudo realizado por Oliveira, Scazufca e Sayon no ano de 2022, foram levantados dados sobre o consumo e perdas de todo o Brasil por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o trabalho estimou que o volume total de água não-faturada do país no ano de 2020 foi de 7,2 bilhões de m³, o equivalente a aproximadamente 7 vezes o volume do sistema Cantareira segundo os autores. Entretanto deve-se lembrar que as perdas totais são compostas pelas perdas reais ou físicas e as aparentes ou comerciais, portanto o valor apresentado anteriormente não necessariamente indica que todo esse volume de água foi perdido mas sim não-faturado de fato. O estudo ainda afirma que conforme a proporção das perdas que compõem as perdas totais, 60% delas corresponde às perdas aparentes e os 40% restantes às reais. Mais de 3,7 bilhões de m³ foram efetivamente perdidos para o meio, o que seria suficiente para abastecer 66 milhões de brasileiros em 1 ano e diminuiria à demanda de exploração dos mananciais. Um dado extremamente relevante apontado pelos autores é que essa quantidade de pessoas que poderiam receber abastecimento de água tratada corresponde ao dobro do número de habitantes sem acesso à abastecimento no ano de 2020.

Porém, esta é uma situação em que as perdas reais são erradicadas, o que conforme o trabalho apresentado, é um objetivo praticamente impossível de se realizar, portanto os autores ainda levam em consideração uma situação em que o índice de perdas do Brasil no ano de 2020, 40,9% fosse reduzido à 25%, que é um objetivo palpável e já é realidade de países mais desenvolvidos. O volume economizado seria de 2,3 bilhões de m³, valor que ainda assim seria capaz de abastecer 40,4 milhões de brasileiros, número de habitantes maior do que o de habitantes sem acesso à abastecimento do mesmo ano.

Com relação aos impactos econômicos, Oliveira, Scazufca e Sayon (2022), estima a tarifa média de água no ano de 2020 como 4,550/m³ e obtêm os seguintes resultados para 3 cenários distintos conforme a figura 32.

Figura 32: Simulação de impactos de redução das perdas.

Cenários	Perdas 2020	Perdas 2034	Redução	Ganho Bruto Total	Ganho Líquido Total
Cenário Otimista	41%	15%	63%	87.294.828	43.647.414
Cenário Realista	41%	25%	39%	53.580.183	26.790.091
Cenário Pessimista	41%	35%	14%	19.865.538	9.932.769

Fonte: Oliveira, Scazufca e Sayon (2022).

5.12. SIG no combate às perdas

Os sistemas de informação geográficas (SIG) são sistemas utilizados para armazenar, analisar e manipular dados que a localização geográfica é uma característica intrínseca e indispensável à informação (Camargo, 1998 apud Soares, 2015). O custo das redes de distribuições e suas características operacionais são diretamente dependentes de sua extensão, cotas piezométricas que estão relacionados às cotas do terreno e informações à respeito das tubulações como idade, material, diâmetro, etc. Estes aspectos mostram que a aplicação de SIG como ferramenta auxiliar no monitoramento das redes e combate às perdas é recomendado.

Oliveira e Formiga (2009), utilizam de SIG como ferramenta auxiliar no controle de perdas para fornecer suporte à gestão das redes de distribuição da cidade de Goiânia/GO. Os autores geraram mapas e coletaram informações que foram utilizadas em conjunto com ferramenta de simulação hidráulica EPANET, possibilitando que a análise hidráulica da rede fosse mais precisa.

5.13. Estudo de caso 1 – Válvulas redutoras de pressão na rede de distribuição: setor Guará II

Gonçalves e Lima (2007) elaboraram um documento técnico de apoio à respeito do controle de pressão nas redes de distribuição. O guia é disponibilizado no site do governo brasileiro na aba de Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCD. No guia os autores citam que a partir de 1992, iniciou-se um programa de combate às perdas de um setor do Distrito Federal – DF, o programa foi executado pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito

Federal e se baseou na identificação de pontos suscetíveis à vazamentos e a identificação dos mesmos a partir do controle ativo de vazamentos com a utilização de geofone eletrônico e correlacionador de ruídos. Os vazamentos identificados foram reparados mas que com o passar de pouco tempo novos vazamentos surgiam e os resultados obtidos pela campanha eram praticamente invalidados. Esta situação se estendeu até meados de 1997 período a partir do qual foi instalada uma válvula redutora de pressão. A partir da instalação da VRP, as perdas no setor sofreram efetivamente uma redução drástica e se mantiveram constantes após esse período. A figura 33 representa o gráfico de perdas no decorrer dos anos após o início da campanha de combate às perdas.

Figura 33: Evolução das perdas no setor Guará II, antes e após VRP.



Fonte: Gonçalves e Lima (2007).

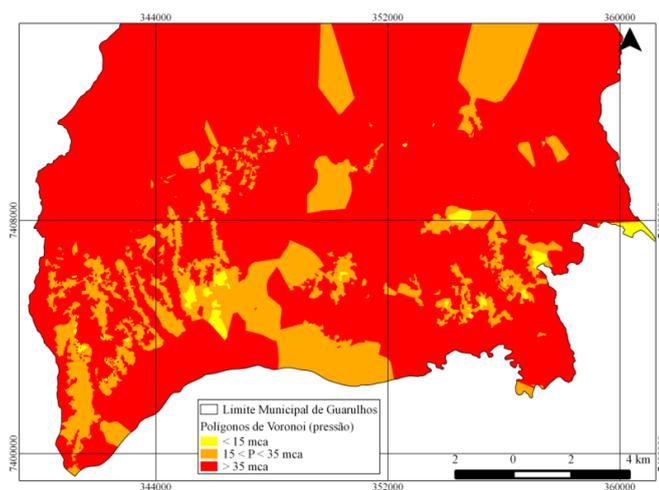
Portanto os autores recomendam que sempre que for possível e se fizer necessário, seja feita a instalação de VRP pois caso contrário, mesmo com as práticas de combate ativo às perdas, o sistema retornará a apresentar os mesmos ou próximos índices de perdas.

5.14. Estudo de caso 2 – SIG na análise de vulnerabilidade a vazamentos - Guarulhos-SP

Rauen (2014) realizou um estudo que buscou relacionar a ocorrência de acidentes geológicos decorrentes de vazamentos de água a partir da elaboração de

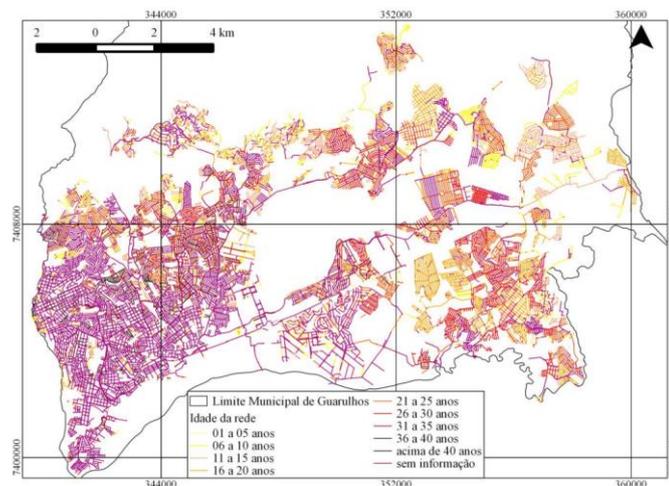
um mapa contendo às regiões e trechos da rede de distribuição mais suscetíveis à vazamentos no município de Guarulhos-SP. O município está localizado na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com área de 319km² e população superior a 1,2 milhões de habitantes sendo que no ano de 2012 a rede de distribuição de Guarulhos possuía aproximadamente 2.200km. A autora aplicou uma metodologia de sobreposição de mapas de fatores que contribuíam para a vulnerabilidade de surgimento de vazamentos nas tubulações associada à ponderações destes mapas conforme a importância do fator selecionado. Desta forma foram criados 5 intervalos de média de pontuação e as áreas cujas sobreposições apresentassem a maior média de pontuação representavam as áreas de maior vulnerabilidade à vazamentos. Os critérios adotados pela autora foram: Pressão na rede, idade da tubulação e manutenções recorrentes.

Figura 34: Mapa referente aos valores de pressão obtidos por Diagrama de Voronoi.



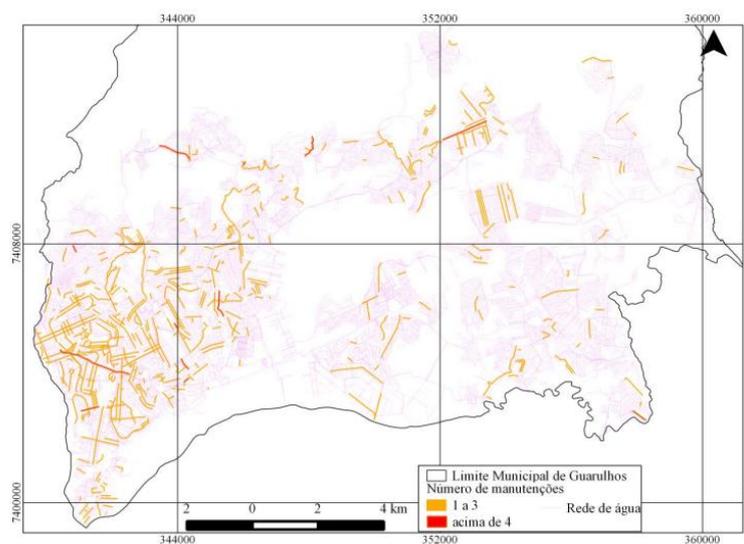
Fonte: Rauen, 2018.

Figura 35: Mapa referente à idade das tubulações.



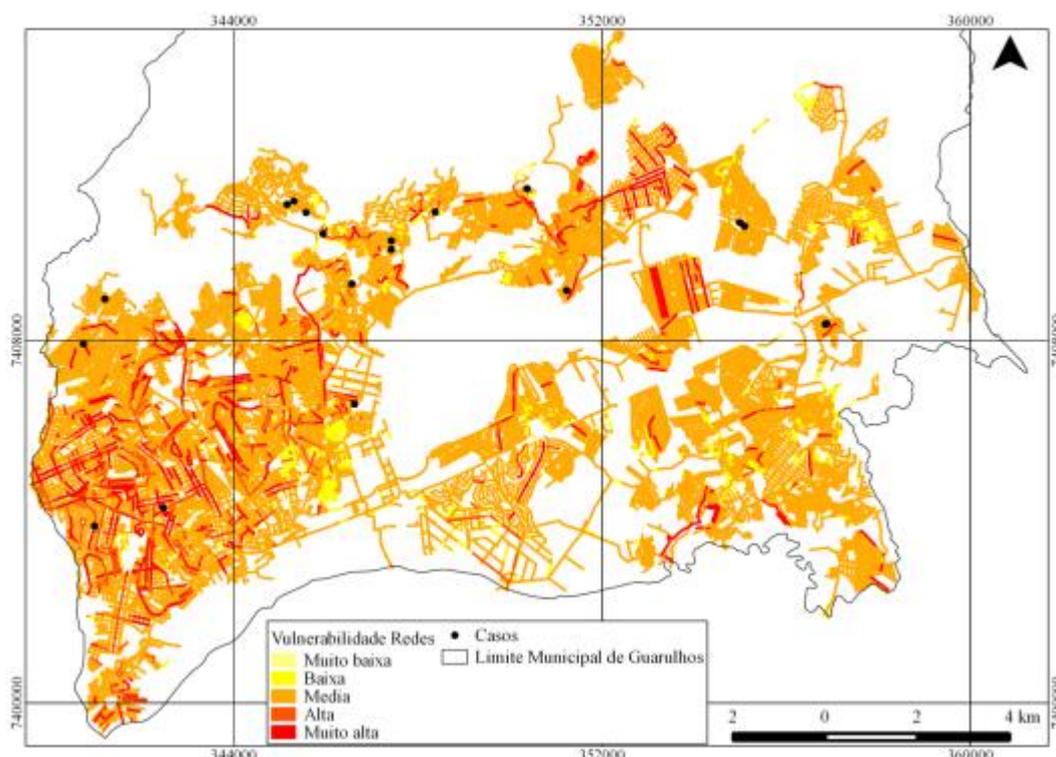
Fonte: Rauen, 2018.

Figura 36: Mapa referente às manutenções recorrentes nas tubulações.



Fonte: Rauen, 2018.

Figura 37: Carta de vulnerabilidade a vazamentos e localização de casos de acidentes geológicos.



Fonte: Rauen, 2018.

Com a finalização do estudo a autora concluiu que as ferramentas de geoprocessamento fornecem suporte para a tomada de medidas de intervenção, recuperação e prevenção de danos ambientais. Entretanto os resultados foram bastante afetados pelo fator “manutenções recorrentes das tubulações” e portanto é proposto que trabalhos futuros incorporem mais critérios de avaliação como tipo de material e esforços externos sobre as tubulações por exemplo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização da presente revisão, foi possível obter um maior entendimento das variáveis causadoras e atenuadoras das perdas reais e aparentes e projetando este conhecimento obtido para a realidade, é possível observar pontos e questões pertinentes sobre o assunto.

De acordo com as informações e conceitos apresentados no trabalho, sobretudo no tópico 5.6., os medidores de forma geral, especialmente o hidrômetros, são equipamentos indispensáveis para saber o quanto se perde de água em uma rede (perda real e aparente), porque não é possível quantificar nenhum tipo de perda se não existem ferramentas para medir as movimentações de entrada e saída

de água do sistema. Os medidores devem ser utilizados conforme a vazão que irão aferir e sua precisão está diretamente relacionada à faixa de vazão ideal de operação. O “efeito caixa d’água” explicado no referido tópico, representa um verdadeiro “vilão” para a existência de perdas aparentes, pois levando em consideração que a utilização de caixas d’água existe em nossa sociedade desde muito tempo e não apresenta indícios de que este cenário existente está prestes a mudar, mesmo que mais dinheiro seja investido com qualidade de infraestrutura e mão de obra, com as tecnologias disponíveis, a existência de perdas aparentes relacionadas à essa situação se torna praticamente inevitável. Alterar uma prática já enraizada em nossa sociedade leva tempo, porém as tecnologias devem avançar mesmo que a pequenos passos, portanto se deve explorar mecanismos para que o efeito caixa d’água seja evitado ou ao menos reduzido.

O grande número de ocupações irregulares também representa um desafio no combate às perdas, principalmente em países em desenvolvimento onde há uma presença maior deste tipo de ocupação. Geralmente, esses locais são considerados irregulares por não garantirem segurança estrutural e de saúde pública adequadas, porém negligenciar a existência de pessoas nesses locais e não oferecer boa qualidade de abastecimento de água não parece ser uma gestão adequada. Nesse cenário, o combate às perdas se torna ainda mais difícil em razão da dificuldade de execução de projetos de infraestrutura, monitoramento e cadastramento adequados para que as perdas possam ser minimizadas. Diante desse dilema, fica evidente que diversos problemas urbanísticos se correlacionam e a solução de um é extremamente dependente da solução de outro. Portanto, fica demonstrado que um problema de origem social possui implicações técnicas que para serem solucionadas, exigem a mobilização de diversos agentes da sociedade.

A setorização é uma das formas de gestão capaz de reduzir as perdas de água como também melhorar o seu monitoramento. Além disso traz diversos outros benefícios de gerenciamento da rede pois ela permite que manobras de manutenção sejam executadas sem comprometer um maior número de usuários, torna a pressão do setor mais manipulável pelas ferramentas e instrumentos adequados, faz com que possíveis contaminações sejam mais fáceis de se identificar e isolar, por fim ainda permite que a determinação de perdas reais pelo método de vazão mínima noturna seja utilizada. Entretanto, deve-se lembrar que setorizar uma grande rede de distribuição em inúmeros setores significa aumentar a demanda de mão de obra

especializada e competente da rede como um todo, o que nem sempre é garantia que acontecerá, desta forma é imperativo o aumento do nível organizacional dentro das empresas concessionárias, pois caso o disposto não ocorra, a setorização implica em custos de aplicação sem reais ganhos.

Sobre a determinação de perdas reais por análise de vazão mínima noturna, o princípio e ideia do método é totalmente coerente e de fácil entedimento, porém a aplicação do método é baseada em diversas estimativas, portanto devem ser realizados mais estudos sobre o perfil de consumo noturno da população brasileira, o qual ainda varia ainda conforme a região (devido às grandes dimensões, a heterogeneidade de distribuição hídrica do país, diversidade de atividades produtivas e hábitos das população) e estações do ano. Melhorar a qualidade dos dados de entrada sobre perdas é um passo necessário para minimizá-las ao máximo.

7. CONCLUSÕES

O assunto “perdas de água em sistemas de abastecimento”, desde sua causa até suas consequências, envolve inúmeros fatores multidisciplinares. Todos esses fatores e aspectos possuem relevância ao tópico mesmo que em proporções diferentes. As taxas de perdas do Brasil são altas e por esse motivo a intensificação do combate às perdas pode trazer ganhos imediatos e de pouco investimento. Não só visando os ganhos, mas deve ser ressaltada a importância e necessidade do crescente combate às perdas como medida preventiva de segurança hídrica levando em consideração os possíveis evento críticos futuros.

REFERÊNCIAS

AGERGS. Agência Estadual de Regulação dos serviços Públicos delegados do Rio Grande do Sul, **Regulamento dos Serviços de água e esgoto – RSAE**. 2014. Disponível em: <<https://agergs.rs.gov.br/upload/arquivos/202201/21184817-rsae-unificado-22-01-21.pdf>>.

ÁGUAS DE TERESINA, **Ligações clandestinas prejudicam abastecimento de água em Teresina**. Teresina-PI, 2021. Disponível em:<<https://www.aguasdeteresina.com.br/ligacoes-clandestinas-prejudicam-abastecimento-de-agua-em-teresina/>>.

BAPTISTA, M.; CARDOSO, A. **RIOS E CIDADES**, Universidade Federal de Minas Gerais, v.20; n.2, p. 124-153, Belo Horizonte-MG, 2013. Disponível em:<<https://www.ufmg.br/revistaufmg/downloads/20-2/05-rios-e-cidades-marcio-baptista-adriana-cardoso.pdf>>.

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água. Tecnologias de Controle**. Editora Universitária da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2013. Disponível em:<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/proeesa/pdf/perdas_agua.pdf>.

BRASIL - Ministério das Cidades, **PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA – PNCDA**. Brasília-DF, 2022. Disponível em:<<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/pmss/biblioteca-virtual/programa-nacional-combate-ao-desperdicio-agua-pncda>>.

BRASIL, Lei nº 9.433. de 8 de Janeiro de 1997, **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art.21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.0001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990,**

de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial, Brasília-DF, 1997. Disponível em:<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>.

BRASIL, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012: Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Sistema Cantareira. Brasília, [s.d.]. Disponível em:< <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/sistema-cantareira-saiba-mais>>.

BRASIL. Decreto-Lei nº 2848, de 7 de dezembro de 1940:Código Penal. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro-RJ, 1940. Disponível em:<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del2848compilado.htm>.

BULHÕES, J. M. ESCOAMENTO TRANSITÓRIO E PERDAS DE ÁGUA: ANÁLISE EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DA CIDADE DE SALVADOR-BA, Universidade Federal da Bahia, Dissertação (mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento), Salvador-BA, 2017. Disponível em:<https://maasa.ufba.br/sites/maasa.ufba.br/files/59_escoamento_transitorio_e_perdas_de_agua_analise_em_sistemas_de_distribuicao_da_cidade_de_salvador-ba.pdf>.

CARVALHO, F. S. *et al.* ESTUDOS SOBRE PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE MACEIÓ, VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luis-MA, 2004. Disponível em: <<https://ctec.ufal.br/professor/vap/perdassistemadeabastecimento.pdf>>.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, **Pesquisas comprovam a importância da vegetação na produção de água com qualidade.** São Paulo-

SP, 2018. Disponível em:< <https://cetesb.sp.gov.br/blog/2018/02/21/pesquisas-comprovam-a-importancia-da-vegetacao-na-producao-de-agua-com-qualidade/referen>>.

COSTA, A. F. S. *et al.* **RECURSOS HÍDRICOS**, Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas, v.1, n.15, p.67-73, Sergipe, 2012. Disponível em:< <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/201/126>>.

DAEE – Departamento de águas e energia elétrica. **PORTARIA DAEE nº 1.630, de 30 de maio de 2017: Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa para obtenção de manifestação e outorga de direito de uso e de interferência em recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo.** São Paulo-SP, 2017. Disponível em:< https://drive.google.com/file/d/1tllg4eTaX2A_K_gQTGpSEYrluAb7UULf/view>.

DALMO, F.C.; VIANA, A. G.; MAUAD, F. F.; **UTILIZAÇÃO DO GEOFONE ELETRÔNICO NA PESQUISA E DETECÇÃO DE VAZAMENTOS: ESTUDO DE CASO.** XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo-SP, 2007. Disponível em: < https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/510e050902de1f86bb2f876f92de36e5_c41d8501fb20726f390bf8460d66a36d.pdf>.

EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento, **Embasa intensifica combate a fraudes no consumo de água em Feira de Santana.** Salvador-BA, 2023. Disponível em:< <https://www.embasa.ba.gov.br/w/embasa-intensifica-combate-a-fraudes-no-consumo-de-de-agua-em-feira-de-santana>>.

FERNÁNDEZ, A. M. H. **Improving water network management by efficient division into supply clusters.** Teses (Obtenção de Pós-doutorado em *Engineering and Environmental Studies*), Valencia, Espanha, 2011.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO – ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL.** Brasil, 2016. Disponível em:<

GONÇALVES, E.; LIMA, C. V. **Guias práticos – Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água – CONTROLE DE PRESSÕES E OPERAÇÃO DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESSÃO**. Guias práticos, Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Brasília-DF, 2007. Disponível em:<<https://nexusbr.com/downloads/saneamento/Volume%204%20CONTROLE%20DE%20PRESSOES.pdf>>.

GUIDETTI, A. J. **EFICÁCIA DO MÉTODO DAS VAZÕES MÍNIMAS NOTURNAS PARA DIAGNOSTICAR PERDAS DE ÁGUA**. Universidade Estadual de Campinas, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Campinas -SP, 2013. Disponível em:<<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=465715>>.

GULARTE, C. B. **Um estudo sobre a Submedição em Hidrômetros para Aplicação no Controle de Perdas Aparentes no Sistema de Abastecimento de Água de Blumenau**. Dissertação de mestrado para obtenção do grau Mestre em Metrologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2005. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103013/224237.pdf?sequence=1>>.

GUSMÃO, I. C. D., *et al.* **Principais mecanismos de alívio do golpe de aríete em adutoras**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2021. Disponível em:<<https://www.confeca.org.br/midias/uploadsimce/Contecc2021/Civil/PRINCIPAIS%20MECANISMOS%20DE%20AL%20C3%8DVIO%20DO%20GOLPE%20DE%20AR%20C3%8DETE%20EM%20ADUTORAS.pdf>>.

IWA-International Water Association, **International Best Practice Water Balance and Performance Indicators for Water Supply Services**. Reino Unido. Disponível em: <<https://iwa-network.org/>>.

KUSTERKO, S. *et al.* **Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista**. UFSC - Engenharia Sanitária Ambiental, v.23 n.3,

Florianópolis-SC, 2018. Disponível em: <
file:///C:/Users/pcarl/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/TCC%202023/0-
MONOGRAFIA/refer%C3%AAsias/revis%C3%A3o%20bibliogr%C3%A1fica/5.REVI
S%C3%83O%20DE%20LITERATURA/5.1.%20CONCEITOS%20FUNDAMENTAIS/
5.1.1.%20DEFINI%C3%87%C3%83O%20DE%20PERDAS%20DE%20%C3%81GU
A/KUSTERKO.pdf>.

LIMA, M. L. **PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO: Um estudo comparativo entre prestadores no Brasil.** Centro Universitário de Brasília, Brasília-DF, 2017. Disponível em:<
<https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/13199>>.

MARENGO, J. A. *et al.*. **A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo.** Revista USP, São Paulo-SP, 2015. Disponível em:<
<https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110101/108684>>.

MARTINS, G. **IMPACTO DO SANEAMENTO BÁSICO NA SAÚDE PÚBLICA – Estudo de caso – Itapetinga-SP- 1980 a 1997.** Universidade de São Paulo, Tese (doutorado em Saúde Ambiental), São Paulo-SP, 2001. Disponível em:<
https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-30032020-114334/publico/DR_469_Martins_2001.pdf>.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. **MODELO DE DECISÃO EM GRUPO PARA GERENCIAR PERDAS DE ÁGUA.** Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2006. Disponível em:<
<https://www.scielo.br/j/pope/a/vj85DvpzZBKwVHM3dD4LncL/?lang=pt&format=pdf>>.

NASCIMENTO, R. B. **ANÁLISE E GERENCIAMENTO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA COM SUPORTE EM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEORGRÁFICAS (SIG).** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação), Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2009.

NETTO, J. M. A. FERNANDEZ, F. M. **Manual de Hidráulica**. 9° ed, São Paulo: Blucher, SP, 2015. Disponível em:<<https://plataforma.bvirtual.com.br/>>.

OLIVEIRA, R. M.; FORMIGA, K. T. **USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo-SP, 2009. Disponível em:< <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=10211>>.

OLIVEIRA, G. SCAZUFCA, P. SAYON, P. L. **ESTUDO DE PERDAS DE ÁGUA DO INSTITUTO TRATA BRASIL DE 2022 - (SNISS 2020): DESAFIOS PARA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E AVANÇO DA EFICIÊNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL**. Relatório Trata Brasil, São Paulo-SP, 2022. Disponível em:<https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_Completo.pdf>.

OLIVEIRA, L. **ACIDENTES GEOLÓGICOS URBANOS**. MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná, Curitiba-PR, 2010. Disponível em:< https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/acidentes_geologicos_urbanos_2010.pdf>.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **Glossary of Environment Statistics, Studies in Methods**. Series F, No. 67, United Nations, New York, 1997. Disponível em: <<http://stats.oecd.org/glossary/>>.

RAUEN, V. A. B. **ANÁLISE ESPACIAL DE VULNERABILIDADE A VAZAMENTOS EM REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**, Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia), Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2014. Disponível em:< https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44137/tde-06022015-085830/publico/Vanessa_dissertacao_FINALtotal.pdf>.
S.pdf>.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Controle de perdas**. Brasil, 2022. Disponível em:<<https://www.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=37#:~:text=N%C>

3%A3o%20existe%20perda%20%E2%80%9Czero%E2%80%9D%2C,manuten%C3%A7%C3%A3o%2C%20possuem%20perdas%20de%20%C3%A1gua>.

SABESP/IPT. **Política de Manutenção de Hidrômetros na RMSB: Diagnóstico, Recomendações e Revisão do Sistema de Gerenciamento.** Relatório Final, São Paulo-SP, 1987.

SANTILLI, J. F. R. **A POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (LEI 9.433/97) E SUA IMPLEMENTAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL.** Rev. Fund. Esc. Super. Ministério Público, Brasília-DF, 2001. Disponível em:<https://ceapg.fgv.br/sites/ceapg.fgv.br/files/u60/politica_nacional_dos_recursos_hidricos.pdf>.

SANTOS, J. A. C. **CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA EM UM DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE DO SISTEMA COSTA NORTE EM FLORIANÓPOLIS/SC.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2018. Disponível em:< <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/195603>>.

SÃO PAULO (Estado), **Lei nº 1.172, de novembro de 1976: Delimita as áreas de proteção relativas aos mananciais, cursos e reservatórios de água, a que se refere o Artigo 2.º da Lei n. 898, de 18 de dezembro de 1975, estabelece normas de restrição de uso do solo em tais áreas e dá providências correlatas.** São Paulo-SP, 1976. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1976/lei-1172-17.11.1976.html>>.

SATO, S. E. *et al.* **ESTUDO DE URBANIZAÇÃO EM ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS NOS LOTEAMENTOS DO RECREIO SÃO JORGE E NOVO RECREIO, REGIÃO DO CABUÇU, GUARULHOS (SP), BRASIL.** Paisagem Ambiente: Ensaios – n. 29 – São Paulo-SP, 2011. Disponível: <<https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/77832>>.

SETTI, A. A. *et al.* **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos.** 2ª edição, Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, Brasília, 2001. Disponível em:<

https://lamorh.ufes.br/sites/lamorh.ufes.br/files/field/anexo/introducao_ao_gerenciam ento_de_recursos_hidricos.pdf>.

SHIKLOMANOV, I. A. **WATER IN CRISIS**, Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security Stockholm Environment Institute, Oxford University Press, New York, 1993. Disponível em:<https://www.quarks.de/wp-content/uploads/Water_in_Crisis_Chapter_2_Oxford_Univers.pdf>.

SILVA, S. C. A. **IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS URBANOS DE ABASTECIMENTO**. Universidade de Coimbra, Dissertação (mestre em Saúde Pública), Portugal, Coimbra, 2018. Disponível

em:<<https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/81460/1/Implementa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Medidas%20de%20Controlo%20de%20Perdas%20de%20%C3%81gua%20em%20Sistemas%20Urbanos%20de%20Abastecimento.pdf>>.

SOARES, A. F. **UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS COMO INSTRUMENTO DE SUPORTE À REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE/SC**. Universidade Federal do Paraná, Monografia (Especialista em Geotecnologias), Curitiba-PR, 2015. Disponível em:<<https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/42612/R%20-%20E%20-%20AUGUSTO%20FERON%20SOARES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

SORIANO, É. *et al.* **Water crisis in São Paulo evaluated under the disaster's point of view**. *Ambiente & Sociedade*, v. 19, n. 1, p. 21–42. 2016. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/asoc/a/rqGhjC3WJ3qDgrtQPGMScLK/?lang=pt#>>.

SOUZA, D. L. A. **ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS ÀS PERDAS DE ÁGUA EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO: ESTUDO DE CASO EM OLINDA/PE**. Dissertação (pós-graduação em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2016. Disponível em:<<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/18595/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Deyvison%20Luiz%20Andrade%20de%20Souza.pdf>>.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **DESASTRES NATURAIS: Conhecer para prevenir**. Governo do Estado de São paulo: Secretaria do Meio Ambiente – Instituto Geológico, São Paulo-SP, 2015. Disponível em:<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2017/05/Conhecer_para_Prevenir_3ed_2016.pdf>.

TROJAN, F.; KOVALESKI, J. L. **Automação no abastecimento de água: Uma ferramenta para redução de perdas e melhoria nas condições de trabalho**. XII Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), Bauru-SP, 2005. Disponível em:<https://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_12/copiar.php?arquivo=Trojan_F_Automacao%20no%20abasteci.pdf>.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-SP, 2006.

VICENTINI, L. P. **COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO PARA AVALIAÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**. Universidade de São Paulo, Dissertação (mestre em Engenharia Hidráulica), São Paulo-SP, 2012. Disponível em:<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-03072013-151444/publico/Dissertacao_Perdas_LPV.pdf>.

ZANIBONI, N. **EQUIPAMENTOS E METODOLOGIAS PARA O CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS REAIS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2009. Disponível em:<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11082009-172644/publico/Dissertacao_completa_2009revisada08_06_2009.pdf>.