

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Natália Amorim Bueno

**Auxílio ao monitoramento e controle de perdas de água aparentes: estudo de caso
aplicado a um município de Santa Catarina**

Florianópolis

2022

Natália Amorim Bueno

**Auxílio ao monitoramento e controle de perdas de água aparentes: estudo de caso
aplicado a um município de Santa Catarina**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico
da Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito para a obtenção do grau de Engenheiro
Sanitarista e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Bruno Segalla Pizzolatti

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bueno, Natália Amorim

Auxílio ao monitoramento e controle de perdas de água aparentes : estudo de caso aplicado a um município de Santa Catarina / Natália Amorim Bueno ; orientador, Bruno Segalla Pizzolatti, 2022.

58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Perdas aparentes. 3. Submedição de hidrômetros. 4. Água não faturada. I. Pizzolatti, Bruno Segalla . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Natália Amorim Bueno

**Auxílio ao monitoramento e controle de perdas de água aparentes: estudo de caso
aplicado a um município de Santa Catarina**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 22 de abril de 2022.



Documento assinado digitalmente
Maria Elisa Magri
Data: 27/04/2022 09:45:30-0300
CPF: 044.011.369-50
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof.^a Maria Elisa Magri, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Bruno Segalla Pizzolatti
Data: 26/04/2022 17:52:14-0300
CPF: 034.122.849-47
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Bruno Segalla Pizzolatti, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Fernando Hymno de Souza, Dr.
Avaliador(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Aliatir Silveira Filho
Avaliador(a)
Veolia Environnement S.A.

Dedico este trabalho, em especial, aos meus queridos pais, Luiz e Maria (in memoriam), por todo o apoio e incentivo, e à todos aqueles que contribuíram nessa trajetória.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pela motivação e perseverança a mim concedida, na busca da realização de mais essa etapa da minha vida.

Aos meus amados pais, por me incentivarem a lutar pelos meus objetivos, apoiando-me em todos os momentos. Principalmente, à minha mãe, minha inspiração, que com seu amor incondicional não mediu esforços para me ver crescer até seu último segundo.

Às minhas queridas irmãs que acompanharam-me com todo carinho e atenção.

Em especial, ao meu esposo Gabriel, por compartilhar comigo todos os momentos, com muito amor, paciência e companheirismo durante nossos 15 anos juntos.

A todos os amigos, da vida e da universidade, que sempre estiveram ao meu lado e com carinho animaram-me a seguir adiante.

Ao meu orientador, professor Bruno Segalla Pizzolatti, pela atenção, confiança e apoio para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca Eng. Aliatir Silveira Filho e Eng. Dr. Fernando Hymno de Souza por aceitarem o convite para fazer parte deste momento tão especial.

Aos demais professores da Universidade Federal de Santa Catarina, que acolheram-me, com grande dedicação, contribuindo para o meu aprendizado e formação profissional.

À Universidade Federal de Santa Catarina, em especial, ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, servidores e funcionários, pelo suporte durante todos estes anos de convivência, propiciando uma formação acadêmica de excelência.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada!

RESUMO

Um dos principais desafios das companhias de saneamento é o combate às perdas de água. As perdas de água estão subdivididas em perdas reais e aparentes. A imprecisão de hidrômetros é um dos principais fatores que contribuem para o aumento das perdas aparentes. Esta é causada, principalmente, pelo desgaste natural devido ao tempo de utilização. Para determinação da eficiência de medição, a norma vigente orienta que sejam realizados ensaios a cada 7 anos. Contudo, abordagens alternativas também podem ser aplicadas. Com o objetivo de avaliar as perdas aparentes de um sistema de abastecimento de água, com base na determinação do período ótimo para a troca de hidrômetros, a metodologia utilizada neste estudo foi a análise comparativa de faturamento. Esta utiliza o sistema de informação comercial da companhia para determinação da eficiência de medição através de informações contidas no cadastro de hidrômetros, como por exemplo, o volume faturado, tipo, diâmetro e data de instalação. A análise foi aplicada a um município de Santa Catarina e os dados necessários à pesquisa foram levantados junto ao engenheiro responsável da empresa. Foi selecionada uma amostra de 386 hidrômetros, instalados entre o período de 2016 a 2021, e, a partir dos dados levantados, construída a curva de desempenho da medição. Através da análise de regressão linear da curva, o índice de desempenho da medição obtido foi de 1,7% a.a., valor condizente com os encontrados na literatura. A projeção da submedição mostrou que podem ser atingidos níveis altos de perdas de água e de receita, ao final de 10 anos. Para a análise do período ótimo para a troca de hidrômetros, estes foram divididos em três faixas de consumo. Os resultados obtidos demonstraram menores períodos para troca para hidrômetros de maior consumo, sendo obtido 6 anos para a situação mais otimista. Com isso, considera-se também que, além do tempo de utilização, o volume de água que passa através do hidrômetro também influencia no desgaste das peças. Acredita-se que o método utilizado seja uma alternativa potencialmente viável. Porém, para sua segura aplicação, orienta-se o acompanhamento constante através de novas análises e a necessidade de manter o cadastro comercial da companhia completo e atualizado.

Palavras-chave: Perdas aparentes. Submedição de hidrômetros. Água não faturada. Análise comparativa de faturamento.

ABSTRACT

One of the main challenges for water companies is to combat water losses. The water losses are divided into real and apparent losses. The water meters inaccuracy is one of the main factors that contribute to the increase in apparent losses. This is mainly caused by the natural wear due to time of use. To determine the meter accuracy, the current regulation guides checking every 7 years. However, alternative approaches also can be applied. Aiming to evaluate the apparent losses of a water supply system, based on determination of the optimal period for water meters replacement, the methodology used in this study was the comparative billing analysis. It uses the company's commercial information system to determine the meter accuracy through information contained in the hydrometer register, for example, billed volume, type, diameter and installation date. The analysis was applied to a Santa Catarina's city and the necessary data for the research was supplied by the responsible engineer of the company. A sample of 386 water meters was selected, all installed between 2016 and 2021. From the data collected, the meter degradation profile was constructed. Using linear regression analysis, the meter accuracy degradation rate obtained was 1.7% per year, a value consistent with those found in the literature. The unregistered water volume projection showed that high levels of water and revenue losses can be reached at the end of 10 years. For analysis of the optimal period for the water meters replacement, they were divided into three consumption ranges. The results obtained showed shorter periods for water meters replacement with higher consumption, resulting in 6 years for the most optimistic situation. The method used proved to be a potentially viable alternative. However, for safe application, it's recommended constant monitoring through new analyzes and keeping the commercial billing database company complete and updated.

Keywords: Apparent losses. Meters inaccuracy. Unbilled water. Comparative billing analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sistema de abastecimento de água.....	19
Figura 2 - Pontos frequentes de vazamento em redes de distribuição.....	21
Figura 3 - Pontos frequentes de vazamento em ramais.	21
Figura 4 – Índice de perdas de água por estado do Brasil.	25
Figura 5 – Hidrômetro volumétrico de disco mutante (ou oscilante).....	30
Figura 6 – Hidrômetro velocimétrico de rotor com pás de jato único (monojato).....	30
Figura 7 – Curvas características de hidrômetros de classes metrológicas A, B, C e D (N<15).	32
Figura 8 – Curvas de desempenho de hidrômetros velocimétricos em função do tempo de uso.	35
Figura 9 – Número de hidrômetros obtidos em cada etapa de limpeza dos dados.....	42
Figura 10 – Exemplo de curva de desempenho da medição.	44
Figura 11 – Curva de Desempenho da Medição.	48
Figura 12 – Projeção da micromedição utilizando o IDM calculado.....	50
Figura 13 – Projeção da submedição utilizando o IDM calculado.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação metrológica de hidrômetros de acordo com $Q_{\text{mín}}$ e Q_t (m^3/h).	32
Tabela 2 – Perfil do sistema de abastecimento de água do município.	40
Tabela 3 – Dados sobre vazamentos no sistema de abastecimento de água do município.	40
Tabela 4 – Relatório do balanço hídrico do sistema de abastecimento de água do município.	40
Tabela 5 – Agrupamento de hidrômetros por faixas de consumo.	45
Tabela 6 – Tabela tarifária vigente em 2021.	45
Tabela 7 – Consumo médio por ligação ao longo do tempo de instalação.	47
Tabela 8 – Volume médio mensal por ligação e por faixa de consumo.	49
Tabela 9 – Projeção da micromedição utilizando o IDM calculado (em $\text{m}^3/\text{lig.mês}$).	49
Tabela 10 – Projeção da submedição utilizando IDM calculado (em $\text{m}^3/\text{lig.ano}$).	51
Tabela 11 – Estimativa da perda anual de receita utilizando IDM calculado para usuários conectados somente à rede de abastecimento de água (em $\text{R}\$/\text{lig.ano}$).	52
Tabela 12 – Estimativa da perda anual de receita utilizando IDM calculado para usuários conectados à rede de abastecimento de água e rede de coleta de efluentes (em $\text{R}\$/\text{lig.ano}$). ..	52
Tabela 13 – Idade ótima para substituição dos hidrômetros.	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	18
2.1.1	Perdas de Água	19
2.1.1.1	<i>Perdas Reais</i>	20
2.1.1.2	<i>Perdas Aparentes.....</i>	22
2.1.1.3	<i>Situação Atual.....</i>	23
2.2	SISTEMAS DE MEDIÇÃO	26
2.2.1	Macromedição.....	27
2.2.2	Micromedição.....	29
2.2.2.1	<i>Tipos de Hidrômetros</i>	29
2.2.2.2	<i>Características Metrológicas</i>	31
2.2.2.3	<i>Seleção e Dimensionamento</i>	33
2.3	GESTÃO DAS PERDAS APARENTES POR SUBMEDIÇÃO.....	34
2.3.1	Cálculo do Índice de Desempenho da Medição.....	36
2.3.1.1	<i>Curva de Erros Determinada em Laboratório</i>	37
2.3.1.2	<i>Curva de Erros Estimada ou Adotada.....</i>	37
2.3.1.3	<i>Taxa Constante de Redução da Eficiência de Medição</i>	38
3	METODOLOGIA.....	39
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E SISTEMA DE ESTUDO	39
3.2	SELEÇÃO DA AMOSTRA DE HIDRÔMETROS.....	41
3.3	ANÁLISE DOS DADOS	43

3.3.1	Obtenção da Curva de Desempenho da Medição	43
3.3.2	Estimativa da Submedição.....	44
3.3.3	Determinação do Período Ótimo de Substituição.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.1	CURVA DE DESEMPENHO DA MEDIÇÃO.....	47
4.2	SUBMEDIÇÃO ESTIMADA	49
4.3	IDADE ÓTIMA PARA SUBSTITUIÇÃO DOS HIDRÔMETROS	52
5	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios das companhias de saneamento é o combate às perdas de água. Estas estão subdivididas em perdas reais e aparentes, sendo que as primeiras se referem ao volume não consumido, ou seja, volume perdido nos processos durante o percurso do abastecimento. Já as perdas aparentes referem-se aos volumes consumidos, mas não registrados pelas companhias, devido aos erros de precisão dos hidrômetros, ligações clandestinas, falhas no cadastro comercial, entre outros fatores.

Conforme diagnóstico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2019, a média nacional de perdas de água na distribuição alcançou 39,2% do volume total produzido (BRASIL, 2020). Kingdom, Liemberger e Marin, em 2006, estimaram que, nos países em desenvolvimento, aproximadamente 40% das perdas totais correspondem às aparentes. Porém, novos estudos mostram que houve um significativo aumento desse percentual com relação à estimativa anterior, principalmente, devido ao crescimento da população e expansão dos sistemas de abastecimento de água (LIEMBERGER E WYATT, 2019).

A fim de evitar o desperdício de um recurso tão importante e escasso no planeta, bem como minimizar o prejuízo das companhias de saneamento, torna-se fundamental o gerenciamento adequado do sistema de abastecimento de água, com ações preventivas de monitoramento e controle de perdas. As aparentes geralmente exigem medidas de controle de menor custo quando comparado com as reais, pois não envolvem obras de grande porte, apresentando retorno de investimento mais rápido (BRASIL, 2018).

Um dos principais fatores que contribuem para o aumento das perdas aparentes é a imprecisão do parque de hidrômetros, a qual pode ocorrer por diversas razões, como por exemplo, por dimensionamento incorreto, instalação inadequada, deficiências na manutenção da rede e desgaste natural pelo tempo de uso (BRASIL, 2018).

Pelos motivos expostos é imprescindível não somente a manutenção corretiva, mas também a preventiva, com programação de verificações ou trocas de hidrômetros baseadas no parâmetro do tempo de utilização.

A Portaria nº 295 de 29 de junho de 2018 do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), orienta que esta verificação deve ser feita a cada 7 anos, sendo que o procedimento consiste na realização de ensaios de bancada, em laboratório, com uma amostra de hidrômetros pré-definida. Porém, para isso, é preciso dispor de infraestrutura, tempo e valores significativos para investimento.

Como metodologia alternativa de apoio à gestão de parques de hidrômetros é possível citar a análise comparativa de faturamento, proposta por Arregui *et al.* (2003) e aplicada por diversos autores, assim como Mbabazi *et al.* (2015) e Couvelis e Van Zyl (2015).

Este método baseia-se na determinação da curva de desempenho da medição a partir dos registros de hidrômetros presentes no cadastro comercial das companhias de saneamento, utilizando os dados sobre o volume faturado ou medido, data de instalação e características gerais, como classe metrológica, tipo, diâmetro, entre outras informações.

O município foco deste estudo está entre os dez municípios mais populosos do estado, sendo que sua economia tem como base, principalmente, o setor de serviços. Do total de água encaminhada ao abastecimento do município, a maior parte é captada e comprada da companhia de saneamento do município vizinho. Porém, toda a água captada é tratada em estação de tratamento localizada no próprio município e depois encaminhada aos reservatórios para ser distribuída à população.

O método utilizado neste estudo para quantificação das perdas aparentes por submedição de hidrômetros foi a análise comparativa de faturamento, a qual utiliza o sistema de informação comercial da companhia de saneamento do município. Os dados necessários à esta pesquisa foram levantados junto ao engenheiro responsável da empresa.

A técnica foi aplicada a uma amostra de hidrômetros do município e construída a curva de desempenho da medição. Através da análise de regressão linear da curva, determinou-se o Índice de Desempenho da Medição (IDM), que quantifica a perda de eficiência do hidrômetro ao longo do tempo de utilização. Com isso, foi possível realizar a projeção da submedição do consumo e avaliar o melhor período para a troca dos hidrômetros.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as perdas aparentes em um sistema de abastecimento de água, por meio da análise do período ótimo para substituição de hidrômetros, com base na aplicação de dados de um município de Santa Catarina.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar a curva de desempenho da medição em função do tempo de instalação dos hidrômetros para o município de estudo;
- Estimar a submedição do consumo a partir da curva de desempenho da medição;
- Avaliar o período ótimo para substituição de hidrômetros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA

As várias necessidades dos seres humanos, desde que se formaram as primeiras vilas, fizeram com que surgissem as primeiras obras de abastecimento de água. Dentre os principais usos estavam a dessedentação de animais, irrigação de culturas agrícolas, consumo próprio e higienização. Diversas civilizações antigas desenvolveram mecanismos de captação, tratamento e distribuição da água, com fundamentos que são utilizados até hoje. Porém, atualmente são empregadas novas tecnologias (VICENTINI, 2012).

O abastecimento de água possui relação direta com a demanda por serviços de saúde, pois a água é um dos principais meios de transmissão de doenças infecciosas. Por esse motivo, um sistema de abastecimento deve ser bem planejado e implementado, proporcionando higiene e bem-estar à toda população (TSUTIYA, 2006).

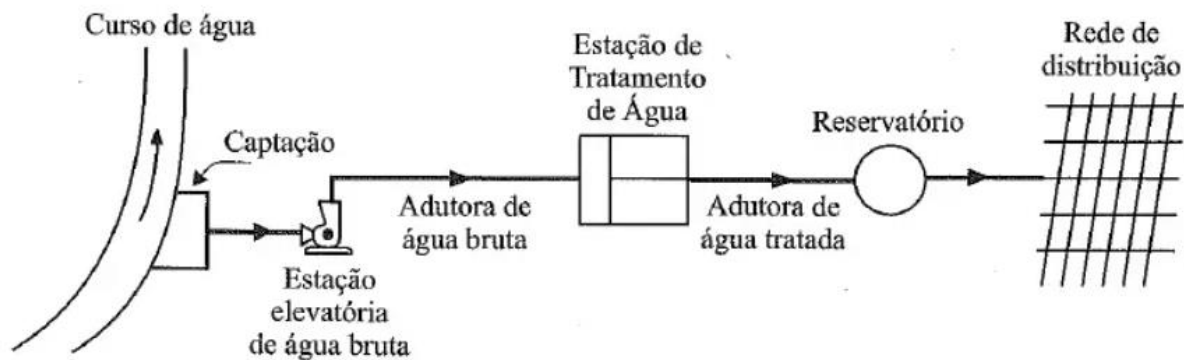
O conjunto de instalações e processos utilizados, desde a captação de água até a sua distribuição nos pontos de consumo, para atender as necessidades em quantidade e qualidade adequadas à população, pode ser definido como sistema de abastecimento de água (VICENTINI, 2012). Segundo Tsutiya (2006), sua concepção envolve inúmeros estudos de natureza técnica, econômica e ambiental, sendo que os principais componentes estão descritos a seguir:

- Manancial: local de onde é retirada a água para abastecimento, podendo ser um corpo d'água superficial ou subterrâneo. A água precisa ser de boa qualidade e fornecer vazão suficiente para atender a demanda prevista em projeto.
- Captação: todas as estruturas e dispositivos utilizados para a retirada da água do manancial, geralmente, instalados e/ou construídos juntos a este.
- Estação elevatória: conjunto de equipamentos e dispositivos que possuem a função de recalcar a água para as etapas seguintes do abastecimento, tanto a água bruta quanto a tratada, garantindo pressão e vazão adequadas para a continuidade do fornecimento.
- Adutoras: canalizações utilizadas para condução da água entre as etapas do abastecimento que precedem a rede de distribuição aos consumidores.

- Estação de Tratamento de Água (ETA): conjunto de unidades de tratamento da água bruta para adequação aos padrões de potabilidade.
- Reservatórios: unidade de armazenamento de água utilizada para regularizar vazões de adução e distribuição, condicionar pressões na rede e, também, para reserva de água para incêndio e outras situações emergenciais.
- Rede de distribuição: conjunto de tubulações e acessórios utilizados para a entrega de água nos pontos de consumo, com qualidade e quantidade adequadas às necessidades dos usuários.

Todos os principais componentes de um sistema de abastecimento descritos anteriormente podem ser vistos através da Figura 1, a seguir.

Figura 1- Sistema de abastecimento de água.



Fonte: TSUTIYA (2006).

As perdas de água são inerentes aos processos em todas as etapas de qualquer sistema de abastecimento, desde a captação até a entrega ao consumidor final. As características da rede, a tecnologia empregada e as práticas operacionais é que determinam o volume de água perdido (SILVA, 2018). Diante da problemática da escassez hídrica e do desperdício dos recursos naturais, operacionais e de receita, a fim de controlar e reduzir as perdas de água é imprescindível uma boa gestão do sistema, com adoção de ações integradas e acompanhamento dos resultados para definição de estratégias (BRASIL, 2020).

2.1.1 Perdas de Água

As perdas de água não estão associadas somente à água produzida que não chegou ao consumidor final. Também deve ser considerada como perda, a água entregue ao usuário, mas não faturada por alguma deficiência técnica ou operacional (TARDELLI FILHO, 2006).

Segundo Silva (2018), o volume de perdas depende das características de cada sistema de abastecimento, as condições da infraestrutura, das práticas de operação e manutenção. As consequências de um sistema ineficiente são o aumento do volume de perdas, que reflete na redução da qualidade do serviço prestado, na desestabilização financeira das companhias e no aumento da tarifa de água faturada, custos repassados ao consumidor final.

De acordo com a *International Water Association* (IWA), as perdas de água que ocorrem em um sistema de abastecimento estão divididas em duas categorias: perdas reais e perdas aparentes (VICENTINI, 2012).

2.1.1.1 Perdas Reais

As perdas reais, também conhecidas como perdas físicas, referem-se ao volume de água produzido que não é entregue ao consumidor final, sendo perdido nas diversas etapas do abastecimento (TARDELLI FILHO, 2006).

Este tipo de perdas está relacionado a vazamentos, visíveis ou não, nas tubulações (recalques, adutoras, redes de distribuição e ramais prediais) e instalações (estação de tratamento, reservatório e elevatórias); extravasamentos em reservatórios; descargas para limpeza ou esvaziamento de redes e adutoras; e pelas perdas no tratamento para limpeza de floculadores, decantadores e filtros, quando utilizados volumes de água superiores ao necessário (BRASIL, 2003).

As principais origens e magnitudes das perdas reais nas diferentes etapas do abastecimento encontram-se no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1 – Perdas Reais: Origem e Magnitude por Subsistema.

	Subsistema	Origem	Magnitude
PERDAS FÍSICAS	Adução de Água Bruta	Vazamentos nas tubulações Limpeza do poço de sucção*	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Tratamento	Vazamentos estruturais Lavagem de filtros* Descarga de lodo*	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional
	Reservação	Vazamentos estruturais Extravasamentos Limpeza*	Variável, função do estado das instalações e da eficiência operacional
	Adução de Água Tratada	Vazamentos nas tubulações Limpeza do poço de sucção* Descargas	Variável, função do estado das instalações e da eficiência operacional

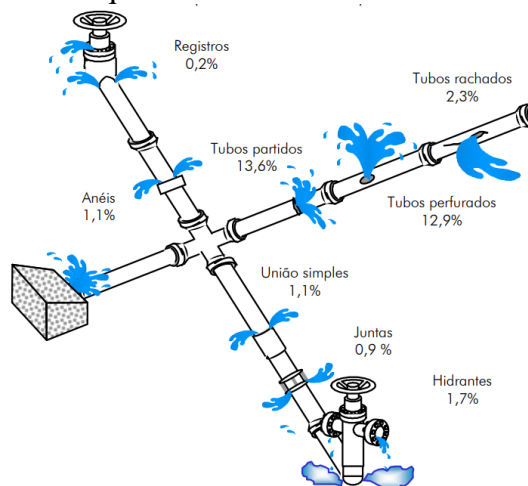
Subsistema	Origem	Magnitude
Distribuição	Vazamentos na rede Vazamentos em ramais Descargas	Significativa, função do estado das instalações e principalmente das pressões

Fonte: BRASIL (2003).

Nota:* Considera-se perdido apenas o volume excedente ao necessário para operação.

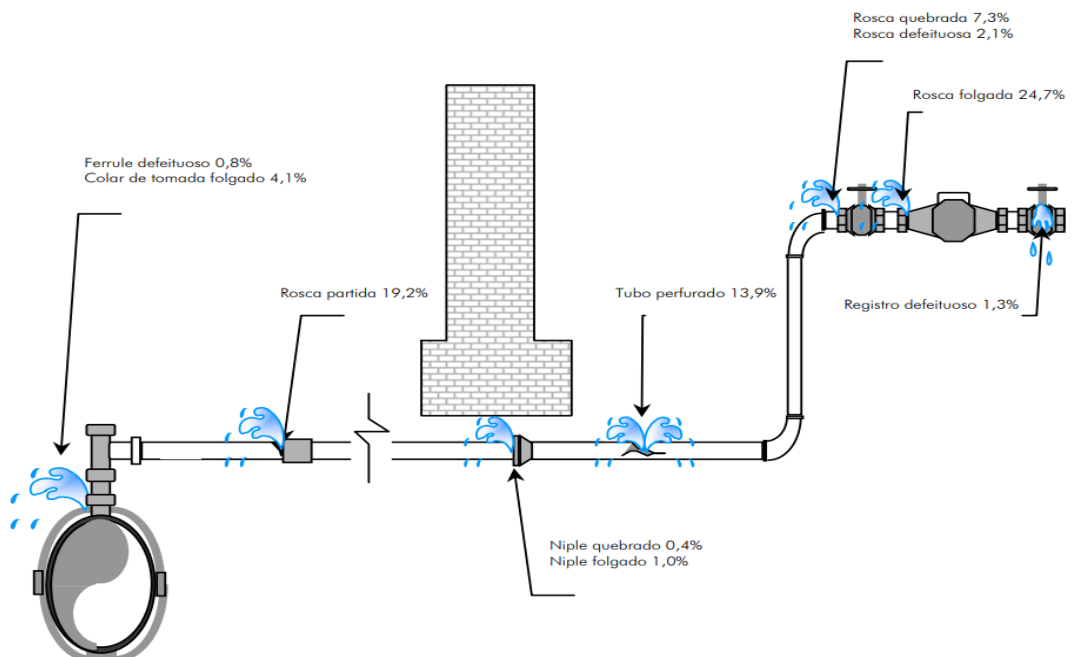
Conforme o Quadro 1, um dos subsistemas com perdas reais mais significativas é a Distribuição. Sendo assim, os pontos frequentes de vazamentos em redes de distribuição e em ramais prediais podem ser vistos nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

Figura 2 - Pontos frequentes de vazamento em redes de distribuição.



Fonte: BRASIL (2003).

Figura 3 - Pontos frequentes de vazamento em ramais.



Fonte: BRASIL (2003).

O controle e redução das perdas reais proporciona uma diminuição dos custos de operação e manutenção do sistema, pois reduz o consumo de energia, insumos químicos e mão-de-obra, por exemplo, além de aumentar a oferta de água tratada sem necessidade de expansão da produção (VICENTINI, 2012).

Um ponto importante a se considerar é a relação das perdas reais com a conservação dos recursos naturais, pois quanto menor o percentual de perdas, menor é a demanda hídrica e a necessidade de ampliação da captação de água. Além disso, a existência de vazamentos deixa a rede de distribuição suscetível à contaminação por agentes nocivos após despressurização do sistema, quando da necessidade de manutenção ou intermitência, sendo um risco à saúde pública (TARDELLI FILHO, 2006).

2.1.1.2 Perdas Aparentes

As perdas aparentes, também conhecidas como não físicas, correspondem ao volume de água consumido, mas não faturado pela companhia de saneamento, sendo os principais motivos a imprecisão dos hidrômetros, falhas comerciais (erros de leitura, por exemplo), ligações clandestinas e fraudes (TARDELLI FILHO, 2006).

As principais origens e magnitudes das perdas aparentes encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2 – Perdas Aparentes: Origem e Magnitude.

	Origem	Magnitude
PERDAS NÃO FÍSICAS	Ligações clandestinas/irregulares Ligações não hidrometradas Hidrômetros parados Hidrômetros que submedem Ligações inativas reabertas Erros de leitura Número de economias errado	Podem ser significativas, dependendo de: procedimentos cadastrais e de faturamento, manutenção preventiva, adequação de hidrômetros e monitoramento do sistema

Fonte: BRASIL (2003).

As perdas aparentes podem ser expressivas e representar 50% ou mais do percentual de água não faturada. Este valor depende de procedimentos comerciais e de faturamento, dimensionamento correto e manutenção preventiva dos hidrômetros, associado a um gerenciamento integrado do sistema (BRASIL, 2003).

O ponto mais difícil é realizar a integração dos setores técnico, comercial e de faturamento, pois envolve o dimensionamento do hidrômetro e acompanhamento para adequação aos consumos observados; a leitura e emissão de contas, associada a uma política de cortes de inadimplentes; e a manutenção preventiva dos hidrômetros, acompanhando o desempenho ao longo do tempo, fazendo análises do consumo, idade e volumes medidos (BRASIL, 2003).

Um sistema de abastecimento com elevado nível de perdas aparentes causa impacto negativo no desempenho financeiro dos prestadores de serviços, com redução dos recursos disponíveis para ampliar a oferta, melhorar a qualidade e realizar manutenção e reposição de infraestruturas (OLIVEIRA; SCAZUFCA; SAYON; OLIVEIRA, 2021).

2.1.1.3 Situação Atual

A perda de água é um problema inerente a qualquer sistema de abastecimento. A principal questão é o bom gerenciamento para controle e monitoramento contínuo do sistema a fim de reduzir as perdas a níveis aceitáveis. Neste caso, a palavra “aceitável” é subjetiva, pois a definição de um nível de perdas aceitável varia de acordo com as condições operacionais e comerciais de cada prestadora de serviço. Esta meta precisa ser definida a partir de uma análise econômico-financeira para determinar se o custo marginal de economizar certo volume de água é igual ao custo marginal de fornecê-lo (KINGDOM; LIEMBERGER; MARIN, 2006).

Em geral, os países em desenvolvimento apresentam níveis maiores de perdas de água. Isto se deve ao fato de, muitas vezes, não haver um gerenciamento adequado do sistema, sendo este implementado e desenvolvido sem planejamento (KINGDOM; LIEMBERGER; MARIN, 2006). Com informações da *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* (IBNET), Oliveira *et al.* (2021) apresenta o índice de perdas para 44 países, cujas populações somadas representam aproximadamente 80% da população mundial. A periodicidade dos dados de cada país varia bastante, sendo alguns de anos recentes e, em outros casos, os valores atuais disponíveis são mais antigos.

Dentre os países analisados por Oliveira *et al.* (2021), o Brasil ficou na 31ª posição, com um índice de perdas de água, em 2019, de aproximadamente 40%. No mesmo ano, a Nigéria apresentou um índice de perdas de 57% e a Tanzânia, de 27%. A China, em 2012, com um índice de 21% e o México, no mesmo ano, com índice de perdas de 24%, demonstram que estão à frente do Brasil. Os três países com menores perdas foram: o Sudão, em primeiro lugar,

com 9% de perdas em 2009; a Austrália, em segundo, com 10% de perdas em 2013; e os Estados Unidos, na terceira posição, com 13% de perdas no ano de 2011.

Em relação à América Latina, Oliveira *et al.* (2021) apresenta o índice de perdas de água a partir de dados da *Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Americas* (ADERASA). O indicador é analisado com base nas perdas ocorridas na rede em relação ao total de água que nela ingressou, com dados de 115 companhias de saneamento distintas, em 10 países latino-americanos.

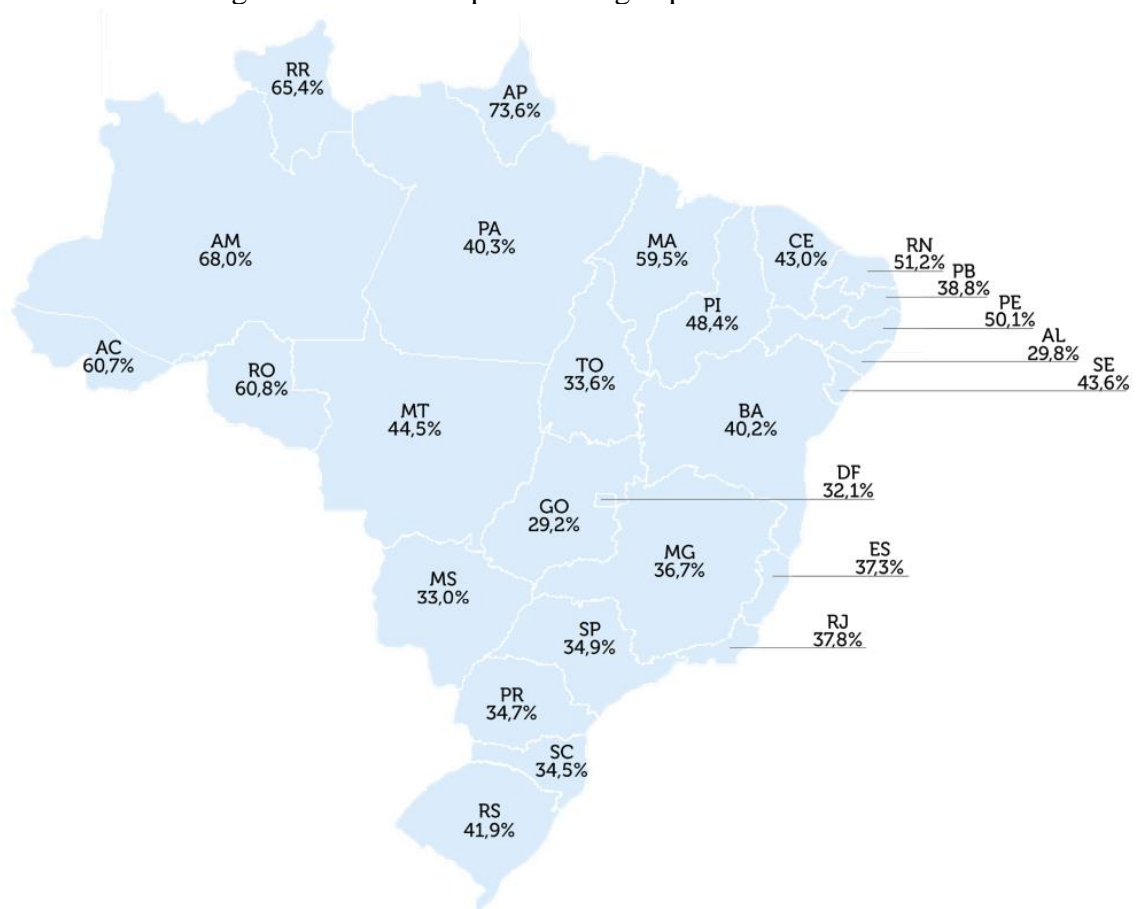
Dentre os países latino-americanos analisados por Oliveira *et al.* (2021), a Colômbia é o país com o nível mais alto de perdas de água, o qual fica em torno de 46%. O Brasil encontra-se em 5º lugar, com aproximadamente 40% de perdas, ficando atrás do Peru, Argentina, Uruguai e Chile. Este último foi o que apresentou melhor nível de perdas de água entre os países latino-americanos analisados, com um valor em torno de 31%.

De acordo com o diagnóstico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2019, a média nacional de perdas de água na distribuição alcançou 39,2% do volume total produzido, após um período de estabilidade de 2012 a 2015, quando estava abaixo de 37%. Se for considerar as perdas por macrorregiões do país, o nível mais alto encontra-se no Norte, com 55,2%, e o nível mais baixo na região Centro-Oeste, com 34,4%. A região Sul, Sudeste e Nordeste apresentam um nível de perdas de 37,5%, 36,1% e 45,7%, respectivamente (BRASIL, 2020).

Com relação aos estados do Brasil, na região Norte, o maior nível de perdas está no Amapá, com 73,6%. Já no Nordeste, as maiores perdas estão no estado do Maranhão, com 59,5%. Na região Sudeste, por pequena diferença do Espírito Santo, o Rio de Janeiro possui o maior índice de perdas, com 37,8%. Já o estado de Mato Grosso possui o maior índice da região Centro-Oeste, com 44,5%. Por fim, na região Sul, o estado do Rio Grande do Sul apresenta o maior índice de perdas (41,9%), sendo que Santa Catarina difere pouco do Paraná, mas ainda é o estado com o menor índice da região (BRASIL, 2020).

A Figura 4, a seguir, mostra o índice médio de perdas por estado, conforme informações apresentadas anteriormente.

Figura 4 – Índice de perdas de água por estado do Brasil.



Fonte: BRASIL (2020).

2.2 SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Um dos instrumentos para o controle e monitoramento das perdas de água no abastecimento é a utilização de sistemas de medição contínua. Estes são utilizados em todas as etapas do abastecimento, desde a captação de água bruta, passando pela adução, tratamento, reservação, distribuição e consumo (BRASIL, 2020).

Em um sistema de abastecimento, além das etapas já citadas, podem existir também pontos de importação e exportação de água, a montante ou a jusante do tratamento, sendo de extrema importância a visão integrada de todos os fluxos e processos a fim de controlar e reduzir as perdas (TARDELLI FILHO, 2006).

Segundo Vicentini (2012), um método muito conhecido e aplicado para determinação das perdas de água é o cálculo através do Balanço Hídrico, que trata-se de medições e estimativas da água produzida, importada, exportada, consumida ou perdida. Tardelli Filho (2006) afirma que a análise através do Balanço Hídrico é uma ferramenta poderosa para a gestão, pois possibilita o estudo de diferentes indicadores de desempenho para acompanhamento e estratégia de ações.

Com intuito de padronizar a abordagem para o cálculo do Balanço Hídrico, a IWA propôs uma matriz onde são apresentadas as variáveis mais importantes para a composição dos fluxos e usos da água (ALEGRE *et al.*, 2004). O Quadro 3, a seguir, mostra a matriz do balanço hídrico e a terminologia recomendada para o cálculo.

Quadro 3 – Matriz do balanço hídrico.

Água de entrada no sistema (inclui água importada)	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (inclui água exportada)	Água faturada
			Consumo faturado não medido	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido	Água não faturada
			Consumo não faturado não medido	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Consumo não autorizado	
			Erros de medição	
		Perdas reais	Vazamentos nas tubulações de adução e distribuição	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e distribuição	
	Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição)			

Fonte: adaptado de ALEGRE *et al.* (2004).

Normalmente, o cálculo do balanço hídrico é feito considerando um período de 12 meses, o que representa a média anual de todos os componentes. As definições de alguns termos utilizados na matriz, segundo Alegre *et al.* (2004), encontram-se a seguir:

- Água de entrada no sistema: volume de água ingressante na parte do sistema de abastecimento analisado, durante o período de referência.
- Consumo autorizado: volume de água, medido ou não medido, fornecido aos usuários autorizados, assim como os consumidores registrados, entidade gestora, volume para combate a incêndio, lavação de ruas, alimentação de fontes etc. Inclui também o desperdício por parte dos consumidores registrados, que não são medidos.
- Perdas de água: diferença entre a água que ingressa no sistema e o consumo autorizado.
- Perdas reais: perdas físicas de água do sistema em pressão, por fissuras ou extravasamentos, até o hidrômetro do consumidor, durante o período de referência.
- Perdas aparentes: abrange todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água produzida e consumida e, também, o consumo não autorizado (exemplo: ligações clandestinas).
- Água não faturada: diferença entre a água que entra no sistema e o consumo autorizado faturado, incluindo além das perdas reais e aparentes, o consumo autorizado não faturado.

Para se efetuar o cálculo do balanço hídrico é necessário realizar medições de vazão em diferentes pontos do sistema de abastecimento. Por este motivo, medidores precisos são indispensáveis. Na ausência destes, estimativas podem ser utilizadas, desde que baseadas em outros dados disponíveis ou em técnicas confiáveis de engenharia (ALEGRE *et al.*, 2004).

Basicamente, os sistemas de medição podem ser divididos em dois grandes grupos: macromedição e micromedição, que serão abordados a seguir.

2.2.1 Macromedição

A macromedição abrange o conjunto de medições realizadas no sistema público de abastecimento, desde a captação da água bruta até a extremidade de jusante da rede de distribuição (BRASIL, 2020).

Utilizados para medição de água bruta captada, medições na entrada de setores de distribuição ou medição de água tratada entregue por atacado a outros sistemas públicos, os macromedidores englobam medidores de maior porte, geralmente, instalados em adutoras. É de grande importância a medição da vazão com qualidade, pois está intimamente relacionada ao faturamento e à gestão eficiente de operação. (Brasil, 2003; Helou e Helou, 2006).

De acordo com Brasil (2003), a macromedição tem por objetivo medir as vazões e pressões, a fim de estimar ou calcular os volumes aportados durante período de interesse específico. Essa avaliação é fundamental para a determinação do nível de desempenho dos diversos subsistemas e para o acompanhamento da evolução destes.

Considerando os diversos subsistemas, algumas considerações sobre a importância da macromedição de vazão (BRASIL, 2003):

- Na adução de água bruta oriunda da captação deve-se considerar a magnitude da vazão captada em relação à disponibilidade hídrica do manancial, respeitando o limite máximo estabelecido pelo órgão que detém o poder de outorga.
- O conhecimento das vazões afluentes à ETA serve para a definição das dosagens de produtos químicos para o tratamento da água. Além disso, a medição da vazão de saída da ETA serve para quantificar a água perdida no processo.
- A magnitude da vazão de adução da água tratada e reservação é condicionada pelas características construtivas e operacionais das estruturas físicas envolvidas, envolvendo avaliação da necessidade de ampliação do sistema, de acordo com as demandas de pico de consumo.
- Na rede de distribuição, as vazões são consideradas de forma conjunta com as pressões, cotas topográficas e outras informações cadastrais que permitem a modelagem do funcionamento da malha. Essa análise permite a quantificação mais detalhada das perdas reais.

Segundo Helou e Helou (2006), as adutoras podem transportar a água através de tubulações em condutos fechados ou em condutos livres. Os tipos de medidores utilizados em condutos livres são as calhas, vertedores, medidores eletromagnéticos e ultrassônicos. Já nos condutos fechados, de acordo com Brasil (2003), as principais categorias de macromedidores são os do tipo turbina, os estáticos ou eletrônicos e os medidores por diferença de pressão.

Conforme afirma Silva (2018), a faixa de variação da precisão de um macromedidor bem instalado e operando em condições de vazão adequadas fica em torno de 0,2% a 2%. Para

evitar imprecisões é preciso realizar o dimensionamento e instalação adequados, efetuar a calibração, instrumentação facilitada, baixa amplitude entre vazões máximas e mínimas, e transmissão de dados confiável, quando utilizada telemetria (SILVA, 2018).

2.2.2 Micromedição

Micromedição refere-se a todas as medições de consumo efetuadas no ponto de abastecimento do consumidor, independente de categoria ou faixa de consumo. Trata-se da medição periódica dos volumes fornecidos aos usuários, base para cobrança e faturamento, através de aparelhos denominados hidrômetros (BRASIL, 2003).

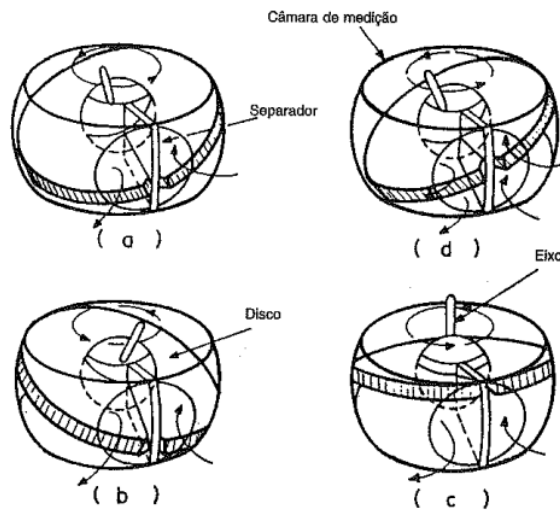
Segundo Shintate, Rego e Gondo (2006), hidrômetros são utilizados para medir e indicar a quantidade de água fornecida pela rede distribuidora a uma instalação predial. São constituídos basicamente por uma câmara de medição, um sistema de transmissão e uma unidade de conversão que registra os volumes escoados em um mostrador.

A utilização de hidrômetros com medição precisa é de suma importância, pois possibilita uma cobrança mais justa do serviço prestado, além de estimular a economia, servindo de inibidor de consumo e fornecendo dados operacionais sobre volume e vazamentos potenciais. Por outro lado, algumas vezes, exigem custos elevados e investimentos para estudo e seleção de modelos, tamanhos e locais de instalação que produzam melhor retorno econômico (BRASIL, 2003).

2.2.2.1 Tipos de Hidrômetros

Os primeiros modelos de medidores para condutos fechados foram os denominados hidrômetros de volume (ou volumétricos), os quais possuem câmaras de volume conhecido, que se enchem e se esvaziam com a passagem da água, de forma contínua e sucessivamente. Estes aparelhos são sensíveis a baixas vazões, apresentando erros menores, e são indicados no combate à fuga e desperdício em ligações domiciliares. Como desvantagem, apresentam maior fragilidade na presença de partículas em suspensão, pois podem travar o movimento da peça móvel na câmara, interrompendo a passagem da água. Os hidrômetros volumétricos mais comuns são o de disco nutante (Figura 5) e o de êmbolo anular rotativo (BRASIL, 2003; SHINTATE, REGO e GONDO, 2006).

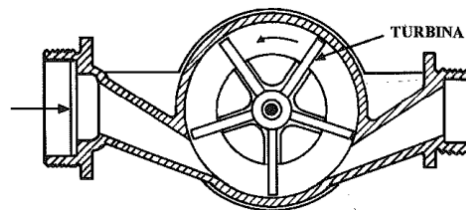
Figura 5 – Hidrômetro volumétrico de disco mutante (ou oscilante).



Fonte: SHINTATE, REGO e GONDO (2006).

Outros modelos muito utilizados na América Latina e Europa, a partir dos anos 40, devido ao custo mais baixo, simplicidade de manutenção e tamanho compacto, foram os hidrômetros de velocidade (ou velocimétricos). Neste tipo de hidrômetro, a velocidade da água que passa através do medidor movimenta um rotor ou turbina, cuja rotação é proporcional à quantidade de água que passa por ele. Quando a entrada da água na câmara que contém o rotor é feita através de um único orifício, denomina-se monojato (Figura 6). Caso possua vários orifícios, este tipo de hidrômetro é chamado de multijato. Mesmo sendo menos sensíveis a baixas vazões, estes aparelhos não apresentam problemas de paralisações, sendo os mais utilizados no Brasil (BRASIL, 2003; SHINTATE, REGO e GONDO, 2006).

Figura 6 – Hidrômetro velocimétrico de rotor com pás de jato único (monojato).



Fonte: SHINTATE, REGO e GONDO (2006).

Há também hidrômetros de velocidade dotados de hélice, utilizados para maiores vazões, como as que ocorrem em estabelecimentos industriais ou edifícios públicos, por exemplo. Esse tipo é conhecido como hidrômetro de hélice ou Woltmann, também muito utilizado no Brasil e na Europa (BRASIL, 2003; SHINTATE, REGO e GONDO, 2006).

Segundo Shintate, Rego e Gondo (2006), os hidrômetros podem ainda ser classificados quanto à disposição do sistema de transmissão, podendo ser totalmente mecânica ou magnética; quanto à disposição dos mecanismos, podendo ser de relojoaria totalmente seca, seca, úmida ou úmida com totalizador imerso em meio próprio; e quanto ao tipo de mostrador, podendo ser de ponteiros, de cilindros ciclométricos e mistos. Além disso, ainda existem outros tipos especiais de hidrômetros: com saída pulsada, eletrônicos, híbridos, eletromagnéticos, com recursos de proteção contra fraude e com configuração especial para leitura frontal (BRASIL, 2003; SHINTATE, REGO e GONDO, 2006).

2.2.2.2 Características Metrológicas

Com o objetivo de melhor entender as características dos hidrômetros, o conhecimento de algumas definições é fundamental. A seguir, são apresentados os conceitos de algumas grandezas:

Vazão nominal (Q_n) – vazão até a qual o medidor pode funcionar de forma satisfatória, sob condições normais de uso (SHANTATE, REGO e GONDO, 2006). Q_n corresponde a 50% da vazão máxima, sendo utilizada para designar o hidrômetro (BRASIL, 2003).

Vazão máxima ($Q_{máx}$) – vazão até a qual o medidor opera, satisfatoriamente, durante um curto espaço de tempo, permanecendo dentro dos limites de erros máximos admissíveis e abaixo do valor máximo da perda de carga (BRASIL, 2003).

Vazão mínima ($Q_{mín}$) – menor vazão que o hidrômetro deve registrar sem que os erros sejam maiores que os máximos admissíveis (SHANTATE, REGO e GONDO, 2006).

Vazão de transição (Q_t) – vazão que define a separação dos campos superior e inferior de medição. A faixa inferior fica entre o limite inferior ($Q_{mín}$) e Q_t e a faixa superior entre Q_t e o limite superior ($Q_{máx}$) (BRASIL, 2003; SHANTATE, REGO e GONDO, 2006).

Conforme Vicentini (2012), os hidrômetros são classificados internacionalmente, em quatro classes metrológicas: A, B, C e D. Estas classes indicam a capacidade do aparelho em

medir com exatidão, dentro dos limites estabelecidos pela vazão mínima e pela vazão de transição. A Tabela 1, a seguir, apresenta as classes metrológicas de acordo com $Q_{\text{mín}}$ e Q_t .

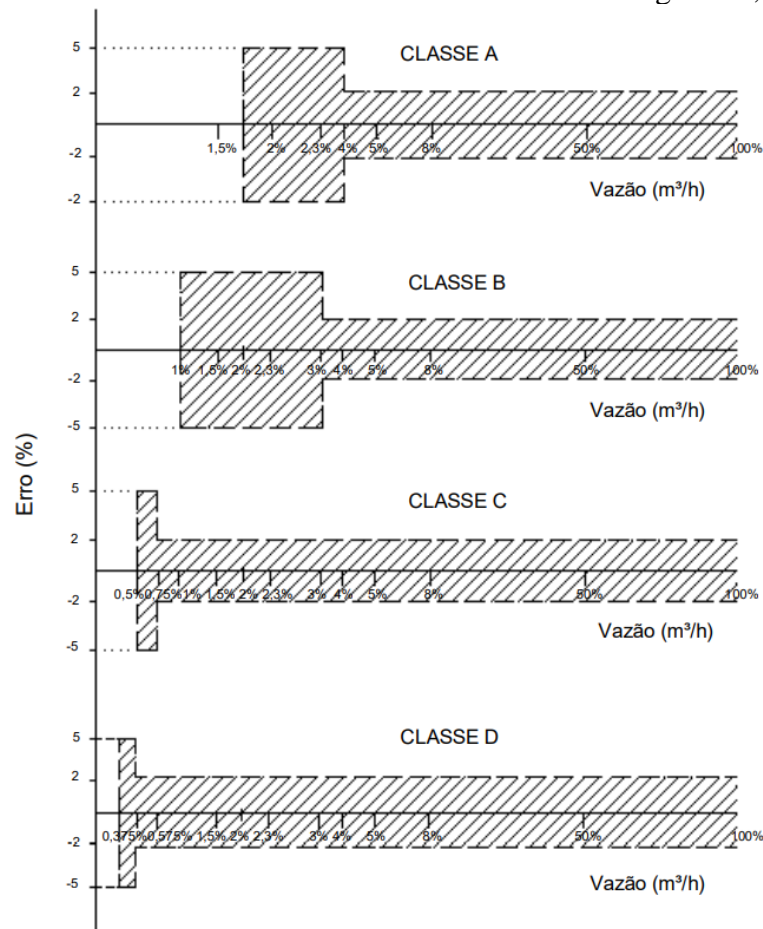
Tabela 1 – Classificação metrológica de hidrômetros de acordo com $Q_{\text{mín}}$ e Q_t (m^3/h).

Classe		Valor numérico da designação N do medidor	
		$N < 15$	$N \geq 15$
A	$Q_{\text{mín}}$	0,04 N	0,08 N
	Q_t	0,10 N	0,30 N
B	$Q_{\text{mín}}$	0,02 N	0,03 N
	Q_t	0,08 N	0,20 N
C	$Q_{\text{mín}}$	0,01 N	0,006 N
	Q_t	0,015 N	0,015 N
D	$Q_{\text{mín}}$	0,0075 N	-
	Q_t	0,0115 N	-

Fonte: CASTRO (2004) apud VICENTINI (2012).

As curvas características de hidrômetros de classe A, B, C e D ($N < 15$) estão apresentadas na Figura 7, a seguir.

Figura 7 – Curvas características de hidrômetros de classes metrológicas A, B, C e D ($N < 15$).



Fonte: adaptado de CASTRO (2004) apud VICENTINI (2012).

Os hidrômetros de classe D iniciam com uma vazão mínima menor e operam, em grande parte do intervalo de trabalho, com erros máximos de 2%. O mesmo comportamento pode ser visto nos hidrômetros de classe C, porém, com uma vazão mínima um pouco maior, e assim sucessivamente para as outras classes. Os medidores mais utilizados para ligações residenciais são os de classe B. Mas, em locais com vazões muito baixas, os hidrômetros de classe C são mais indicados (VICENTINI, 2012).

2.2.2.3 Seleção e Dimensionamento

O hidrômetro a ser instalado para um consumidor é selecionado pelas prestadoras de serviço, com critérios de seleção muitas vezes baseados em experiências de campo ou na evolução das tecnologias existentes no mercado (BOVO *et al.*, 2008).

Para a correta seleção de um hidrômetro, deve-se levar em consideração alguns fatores como: as condições ambientais para instalação, qualidade da água, vazões de consumo, temperatura e pressão (BRASIL, 2003).

O processo envolve a escolha do tipo de hidrômetro, vazão nominal e classe metrológica, sendo este dimensionado com base em suas limitações. Portanto, o correto dimensionamento faz com que, a partir da vazão máxima seja definida a capacidade, e a partir da vazão mínima seja definida a classe metrológica (BRASIL, 2003).

O subdimensionamento de um hidrômetro pode ser causa de submedição, pois faz com que ocorra um desgaste maior do medidor nas vazões máximas. Além disso, a utilização de reservatórios prediais com torneira de boia também possibilita a ocorrência de submedição quando instalado um medidor com vazão mínima muito elevada. Considerando que, neste caso, os medidores passam a operar muito tempo em vazões baixas (BRASIL, 2003).

As principais metodologias utilizadas para o dimensionamento de hidrômetros são:

- Por vazão estimada: método de cálculo da vazão de operação do medidor semelhante aos procedimentos tradicionais de dimensionamento de instalações prediais de água fria. Com tentativa de estimar o grau de simultaneidade de uso de peças de uma instalação, de forma a não superdimensioná-la (BRASIL, 2003);
- Por categoria de consumo: método baseado na estimativa de consumo da instalação em função do tipo de ocupação do imóvel e das características construtivas. Através de

valores tabelados é estimado o consumo e determinada a capacidade do hidrômetro (BRASIL, 2003);

- Por levantamento do perfil de consumo: neste método, um aparelho registrador contínuo de vazão em função do tempo é instalado na entrada do abastecimento do consumidor. Observando-se o comportamento da linha de vazão em função do tempo para período específico, com base nos dados obtidos é escolhido o hidrômetro mais adequado (BRASIL, 2003; BOVO *et al.*, 2008).

Além de todos os cuidados para a seleção e dimensionamento do melhor tipo de hidrômetro para determinado usuário, o acompanhamento do consumo e a manutenção dos medidores são aspectos fundamentais para evitar problemas de submedição.

2.3 GESTÃO DAS PERDAS APARENTES POR SUBMEDIÇÃO

Tão importantes quanto as perdas reais, as perdas aparentes representam parcela significativa das perdas totais em sistemas de abastecimento e, por este motivo, não devem ser subestimadas. Como visto anteriormente, as perdas aparentes correspondem a água de entrada no sistema, que é tratada, distribuída e consumida, porém, que não é registrada pelo faturamento da empresa, como ocorre em fraudes, ligações clandestinas, falhas no cadastro comercial e erros de medição dos hidrômetros.

Uma boa gestão comercial e otimização de procedimentos da companhia de saneamento pode melhorar a questão das fraudes, ligações irregulares e falhas de cadastro. Porém, a imprecisão dos medidores é um problema significativo e de difícil quantificação (CRIMINISI *et al.*, 2009).

Através do estudo de Rizzo e Cilia (2005) percebe-se que a imprecisão dos hidrômetros é o principal aspecto de contribuição para o total de perdas aparentes de um sistema de abastecimento.

Os hidrômetros, em geral, possuem limitações de exatidão, principalmente, quando são submetidos a baixas vazões. As perdas por submedição podem variar de 10 a 30% do volume total consumido e 50% de perdas em termos de custo (FONSECA e COELHO, 2009; ARREGUI *et al.*, 2018).

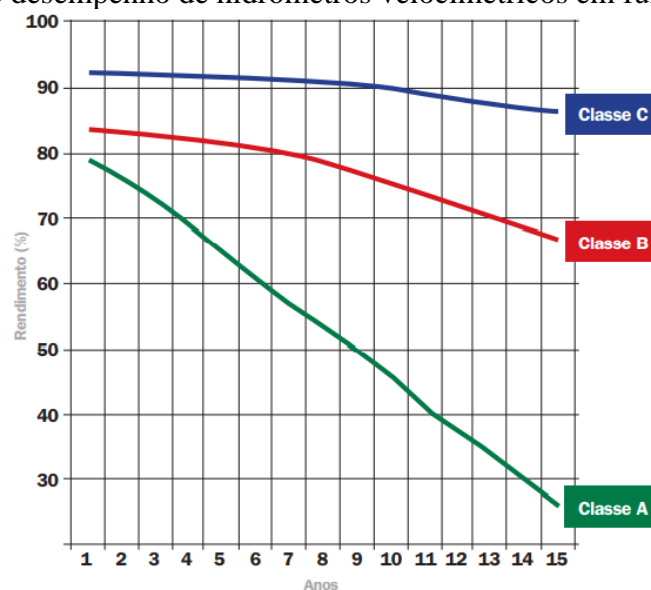
A submedição é o registro de um volume de água inferior ao que realmente escoou pelo hidrômetro do consumidor (SILVA, 2014). Ou seja, o hidrômetro não é capaz de registrar com exatidão toda a água que o atravessa (DEPEXE e GASPARINI, 2013).

Segundo Arregui *et al.* (2006), dentre os aspectos que influenciam no aumento dos erros de medição estão o perfil de consumo, a qualidade da água (presença de sólidos em suspensão), as condições ambientais (clima, por exemplo), posição de montagem, perfil de velocidade, uso sazonal da água e adulteração do medidor. Silva (2014) também aponta a submedição que pode ser causada pelo uso de boia em reservatórios prediais e por pequenos vazamentos a jusante do medidor, assim como uma torneira com gotejamento.

Com tantas variáveis exercendo influência sobre a precisão dos hidrômetros, estes, enquanto aparelhos mecânicos, estão sujeitos ao desgaste natural de suas peças com o passar do tempo. Este efeito de deterioração do medidor com o tempo de uso já foi observado em diversos estudos, tais como em Couvelis e Van Zyl (2015) e Ferréol (2005). Além disso, segundo a Portaria nº 295 do INMETRO (2018), os hidrômetros em uso devem passar por verificações periódicas, em intervalos não superiores a sete anos.

Alguns autores adotam uma taxa linear da redução anual da eficiência de medição (DEPEXE e GASPARINI, 2013). Porém, Nielsen *et al.* (2003) realizou um estudo da eficiência dos hidrômetros velocimétricos de classes metrológicas A, B e C, em função do tempo de instalação, e obteve curvas de desempenho conforme Figura 8. É importante ressaltar que no estudo de Nielsen *et al.* (2003), a amostra envolveu somente residências unifamiliares com abastecimento indireto, consumo mensal de 0 a 30 m³ e hidrômetros com vazão nominal de 1,5 m³/h.

Figura 8 – Curvas de desempenho de hidrômetros velocimétricos em função do tempo de uso.



Fonte: Nielsen *et al.* (2003).

Conforme visto na Figura 8, cada grupo de medidores possui características específicas, se comportando de maneira distinta em diferentes situações. Por este motivo, a análise completa do contexto da cidade, modelos de hidrômetros utilizados, qualidade da água, entre outros aspectos, é de fundamental importância para uma boa gestão e definição de ações estratégicas de combate às perdas de água.

O estudo do rendimento de um parque de hidrômetros, além do ponto de vista financeiro e econômico para a empresa, pode proporcionar estruturas tarifárias mais amplas, com preços mais apropriados, auxílio no cálculo das perdas reais, melhoria das previsões de demanda, melhoria de projetos de redes de distribuição e o estabelecimento de regras de manutenção, seleção, dimensionamento e troca de medidores (NIELSEN *et al.*, 2003).

2.3.1 Cálculo do Índice de Desempenho da Medição

Para a mensuração do desempenho de um parque de hidrômetros, os procedimentos que muitos prestadores de serviço utilizam é a metodologia descrita na Norma ABNT NBR 15.538/2014 – Medidores de Água Potável. Esta norma dá diretrizes para realização de ensaios para avaliação da eficiência de medidores a partir de uma Curva de Desempenho da Medição (BRASIL, 2018; AESBE, 2015).

Segundo a Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento - AESBE (2015), a Curva de Desempenho da Medição expressa a eficiência da medição em função do tempo de instalação do hidrômetro. Esta pode variar de acordo com o tipo de hidrômetro, classe metrológica e vazão nominal. A partir da curva, obtém-se o Índice de Desempenho da Medição (IDM) que varia em função da idade do hidrômetro. Assim, a submedição pode ser determinada através da seguinte equação:

$$S_i = \frac{VM_i}{IDM_i} - VM_i$$

Onde:

S_i é o volume de submedição para a idade i , expressa em m^3 ;

IDM_i é o Índice de Desempenho da Medição para a idade i ;

VM_i é o volume micromedido de um conjunto de ligações com idade i , expresso em m^3 .

Para a construção da curva é aconselhável que os ensaios necessários sejam feitos com amostras de hidrômetros da própria região de interesse. Porém, por questões operacionais, financeiras ou pelo tempo que demanda o processo, muitas vezes, não é viável para a companhia (AESBE, 2015). Então, neste caso, existem procedimentos alternativos que podem ser adotados.

2.3.1.1 Curva de Erros Determinada em Laboratório

O método baseia-se na classificação dos hidrômetros por tempo de instalação, retirando-se do parque uma amostra representativa de cada grupo para determinação da curva de erros em laboratório. Em seguida, conforme procedimento descrito na norma NBR 15.538/2014, faz-se a comparação do perfil de consumo padrão, definido pela norma, com o obtido através da realização de testes de bancada nas vazões médias correspondentes às faixas do perfil. A partir desta análise é possível determinar o erro médio ponderado e, então, o Índice de Desempenho da Medição. Para se obter confiabilidade estatística é necessário testar uma grande quantidade de hidrômetros (MENDES, HANISCH e PEREIRA, 2014; AESBE, 2015).

Ao invés de utilizar o perfil de consumo padrão definido pela norma, uma possibilidade alternativa é o estabelecimento do perfil de consumo através da instalação simultânea de um hidrômetro de grande sensibilidade, dotado de datalogger, capaz de registrar vazões mínimas, por um período não inferior a sete dias (MENDES, HANISCH e PEREIRA, 2014).

2.3.1.2 Curva de Erros Estimada ou Adotada

Na impossibilidade de realizar os ensaios de laboratório de uma amostra representativa de hidrômetros para determinação da curva de erros, uma alternativa é adotar valores de IDM obtidos em outros estudos (AESBE, 2015). Um exemplo são os valores obtidos por Nielsen *et al.* (2003), conforme já apresentado no gráfico da Figura 8. É importante ressaltar que as curvas podem apresentar variações de acordo com as características dos hidrômetros analisados e perfil de consumo adotado.

Uma outra maneira de calcular o desempenho da medição é através da estimativa de eficiência pela análise comparativa de faturamento. Conforme estudo de Arregui *et al.* (2003), o método baseia-se na análise dos dados cadastrais dos consumidores, presentes no sistema

comercial de faturamento da empresa gestora. Para isso, o banco de dados precisa conter informações sobre o modelo, diâmetro e data de instalação dos hidrômetros, e dados sobre o consumo de água, como o período de leitura e volume medido.

Para aplicação da metodologia é feito o agrupamento dos medidores por modelo e idade ou outra variável que torne as características do grupo mais homogêneas. Considerando que a deterioração do hidrômetro pode estar associada ao volume de água que este registrou durante seu tempo de operação, o agrupamento por idade pode ser feito pela data de instalação ou pelo volume total acumulado (ARREGUI *et al.*, 2003).

O objetivo final da análise é determinar, para cada modelo de medidor, a evolução do volume médio anual registrado em função da idade do hidrômetro ou do volume total registrado (ARREGUI *et al.*, 2003). A partir daí, é possível determinar o índice de desempenho da medição para cada modelo analisado e encontrar tendências.

Mbabazi *et al.* (2015) aplicaram a metodologia descrita anteriormente para avaliação dos três principais modelos de hidrômetros mais utilizados na cidade de Campala, capital de Uganda. Neste caso, para determinação da taxa de desempenho da medição, os autores utilizaram uma análise de regressão linear simples.

Depexe e Gasparini (2012) também fizeram uso do método e compararam os resultados obtidos com as curvas de desempenho de Nielsen *et al.* (2003), conseguindo resultados muito similares para hidrômetros de classe B.

2.3.1.3 Taxa Constante de Redução da Eficiência de Medição

A aplicação deste método baseia-se na adoção de uma taxa constante de redução da eficiência de medição, construindo uma curva a partir da eficiência inicial do hidrômetro acrescida de uma taxa fixa de redução anual (AESBE, 2015).

Depexe e Gasparini (2012), em seu estudo, chegam à conclusão que é possível adotar uma taxa de redução da eficiência de medição de 1% ao ano. Já Arregui *et al.* (2010) orientam sobre a adoção de taxas que variam de 0,1% até 0,9%.

Dentre todos os métodos apresentados, este é o menos preciso. Porém, pode ser aplicado com base no conhecimento e experiência dos profissionais que atuam na gestão do parque de hidrômetros (AESBE, 2015).

3 METODOLOGIA

Com o objetivo de avaliar as perdas aparentes de um sistema de abastecimento de água, com base na determinação do período ótimo para a troca de hidrômetros, a metodologia de análise comparativa de faturamento será aplicada ao município em estudo.

Para melhor entendimento, este tópico será apresentado em três partes: caracterização da área de estudo, seleção da amostra de hidrômetros e análise dos dados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E SISTEMA DE ESTUDO

O município de Santa Catarina, onde será aplicado o estudo, está entre os dez municípios mais populosos do estado, tendo um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) considerado alto, com valor entre 0,700 e 0,799 (SEBRAE, 2019).

Conforme Sebrae (2019), a economia do município baseia-se, principalmente, no setor de serviços, com grande número de microempresas contribuindo para a geração da maior parte das ofertas de trabalho. Em segundo lugar, encontra-se o setor de comércio que também contribui fortemente para a geração de emprego, seguido pelos setores de construção civil e indústria. Além disso, o turismo também possui bastante influência na economia local.

Com relação à infraestrutura, em 2010, o percentual de domicílios atendidos com abastecimento de água girava em torno de 91%. Já o tratamento adequado dos efluentes abrangia aproximadamente 76% da população e a coleta de resíduos sólidos feita em cerca de 99% das residências (SEBRAE, 2019).

Segundo diagnóstico do SNIS emitido em 2021, no estado de Santa Catarina, o índice de atendimento urbano com redes de água é de 98%. Portanto, o município foco do estudo encontra-se um pouco abaixo da média do estado. Sobre as redes de esgoto, o estado apresenta um índice de cobertura de 30,4%. Nesse aspecto, o município possui maior cobertura. Já com relação à coleta de resíduos domiciliares, nos centros urbanos da região sul do Brasil a cobertura é de 99,3%. Logo, o município acompanha a média da região (BRASIL, 2021).

Do total de água encaminhada ao abastecimento, parte é captada no município vizinho e outra parte é captada no próprio município. Porém, toda a água captada é tratada em estação de tratamento localizada no próprio município e depois encaminhada aos reservatórios para ser distribuída à população.

Os serviços de distribuição de água e tratamento de esgoto do município são realizados por empresa contratada pelo Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE). Conforme levantamento de dados junto ao engenheiro responsável da empresa, o perfil do sistema de abastecimento de água do município, referente ao ano de 2019 e 2020, encontra-se na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Perfil do sistema de abastecimento de água do município.

Parâmetro	Unidade	Valor referente a 2019	Valor referente a 2020
Volume de entrada de água potável nas redes	10 ³ m ³	14.870,17	15.042,10
Soma dos volumes de água produzidos (já tratada)	10 ³ m ³	903,71	912,01
Soma dos volumes de água comprados (já tratada)	10 ³ m ³	13.966,46	14.130,09
Comprimento da rede de água potável	km	585	600
Tipo de abastecimento	-	Contínuo	Contínuo
Número de ligações de água potável	-	50.504	52.944
Taxa de clientes com hidromedidação	%	93,58	94,87
Número de clientes	-	53.179	55.184
Número de hidrômetros cadastrados	-	49.764	52.351

Fonte: Companhia de saneamento do município, 2021.

A empresa também realiza o acompanhamento dos vazamentos e o cálculo do balanço hídrico do sistema de abastecimento de água do município. Estes dados também foram levantados junto à companhia de distribuição e estão apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Dados sobre vazamentos no sistema de abastecimento de água do município.

Parâmetro	Unidade	Valor referente a 2019	Valor referente a 2020
Número de falhas reparadas nas tubulações	-	2.961	2.942
Taxa de falhas em tubulações	a cada 100 km	506,15	490,33
Número de falhas reparadas nas ligações	-	8.678	6.452
Taxa de falhas nas ligações	a cada 1.000 ligações	171,83	121,86

Fonte: Companhia de saneamento do município, 2021.

Tabela 4 – Relatório do balanço hídrico do sistema de abastecimento de água do município.

Parâmetro	Unidade	Valor referente a 2019	Valor referente a 2020
Consumo medido faturado	10 ³ m ³	11.494,79	11.977,57
Consumo não medido faturado	10 ³ m ³	87,57	297,77
Consumo medido não faturado	10 ³ m ³	70,06	64,05
Consumo não medido não faturado	10 ³ m ³	6,23	5,43
Consumo não autorizado	10 ³ m ³	1.001,77	1.012,30
Imprecisões de medição	10 ³ m ³	539,42	656,53
Consumo autorizado	10 ³ m ³	11.658,65	12.344,82
Consumo autorizado faturado	10 ³ m ³	11.582,36	12.275,34
Consumo autorizado não faturado	10 ³ m ³	76,29	69,48
Perdas de água	10 ³ m ³	3.211,52	2.697,27
Perdas reais	10 ³ m ³	1.670,33	1.028,44
Perdas aparentes	10 ³ m ³	1.541,19	1.668,83
Volume de água não faturado	10 ³ m ³	3.287,81	2.766,75

Parâmetro	Unidade	Valor referente a 2019	Valor referente a 2020
Volume de água faturado	10 ³ m ³	11.582,36	12.275,34
Perdas de água por ligação	m ³ /lig.dia	0,17	0,14
Perdas de água por km	10 ³ m ³ /km	5,49	4,50
Índice de perdas lineares	m ³ /km/dia	15,04	12,32

Fonte: Companhia de saneamento do município, 2021.

Os dados mostram que as perdas aparentes são bastante significativas no sistema de abastecimento em estudo, principalmente, no ano de 2020, em que pode ser observado um aumento destas, representando mais de 50% das perdas de água totais. Na próxima etapa estão apresentadas as variáveis utilizadas no estudo e os critérios para limpeza e seleção dos dados.

3.2 SELEÇÃO DA AMOSTRA DE HIDRÔMETROS

O método utilizado neste estudo para quantificação das perdas aparentes por submedição de hidrômetros foi a análise comparativa de faturamento, a qual utiliza o sistema de informação comercial da companhia de saneamento do município. Portanto, os dados necessários à esta pesquisa foram levantados junto ao engenheiro responsável da empresa.

Conforme Arregui *et al.* (2003), para aplicação desta metodologia é importante obter uma amostra homogênea, de forma a garantir que variáveis externas não influenciem nos resultados, como por exemplo, a qualidade da água, as características de consumo ou a classe econômica dos usuários. Então, a fim de evitar interferências, a etapa inicial de grande importância no processo é a organização, seleção e agrupamento de dados.

A partir do levantamento de dados do cadastro comercial da companhia de saneamento, referentes ao período de 2010 a 2021, o número total de registros encontrados foi de 50.704 hidrômetros. Para que fossem aplicáveis ao estudo, todos os dados selecionados continham informações sobre as seguintes variáveis: número de matrícula, bairro, identificação do hidrômetro, data de instalação, marca, tipo, classe metrológica, diâmetro, capacidade, desempenho e volume mensal faturado.

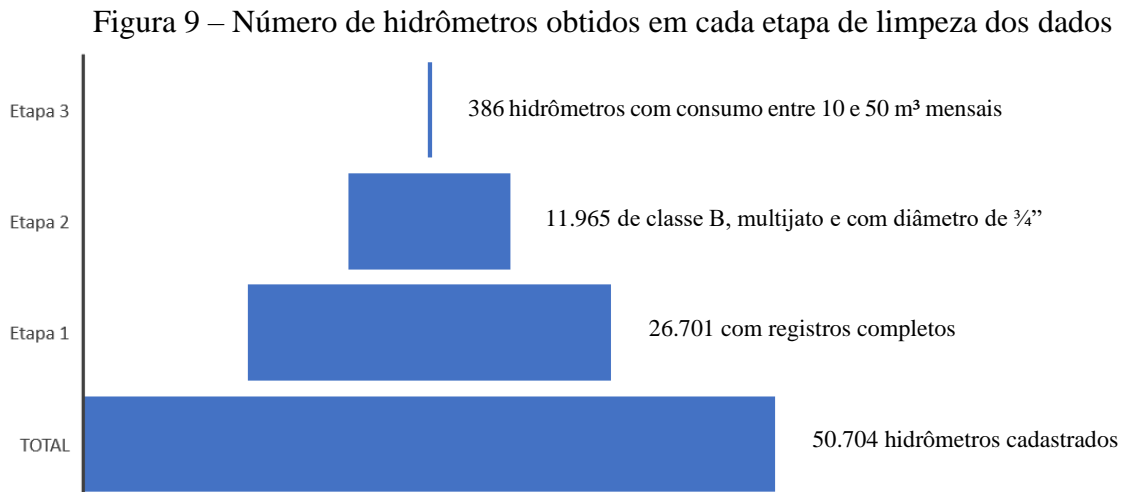
Para melhores resultados, também foi solicitado junto à empresa, as leituras dos hidrômetros cadastrados para o cálculo do volume medido. Porém, pela quantidade de dados demandada e o tempo disponível para tratamento, não foi possível realizar esta análise, sendo uma limitação deste estudo.

De acordo com Depexe e Gasparini (2012), que utilizaram em sua pesquisa somente hidrômetros de classe B com consumo entre 11 e 50 m³ mensais, e Arregui (2003), que orienta

o agrupamento de medidores por características de consumo que tornem o grupo mais homogêneo, da população total de hidrômetros foram selecionados apenas os do tipo multijato, classe metrológica B, diâmetro de $\frac{3}{4}$ " e consumo entre 10 e 50 m³ mensais.

É importante ressaltar que não foram considerados valores menores e iguais a 10 m³ mensais, pois este é o volume mínimo de cobrança do faturamento. Também não foram incluídos no estudo valores de consumo acima de 50 m³ mensais, pois, conforme Gasparini e Tino (2017), estes são considerados grandes consumidores e há critérios diferentes para renovação dos hidrômetros desta categoria de consumo.

Na primeira etapa de organização dos dados realizou-se a exclusão de todos os registros incompletos, ou seja, os cadastros que não possuíam todas as informações necessárias ao estudo, resultando em um total de 26.701 hidrômetros, o que representa 52,7% do total cadastrado. Em seguida, foram selecionados apenas os hidrômetros de classe metrológica B, do tipo multijato e diâmetro de $\frac{3}{4}$ ", obtendo-se um total de 11.965 hidrômetros, 23,6% do total cadastrado. Na terceira e última etapa foram aplicadas as restrições para seleção de hidrômetros com consumo entre 10 e 50 m³ mensais. A Figura 9, a seguir, mostra o número de hidrômetros obtidos em cada etapa do processo de limpeza descrito.



Fonte: Elaboração própria.

Como resultado final obteve-se uma amostra de apenas 386 hidrômetros, que corresponde a somente 0,8% do total cadastrado, sendo estes analisados conforme o método apresentado no próximo tópico.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

3.3.1 Obtenção da Curva de Desempenho da Medição

O passo inicial para análise da submedição de uma amostra de hidrômetros é a determinação do Índice de Desempenho da Medição. Este índice é obtido a partir da Curva de Desempenho da Medição, a qual expressa a eficiência dos hidrômetros em função do tempo de instalação. A metodologia adotada neste estudo foi a construção da curva de erros estimada através da análise de regressão linear simples dos dados de consumo dos hidrômetros em função do seu tempo de instalação.

A partir do levantamento e seleção dos dados, determina-se o volume anual médio para cada ligação, considerando um período específico, que no caso deste estudo é de 2016 a 2021. A seguir, realiza-se o agrupamento dos hidrômetros de acordo com o tempo de instalação (0, 1, 2, ..., n anos), sendo que o ano 0 corresponde a hidrômetros instalados em menos de 365 dias.

Para cada grupo de hidrômetros, ou seja, para cada ano do período analisado, calcula-se o volume médio através do somatório dos valores obtidos anteriormente para cada ligação. O volume médio de cada ano é dividido pelo número de ligações ativas no respectivo ano, então, torna-se possível traçar a curva de desempenho da medição. Para se obter valores em porcentagem basta determinar o volume médio total, somatório de todos os anos, e dividir o volume médio de cada ano por este valor. Então, torna-se possível construir a curva com os valores percentuais de variação do volume em função do tempo de instalação.

De acordo com Depexe e Gasparini (2012), a resultante da regressão linear, o coeficiente angular da reta resultante corresponde à taxa de redução da eficiência de medição ou chamado Índice de Desempenho da Medição.

Mbabazi *et al.* (2015) aplicaram este método em seu estudo e informam que o modelo resultante possui a forma da seguinte equação:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

Onde:

x é a idade total do medidor;

y é o volume anual faturado;

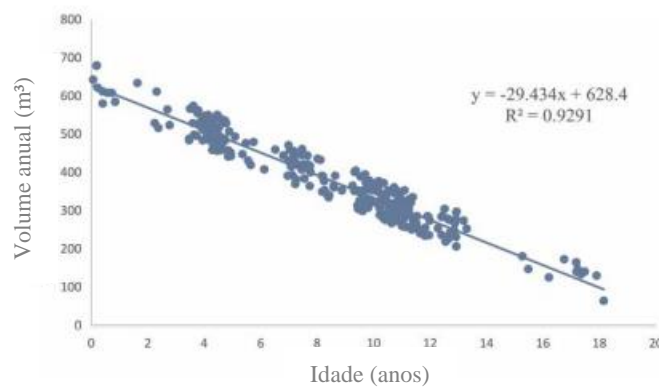
β_j ($j = 0, 1$) são os coeficientes da regressão.

Segundo Mbabazi *et al.* (2015), o Índice de Desempenho da Medição (IDM) pode então ser calculado através da seguinte equação:

$$IDM = \frac{\beta_1}{\beta_0}$$

A Figura 10 apresenta um exemplo de curva de desempenho da medição obtida por Mbabazi *et al.* (2015) em seu estudo.

Figura 10 – Exemplo de curva de desempenho da medição.



Fonte: Mbabazi *et al.* (2015).

3.3.2 Estimativa da Submedição

Após a determinação do IDM, a próxima etapa é a estimativa da submedição dos hidrômetros. Para isso, aplicou-se o método utilizado por Depexe e Gasparini (2012) em sua pesquisa, o qual consiste no agrupamento dos medidores por faixas de consumo de até 30 m³/mês. Neste estudo de caso, a maior parte dos hidrômetros analisados encontra-se na faixa de 10 a 25 m³/mês. Portanto, a análise foi feita sobre este intervalo.

Aplicando os critérios pré-estabelecidos, obteve-se um total de 11 hidrômetros cadastrados com data de instalação do ano de 2021 (ano 0). É importante ressaltar que nesta análise são utilizados apenas os hidrômetros instalados no ano mais recente, ou seja, com a melhor condição de micromedição (idade inferior a 1 ano).

Segundo a metodologia aplicada por Depexe e Gasparini (2012), as perdas aparentes devido à eficiência inicial do medidor não são consideradas nesta etapa. Isto porque, mesmo que nunca tenha sido utilizado, nenhum equipamento possui eficiência igual a 100%.

Do total de 11 hidrômetros instalados no ano de 2021, aplicando a restrição de consumo de até 25 m³/mês, obteve-se como resultado o cadastro de 10 hidrômetros, que foram subdivididos em faixas, conforme mostra a Tabela 5, a seguir.

Tabela 5 – Agrupamento de hidrômetros por faixas de consumo.

Faixa de consumo	Volume (m ³ /mês)	Número de ligações
1	>10 até 15	5
2	>15 até 20	3
3	>20 até 25	2

Fonte: Elaboração própria.

Tendo conhecimento do consumo médio mensal no ano de 2021 para cada hidrômetro analisado, calcula-se o volume médio por ligação para cada faixa de consumo. Em seguida, a partir do IDM calculado, efetua-se a projeção da micromedição para os anos subsequentes.

Partindo da projeção dos volumes micromedidos, a diferença destes em relação ao volume da condição inicial, resulta na projeção das perdas aparentes causadas pela submedição dos hidrômetros para determinado período.

3.3.3 Determinação do Período Ótimo de Substituição

Por fim, a última etapa do processo é a determinação do período ótimo para a substituição dos hidrômetros. Os volumes submedidos calculados podem ser convertidos em valores financeiros através da aplicação da tarifa de água utilizada pela companhia de saneamento do município.

Vale destacar que nos locais em que há rede de coleta de efluentes, no caso da companhia foco deste estudo, o valor percentual cobrado na fatura sobre o efluente coletado é de 80% do valor da tarifa de água. A Tabela 6, a seguir, apresenta as faixas e valores de tarifas, do tipo Residencial Normal, aplicadas pela companhia no ano de 2021.

Tabela 6 – Tabela tarifária vigente em 2021.

Faixa de consumo (m ³ /mês)	Água (R\$/m ³)	Coleta de efluente (R\$/m ³)
< 10	3,8221	3,0577
11 a 25	7,0399	5,6319
26 a 50	9,7781	7,8225
acima de 51	12,077	9,6616

Fonte: Companhia de saneamento do município, 2021.

Outro importante custo levado em consideração nesta análise são os custos iniciais de aquisição, instalação e despesas administrativas relacionadas à substituição dos medidores. Neste estudo, o valor adotado para o custo de substituição de um hidrômetro com as especificações descritas é de R\$ 220,65, o qual foi informado pela própria companhia de saneamento do município.

De acordo com Arregui *et al.* (2011), os custos iniciais são pagos quando os hidrômetros são comprados e instalados, ou seja, demanda um investimento no ano recente. Já os custos gerados pela água não faturada são distribuídos no tempo e, por este motivo, devem ser convertidos ao valor presente através de uma taxa de desconto. No caso desta análise, a Taxa Mínima de Atratividade considerada foi de 12% a.a., conforme valor utilizado por Depexe e Gasparini (2012) em seu estudo.

Em seguida, a partir da tarifa de água da respectiva faixa de consumo, obtém-se o valor financeiro correspondente aos volumes submedidos de cada período. Estes são valores que deixarão de ser arrecadados pela companhia de saneamento do município. Para converter os valores referentes aos anos subsequentes a valores recentes utiliza-se a seguinte fórmula:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

Onde:

VPL é o Valor Presente Líquido;

FC_t é o Fluxo de Caixa no período t ;

i é a taxa de juros (custo do capital);

t é o enésimo período de tempo analisado;

n é o número de períodos.

Concluindo esta etapa, efetua-se a acumulação dos valores presentes calculados ano a ano e admite-se que o primeiro ano acumulado em que o valor presente resultante seja superior ao investimento inicial de aquisição e instalação do hidrômetro é a idade ótima para sua substituição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CURVA DE DESEMPENHO DA MEDIÇÃO

Para melhores resultados na construção da curva de desempenho da medição a partir do método utilizado, é importante o acesso a um longo histórico de consumo, a fim de avaliar corretamente o comportamento da eficiência dos hidrômetros ao longo dos anos.

No caso deste estudo, por limitações de cadastro, no qual faltavam informações nos registros de hidrômetros mais antigos, a análise foi feita considerando somente o período de 2016 a 2021. A Tabela 7, a seguir, apresenta os dados de consumo médio por ligação de acordo com o tempo de instalação dos hidrômetros analisados.

Tabela 7 – Consumo médio por ligação ao longo do tempo de instalação.

Tempo de instalação (anos)	Número de ligações	Volume total (m³)	Volume/ligação (m³/lig.)
0 (2021)	386	7.413,79	19,21
1 (2020)	375	7.229,17	19,28
2 (2019)	338	6.445,17	19,07
3 (2018)	278	5.070,33	18,24
4 (2017)	90	1.608,17	17,87
5 (2016)	85	1.519,28	17,87

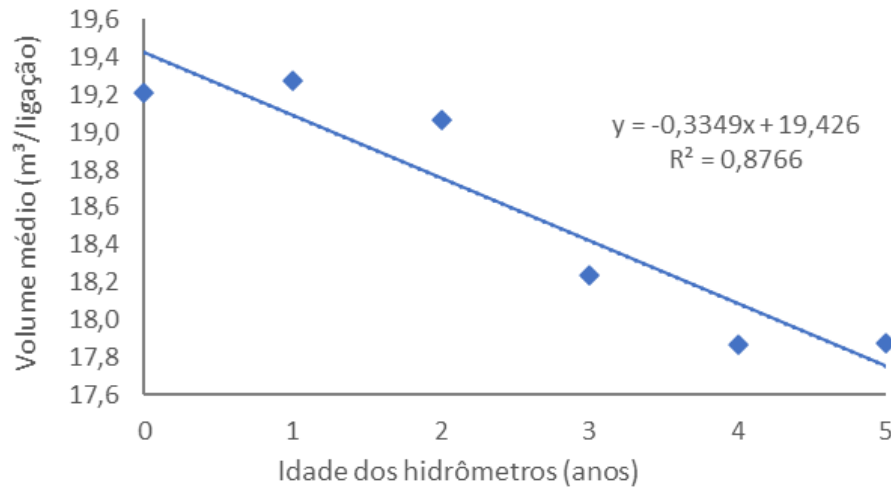
Fonte: Elaboração própria.

Tendo como referência o ano de 2021 (ano 0), o tempo de instalação de 5 anos corresponde a todos os medidores instalados no ano de 2016, totalizando 85 ligações da amostra de hidrômetros analisada. Com tempo de instalação de 4 anos, houve um aumento de 5 ligações, correspondendo a um total de 90 hidrômetros instalados no ano de 2017. No ano de 2018 (tempo de instalação de 3 anos) ocorreu o aumento mais significativo no número de ligações da amostra de medidores analisada, sendo acrescidos 188 medidores, correspondendo ao total de 278 hidrômetros instalados.

A partir destes resultados verifica-se que os hidrômetros com maior tempo de instalação registram um menor volume por ligação ativa de água. Ou seja, o volume registrado e o tempo de instalação dos hidrômetros possuem uma relação inversamente proporcional, fato já observado na literatura da área.

Desse modo, a curva de desempenho da medição pode ser traçada, sendo apresentada através da Figura 11, a seguir.

Figura 11 – Curva de Desempenho da Medição.



Fonte: Elaboração própria.

O comportamento do consumo médio por ligação ao longo do tempo, verificado através dos dados que constam na Tabela 7, agora pode ser visualizado através da Figura 11. Com aplicação do modelo de regressão linear e análise através da equação da reta ajustada, verifica-se que o consumo médio diminui $0,3349 \text{ m}^3$ a cada ano. Conforme aplicação da metodologia, obteve-se o valor de IDM igual a 1,7% a.a.

O mesmo índice verificado por Nielsen *et al.* (2003), para hidrômetros de classe B, do tipo multijato, com vazão nominal de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, semelhantes aos analisados neste estudo, foi de aproximadamente 1,2% a.a. Já Depexe e Gasparini (2012) encontraram o valor de IDM de 1,04% a.a. para hidrômetros com especificações semelhantes. Mbabazi *et al.* (2015) obteve um índice igual a 1,45% a.a. para hidrômetros do tipo multijato.

Portanto, comparando com os valores encontrados na literatura, acredita-se que o índice obtido seja aceitável, uma vez que a perda de eficiência do medidor também depende de outros fatores além da idade do hidrômetro.

Mesmo se tratando de hidrômetros semelhantes, a diferença observada pode estar relacionada com outros fatores que também influenciam no desempenho da medição, como por exemplo, a localidade em estudo, perfil de consumo dos usuários, qualidade da água, dimensionamento e modo de instalação dos medidores.

4.2 SUBMEDIÇÃO ESTIMADA

Conhecendo o valor do Índice de Desempenho da Medição (IDM), então, foi feita a estimativa da submedição dos hidrômetros. Esta análise teve como referência o ano de 2021, que possui as melhores condições de micromedição. Primeiramente, os resultados do cálculo do volume médio mensal por ligação para cada faixa de consumo analisada podem ser visualizados na Tabela 8, a seguir.

Tabela 8 – Volume médio mensal por ligação e por faixa de consumo.

Faixa de consumo	Volume (m³/mês)	Número de ligações	Consumo médio mensal por ligação (m³/lig.mês)
1	>10 até 15	5	12,40
2	>15 até 20	3	15,89
3	>20 até 25	2	22,59

Fonte: Elaboração própria.

É importante ressaltar que para a análise foram considerados somente os hidrômetros instalados no ano de 2021 com consumo de até 25 m³/mês, totalizando 10 ligações. Porém, como visto anteriormente, ao todo foram instalados 11 hidrômetros neste ano, sendo uma das ligações desconsiderada por apresentar volume médio mensal maior que a faixa analisada.

Os resultados apresentados na Tabela 8 mostram que a maior parte dos medidores instalados em 2021 possuem consumo na Faixa 1, correspondendo a, aproximadamente, 45,5% do total de 11 hidrômetros registrados. Em segundo lugar, encontra-se a Faixa 2, que corresponde cerca de 27,3% do total. Na Faixa 3 foram classificados apenas 2 hidrômetros.

Devido a maior parte dos hidrômetros registrarem consumo entre 10 e 25 m³/mês, optou-se pela análise somente dos medidores deste intervalo de consumo, totalizando 10 hidrômetros, que correspondem a 90,9% do total instalado no ano de 2021.

Tendo como referência o ano de 2021, fez-se a projeção da micromedição por faixa de consumo, utilizando o IDM calculado. Os resultados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Projeção da micromedição utilizando o IDM calculado (em m³/lig.mês).

Período (anos)	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3
0	12,40	15,89	22,59
1	12,19	15,62	22,20
2	11,98	15,35	21,82
3	11,77	15,09	21,44
4	11,57	14,83	21,07
5	11,37	14,57	20,71
6	11,17	14,32	20,35
7	10,98	14,07	20,00

Período (anos)	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3
8	10,79	13,83	19,66
9	10,61	13,59	19,32
10	10,42	13,36	18,98

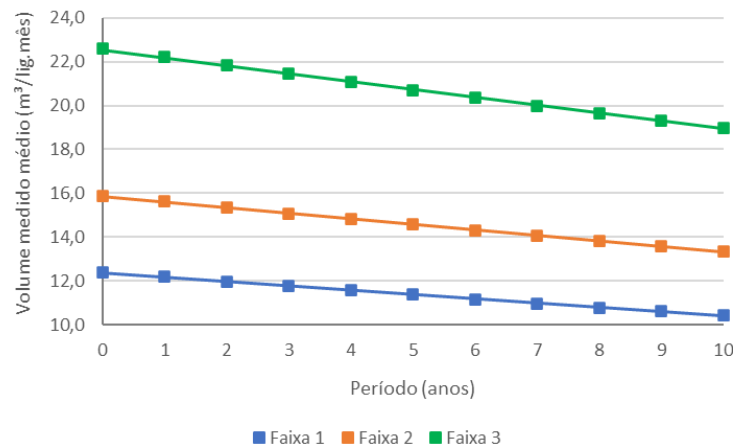
Fonte: Elaboração própria.

Os resultados obtidos mostram que, com tempo de instalação de 10 anos, para a Faixa 1, o volume registrado pelo hidrômetro pode diminuir quase 2,0 m³/mês. E para as Faixas 2 e 3, os volumes registrados podem diminuir cerca de 2,5 e 3,6 m³/mês, respectivamente.

Essa diminuição do volume registrado pelo hidrômetro pode ocasionar prejuízos financeiros para a empresa, uma vez que a tarifa de água é definida através de faixas de consumo. Ou seja, ao ter um menor consumo registrado, o usuário pode vir a ser classificado em faixas de cobrança menores, reduzindo assim a arrecadação.

O gráfico da Figura 12, a seguir, demonstra a projeção da micromedicação apresentada na Tabela 9.

Figura 12 – Projeção da micromedicação utilizando o IDM calculado.



Fonte: Elaboração própria.

A redução no volume médio registrado pelos hidrômetros, cuja projeção está apresentada através da Figura 12, pode ser entendida como a expectativa de aumento das perdas aparentes por submedição ao longo dos anos.

A partir da projeção do volume micromedido, obteve-se a projeção da submedição para o período estudado. Tendo em vista que as perdas aparentes devido à eficiência inicial do medidor não são consideradas nesta etapa, os resultados obtidos para o volume submedido por ligação ao longo de um ano estão apresentados na Tabela 10, a seguir.

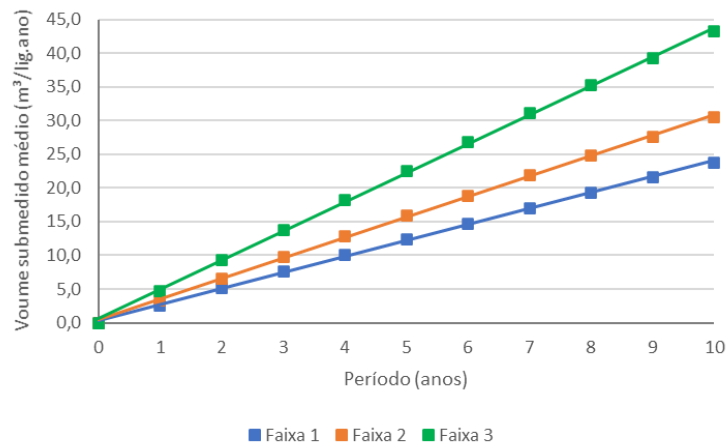
Tabela 10 – Projeção da submedição utilizando IDM calculado (em m³/lig.ano).

Período (anos)	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3
0	0,00	0,00	0,00
1	2,57	3,29	4,67
2	5,09	6,52	9,27
3	7,57	9,69	13,78
4	10,00	12,82	18,22
5	12,39	15,88	22,57
6	14,75	18,90	26,86
7	17,06	21,86	31,07
8	19,33	24,77	35,21
9	21,56	27,63	39,27
10	23,76	30,44	43,27

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que, para o tempo de instalação de 10 anos na Faixa 1, a expectativa de submedição por ligação é de 23,76 m³/ano. E para as Faixas 2 e 3, a expectativa de submedição por ligação fica em 30,44 e 43,27 m³/ano, respectivamente. A projeção realizada pode ser também visualizada através do gráfico da Figura 13, a seguir.

Figura 13 – Projeção da submedição utilizando o IDM calculado.



Fonte: Elaboração própria.

A projeção da submedição apresentada através da Figura 13 pode ser entendida como o volume que deixará de ser registrado pelo hidrômetro a cada ano devido à perda de eficiência com o tempo de uso. Este volume pode ser convertido em valores de receita que a empresa deixará de arrecadar durante o período.

4.3 IDADE ÓTIMA PARA SUBSTITUIÇÃO DOS HIDRÔMETROS

A partir dos volumes submedidos é possível determinar a idade ótima para a substituição dos hidrômetros. A estimativa da perda de receita por ligação, durante o período analisado (valores já atualizados para o valor presente), para os usuários conectados somente à rede de abastecimento de água, está apresentada na Tabela 11, a seguir.

Tabela 11 – Estimativa da perda anual de receita utilizando IDM calculado para usuários conectados somente à rede de abastecimento de água (em R\$/lig.ano).

Período (anos)	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3
0	-	-	-
1	16,13	20,67	29,37
2	44,68	57,25	81,38
3	82,58	105,83	150,43
4	127,33	163,17	231,92
5	176,83	226,62	322,10
6	229,43	294,01	417,90
7	283,75	363,62	516,84
8	338,70	434,05	616,94
9	393,44	504,20	716,64
10	447,29	573,20	814,72

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se verificar através dos dados apresentados que a perda de receita por ligação, ocasionada pelo uso de um mesmo hidrômetro por 10 anos, pode chegar a R\$ 447,29 para a primeira faixa de consumo, R\$ 573,20 para a Faixa 2 e a R\$ 814,72 para a Faixa 3.

Comparando os valores obtidos, com o custo inicial de substituição de um hidrômetro de R\$ 220,65, verifica-se que a idade ótima para a troca deste é de 6 anos para a Faixa 1, 5 anos para a Faixa 2 e 4 anos para a Faixa 3.

Para usuários que estão conectados à rede de abastecimento de água e à rede de coleta de efluentes, os resultados obtidos a partir da estimativa da perda anual de receita utilizando o IDM calculado encontram-se na Tabela 12, a seguir.

Tabela 12 – Estimativa da perda anual de receita utilizando IDM calculado para usuários conectados à rede de abastecimento de água e rede de coleta de efluentes (em R\$/lig.ano).

Período (anos)	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3
0	-	-	-
1	29,03	37,20	52,87
2	80,42	103,06	146,48
3	148,65	190,50	270,77
4	229,19	293,71	417,46
5	318,30	407,91	579,78
6	412,97	529,23	752,22

Período (anos)	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3
7	510,74	654,52	930,31
8	609,67	781,30	1.110,50
9	708,19	907,56	1.289,96
10	805,11	1.031,76	1.466,50

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar que, neste caso, a perda de receita por ligação no último ano do período analisado aumentou para R\$ 805,11 em hidrômetros na primeira faixa de consumo, R\$ 1.031,76 para a Faixa 2 e a R\$ 1.466,50 para a Faixa 3.

Sobre a idade ótima de substituição do hidrômetro, verifica-se que diminuiu para 4 anos para as Faixas de consumo 1 e 2, e para 3 anos para a Faixa de consumo 3.

Em resumo, a idade ótima de substituição dos hidrômetros para todos os casos analisados pode ser verificada através da Tabela 13, a seguir.

Tabela 13 – Idade ótima para substituição dos hidrômetros.

Faixa de consumo	Volume (m³/lig.mês)	Idade Ótima para Troca de Hidrômetros	
		Usuários: Água	Usuários: Água + Efluente
1	>10 até 15	6 anos	4 anos
2	>15 até 20	5 anos	4 anos
3	>20 até 25	4 anos	3 anos

Fonte: Elaboração própria.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo auxiliar o processo de gerenciamento e controle das perdas aparentes em um sistema de abastecimento de água de um município de Santa Catarina, com foco na imprecisão do volume registrado pelos hidrômetros.

Para isso, a metodologia de análise escolhida foi uma abordagem alternativa ao procedimento convencional. O principal motivo da escolha do método foi o fato de se tratar de uma técnica que não exige longo tempo e investimento, baseando-se na análise do cadastro comercial de hidrômetros que constam no banco de dados de faturamento da empresa.

Algumas vantagens relacionadas a esta metodologia são a possibilidade de acompanhamento frequente do desempenho do parque de hidrômetros, permite a fácil comparação entre os diversos modelos, pode-se comparar diferentes períodos de faturamento, identificar outras variáveis que afetam a precisão, como por exemplo, a qualidade da água, perfil de consumo, condições de instalação, entre outras.

Porém, para a segura aplicação da técnica, é preciso ter cuidado com algumas questões, assim como: necessidade de um banco de dados completo e atualizado; o método é sensível aos erros de leitura; identificação de todas as variáveis que tenham influência no desempenho da medição e, para melhorar a confiabilidade, deve-se utilizar o maior número de hidrômetros possível para a análise.

Sobre a utilização do método neste estudo, ressalta-se a dificuldade no agrupamento de características para seleção de uma amostra homogênea de hidrômetros. Pois, na maioria dos testes efetuados para construção da curva de desempenho da medição, o coeficiente de determinação não era satisfatório. Por este motivo, a amostra de hidrômetros analisada foi pequena, quando comparada ao número total de registros levantados.

Acredita-se que o Índice de Desempenho da Medição calculado seja aceitável, mesmo resultando em um valor um pouco mais alto, quando comparado aos obtidos a partir da literatura. Porém, considera-se que a comparação de índices não seja viável, tendo em vista que há inúmeros fatores que também podem influenciar nos resultados obtidos, assim como a localidade de estudo, o perfil de consumo dos usuários, qualidade da água, dimensionamento e condição de instalação dos hidrômetros.

Os valores de volumes submedidos projetados demonstraram que é possível ter níveis altos de perdas de água, caso não haja uma gestão correta do parque de hidrômetros ao longo do tempo. Afinal, os resultados apresentados correspondem a valores por ligação,

representando uma quantidade significativa quando considerado o número total de ligações da amostra. Isto reflete na perda anual de receita pela empresa, podendo causar prejuízos financeiros e, conseqüentemente, o aumento da tarifa de água.

Sobre a idade ótima de substituição dos hidrômetros foi obtido o período máximo de 6 anos quando se trata de usuários da menor faixa de consumo, conectados apenas à rede de abastecimento água. O INMETRO orienta sobre verificações periódicas de hidrômetros em intervalos não superiores a 7 anos. Portanto, conclui-se que, em geral, a partir deste período, os hidrômetros podem apresentar um maior desgaste, influenciando diretamente no seu desempenho. Considera-se também que, além do tempo de utilização, o volume de água que passa através do hidrômetro também influencia no desgaste das peças. Então, entende-se que, por este motivo, as faixas de consumo maiores resultaram em um intervalo menor para a troca.

Apesar das dificuldades encontradas, acredita-se que o método utilizado seja uma alternativa potencialmente viável. Para segura aplicação por outras empresas, orienta-se sobre a necessidade de desenvolvimento de seus bancos de dados, a fim de mantê-los atualizados e completos para utilização.

No caso deste estudo, para garantia da confiabilidade nos resultados, recomenda-se o acompanhamento dos próximos dados de faturamento para novas análises e confirmação dos resultados encontrados. Outra possível alternativa é a realização da avaliação do desempenho do parque de hidrômetros através da abordagem tradicional para comparação de técnicas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO (AESBE). **Guia Prático de Procedimentos para Estimativa de Submedição no Parque de Hidrômetros**. Brasília: Série Balanço Hídrico. 2015. 3 v.
- ALEGRE, H. *et al.* **Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água**. Tradução de Patrícia Duarte, Helena Alegre e Jaime Melo Baptista. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2004.
- ARREGUI, F. J. *et al.* **Management Strategies for Optimum Meter Selection and Replacement**. London: IWA Publishing, 2003. p 143-152. 3 v.
- ARREGUI, F. J. *et al.* **Reducing Apparent Losses Caused By Meters Inaccuracies**. London: IWA Publishing, 2006.
- ARREGUI, F. J. *et al.* **Calculating the Optimum Level of Apparent Losses due to Water Meter Inaccuracies**. São Paulo: IWA Water Loss Conference, 2010.
- ARREGUI, F. J. *et al.* **Graphical Method to Calculate the Optimum Replacement Period for Water Meters**. Journal of Water Resources Planning and Management: 2011. p. 143-146.
- ARREGUI, F. J. *et al.* **Calculation Proposal for the Economic Level of Apparent Losses (ELAL) in a Water Supply System**. Basel: Water, 2018.
- BOVO, A. *et al.* **Guia Prático – Técnicas para Controle e Redução de Perdas Aparentes – Processo Comercial**. Volume 6. São Paulo: 2008. 139 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Caderno Temático 3 Perdas Aparentes: ações de assistência técnica em redução e controle de perdas de água e uso eficiente de energia elétrica**. Brasília: SNSA/Ministério das Cidades, 2018. 76 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Documento Técnico de Apoio: Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água (DTA A2)**. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília: 2003.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Documento Técnico de Apoio: Macromedição (DTA D2)**. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília: 2003.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Documento Técnico de Apoio: Micromedição (DTA D3)**. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília: 2003.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral ano de referência 2020**. Brasília: SNS/MDR, 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos: Visão Geral ano de referência 2020**. Brasília: SNS/MDR, 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Do SNIS ao SINISA: Informações para planejar o Abastecimento de Água**. Brasília: SNS/MDR, 2020.

COUVELIS, F. A; VAN ZYL, J. E. **Apparent losses due to domestic water meter under-registration in South Africa**. 5. ed. Lynnwood: Water Research Commission, 2015. 41 v.

CRIMINISI, A. *et al.* **Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply**. London: IWA Publishing. Water Science & Technology, 2009.

DEPEXE, M. D; GASPARINI, R. R. **Determinação de Taxas Anuais de Redução da Eficiência da Medição de Hidrômetros**. In: 23º Encontro Técnico AESABESP. São Paulo: 2012.

DEPEXE, M. D; GASPARINI, R. R. **Estimativas de Submedição de um Parque de Hidrômetros a partir de Taxas Anuais de Redução da Eficiência de Medição**. In: 24º Encontro Técnico AESABESP. São Paulo: 2013.

FERRÉOL, E. **How to Measure and Reduce the Water Meter Park Inefficiency?** Halifax: Conference Proceedings of Leakage 2005, 2005.

FONSECA, P; COELHO, A. C. **Manutenção de hidrômetros - um problema econômico**. In: 25º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2009. Recife – PE, Anais. Rio de Janeiro - RJ: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009. 11 p.

GASPARINI, R. R; TINO, J. K. **Estimativa da Redução da Eficiência de Medição de Hidrômetros a partir de Inventário de Volume Micromedido e de Número de Ligações**. São Paulo: Congresso ABES, Fenasan, 2017.

HELOU, L. C; HELOU, G. C. N. Equipamentos de Medição. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. cap 6. p. 209-216.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Portaria nº 295**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. Brasília: 2018.

KINGDOM, B; LIEMBERGER, R; MARIN, P. **The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. How the Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting**. Washington, DC: The World Bank, 2006.

LIEMBERGER, R; WYATT, A. **Quantifying the global non-revenue water problem**. London: IWA Publishing, 2019. p 831-837.

MBABAZI, D. *et al.* **Determination of domestic water meter accuracy degradation rates in Uganda**. London: IWA Publishing, 2015.

MENDES, E. L; HANISCH, W. S; PEREIRA, R. A. **Método para Estimativa de Volumes Submedidos em Parques de Hidrômetros por Meio da Avaliação da Taxa de Decaimento de Consumo por Regressão Linear**. São Paulo: 14º Congresso Resag Enqualab, 2014.

NIELSEN, M. J. *et al.* **Experimentação e amostragem combinadas para o cálculo do rendimento de parque de medidores de água**. 19 ed. Curitiba: Sanare. Revista Técnica da Sanepar. 2003. p. 26-40. 19 v.

NIELSEN, M. J. *et al.* **Medição de água: estratégias e experimentações**. Curitiba: Sanepar. 2003. 218 p.

OLIVEIRA, G. *et al.* **PERDAS DE ÁGUA 2021 (SNIS 2019): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico**. São Paulo: GO Associados, 2021. 71 p.

RIZZO, A; CILIA, J. **Quantifying Meter Under-Registration Caused by the Ball Valves of Roof Tanks (for Indirect Plumbing Systems)**. Halifax: Conference Proceedings of Leakage 2005, 2005.

SEVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Cadernos de Desenvolvimento de Santa Catarina**. Florianópolis: 2019.

SHINTATE, L; REGO, A. C; GONDO, J. Y. Hidrômetros. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. cap 11. p. 543-560.

SILVA, C. M. **Análise das perdas de água em um sistema público de abastecimento: enfoque na influência da classe metrológica e do tempo de uso dos hidrômetros**. 106 f. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2014.

SILVA, S. C. A. **Implementação de Medidas de Controlo de Perdas de Água em Sistemas Urbanos de Abastecimento**. 91 p. Dissertação (Mestrado). Coimbra: Curso de Gestão Sustentável do Ciclo Urbano da Água, Universidade de Coimbra, 2018.

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

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

VICENTINI, L. P. **Componentes do Balanço Hídrico para Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**. 196 p. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.