



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

LUDMILA COSTA DE AGUIAR

**AVALIAÇÃO DE PERDAS APARENTES DE ÁGUA POTÁVEL POR ERROS DE
MEDIÇÃO EM HIDRÔMETROS DE ECONOMIAS DA GRANDE VITÓRIA-ES**

VITÓRIA
2019

LUDMILA COSTA DE AGUIAR

**AVALIAÇÃO DE PERDAS APARENTES DE ÁGUA POTÁVEL POR ERROS DE
MEDIÇÃO EM HIDRÔMETROS DE ECONOMIAS DA GRANDE VITÓRIA-ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, na área de concentração em Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Edumar Ramos Cabral Coelho
Co-orientador: Ricardo Franci

VITÓRIA
2019

LUDMILA COSTA DE AGUIAR

**AVALIAÇÃO DE PERDAS APARENTES DE ÁGUA POTÁVEL POR ERROS DE
MEDIÇÃO EM HIDRÔMETROS DE ECONOMIAS DA GRANDE VITÓRIA-ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Sato, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável.

Aprovada em ___ de _____ de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a D.Sc. Edumar Ramos Cabral Coelho
Orientadora- PPGES/ CT/ UFES

Prof. D. Ing. Ricardo Franci Gonçalves
Coorientador- PPGES/ CT/ UFES

Prof. D. Sc. Daniel Rigo
Examinador Interno- PPGES/ CT/ UFES

Prof. D. Sc. Diogo Costa Buarque
Examinador Externo- PPGES/ CT/ UFES

AGRADECIMENTOS

Aos professores e a secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo.

À professora Edumar Ramos Cabral Coelho, pela leveza, confiança e apoio durante esta jornada.

Ao professor Ricardo Franci, pela ajuda, suporte e confiança durante esta caminhada.

Aos meus pais e irmã, Francesca, Rafael e Luana que me acompanharam neste período.

Ao meu namorado, Vinicius, que me deu o apoio necessário.

À CESAN, concessionária de abastecimento de água em 52 municípios do ES, que se dispusera a participar da pesquisa e que contribuíra para a realização deste projeto.

Ao colaborador da concessionária, Leonardo Carreta Zamborlini, pelo apoio e sabedoria ao conduzir o estudo.

Aos meus amigos pelo companheirismo e amizade.

E a todos que durante o curso contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Você não está atrasado.
Você não está adiantado.
Você está no tempo certo.

RESUMO

No Brasil, o índice de perdas em sistemas de abastecimento de água médio é de aproximadamente 38%. As perdas são compostas pelas parcelas de perda física e perda aparente. A perda física ou real se caracteriza pela dissipação de água no sistema. As perdas aparentes são representadas pelas perdas de faturamento. Há grande necessidade de novos investimentos no setor, para uma expansão da cobertura e melhorias nos sistemas existentes, evidenciando a importância da busca por eficiência de utilização dos recursos disponíveis. O aumento do controle na distribuição de água contribui para a minimização de perdas. Dentro da parcela de perdas aparentes, existem as perdas que acontecem devido a erros de medição. Diante disto, constata-se a necessidade de garantir que o desempenho dos hidrômetros seja mantido em níveis adequados. Neste trabalho são apresentados resultados de aplicações de metodologia do INMETRO para avaliação de erros de medidores. Identificar e quantificar as perdas é uma iniciativa essencial para a implementação de ações de combate e controle de perdas de água potável. Também aplica-se a metodologia proposta pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para a quantificação de perdas por erros de medição em hidrômetros. Os dados foram fornecidos pela Concessionária CESAN, da região metropolitana da Grande Vitória, e os ensaios de hidrômetros retirados da região foram realizados em seu laboratório de hidrômetros certificado pelo INMETRO. Os resultados permitem concluir que o desgaste dos medidores existe, é relevante, e as discussões do estudo corroboram esta afirmação. Ao avaliar a tendência de decréscimo do índice de desempenho de medição do parque, percebe-se a relação entre as variáveis desempenho e idade. O uso de métodos de estimativa de perda para auxílio ao gerenciamento e controle no sistema de abastecimento, permite tangibilizar as perdas, e contribui para a evolução do gerenciamento do parque.

Palavras-chave: Perdas de água. Perdas aparentes. Perdas de faturamento. Micromedição. Submedição. Sobremedição.

ABSTRACT

In Brazil, the average water loss rate in water supply systems is approximately 38%. Water Losses are formed by the real and apparent losses. Real losses are characterized by water dissipation in the system. Apparent losses are represented by billing losses. There is a great need for new investments in the area, to expand coverage and improve existing systems, highlighting the importance of searching for efficient use of available resources. Increased control of water distribution contributes to minimizing losses. Within the apparent loss share, there are losses that occur due to metering errors. Given this, there is a need to ensure that the performance of water meters are reaching appropriate levels. This paper presents the results of INMETRO (Brazilian metrology institute) methodology applications for meter error evaluation. Identifying and quantifying losses is an essential initiative for the implementation of actions to control and reduce water losses. The methodology proposed by ABNT is also applied for the quantification of losses due to metering errors. The data were provided by CESAN, from the Greater Vitoria metropolitan region, and the water meter tests were performed in an INMETRO-certified water meter laboratory. The results allow to conclude that the wear of the meters exists, is relevant, and the study discussions corroborate this statement. When evaluating the tendency of the park's measurement performance to decrease, the relationship between the performance and age variables can be noticed. The use of loss estimation methods to aid management and control in the supply system allows for tangible losses and contributes to the evolution of park management.

Keywords: Water Losses. Apparent water losses. Non Revenue Water. Metering. Submetering. Overmetering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Nomenclaturas do balanço hídrico.....	34
Figura 02 – Balanço Hídrico Brasil SNIS 2017 (m ³)	36
Figura 03 - Metas para saneamento básico nas macrorregiões e no País (em %) ...	36
Figura 04 - Fluxograma de Perdas aparentes	38
Figura 05 – Indicadores de perda da IWA.....	41
Figura 06 - Fórmulas dos indicadores de perdas aparentes da IWA.....	42
Figura 07 - Fluxo de Processos de Controle de Perdas aparentes.	43
Figura 08 – Foto de um hidrômetro mostrando a numeração	45
Figura 09 – Nomenclatura dos Hidrômetros.....	45
Figura 10 – Numeração dos Hidrômetros	46
Figura 11 – Hidrômetro Unijato	47
Figura 12 - Princípio de funcionamento Unijato.....	47
Figura 13 – Hidrômetro Multijato	48
Figura 14 – Princípio de funcionamento Multijato.....	48
Figura 15 – Hidrômetro Woltman	49
Figura 16 – Hidrômetro Volumétrico.....	50
Figura 17 – Princípio de funcionamento Volumétrico	50
Figura 18 – Hidrômetro Ultrassônico.....	51
Figura 19 – Hidrômetro em posição inclinada	55
Figura 20 – Tolerâncias para hidrômetros em uso	60
Figura 21 – IDM para as duas amostras – Amostra A sem filtro, B com filtro.	61
Figura 22 – Dimensionamento de hidrômetro pelo consumo	62
Figura 23 – Aplicativo de redimensionamento de Hidrômetros	63
Figura 24 - Comparação do erro de medição entre hidrômetros de variados tipos, modelos e idades	64

Figura 25 – Mudanças da nomenclatura nas vazões características do hidrômetro	66
Figura 26 – Fluxograma da metodologia	68
Figura 27 – Mapa da Região Metropolitana da Grande Vitória	69
Figura 288 - Critérios de reflexão para elaboração de um plano de manutenção do parque de hidrômetros	73
Figura 29 – Leitura do Hidrômetro	74
Figura 30 - Classes de hidrômetros e correspondentes valores das vazões mínima ($Q_{mín}$) e vazão de transição (Q_t)	79
Figura 31 – Bancada de ensaios	80
Figura 32 – Laboratório de ensaios	82
Figura 33 – Perfil de consumo para diferentes tipos de edificações	85
Figura 34 – Perfil de consumo medido proposto no Brasil	86
Figura 35 - Vazões para teste para cada faixa de vazão	106
Figura 36 - IDM de acordo com o tempo e classe de medidores velocimétricos	110
Figura 37 - Referência de decaimento de desempenho dos HD's	111
Figura 38 - Curva de erros máximos admissíveis	116

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Levantamento de hidrômetros existentes no Parque em Ago/2019	78
Gráfico 02 - Curva de erros de HD's com 1 ano.....	93
Gráfico 03 - Curva de erros de HD's com 2 anos.....	94
Gráfico 04 - Curva de erros de HD's com 3 anos.....	95
Gráfico 05 - Curva de erros de HD's com 4 anos.....	96
Gráfico 06 - Curva de erros de HD's com 5 anos.....	97
Gráfico 07 - Curva de erros de HD's com 6 anos.....	98
Gráfico 08 - Curva de erros de HD's com 7 anos.....	99
Gráfico 09 - Curva de erros de HD's com 8 anos.....	100
Gráfico 10 - Curva de erros de HD's com 9 anos.....	101
Gráfico 11 - Curva de erros de HD's com 10 anos.....	102
Gráfico 12 - Curva de erros de HD's com mais de 10 anos	104
Gráfico 13 - Porcentagem de hidrômetros reprovados, por idade e vazão	105
Gráfico 14 – Idade x IDM	108
Gráfico 15 - Correlação linear Idade x Erro ponderado.....	117
Gráfico 16 - Correlação linear Idade x Erro do hidrômetro em vazão mínima.....	118
Gráfico 17 - Correlação linear Idade x Somatória erros absolutos	119
Gráfico 18 - Correlação linear Volume x Erro ponderado.....	120
Gráfico 19 - correlação linear Volume x Erro do hidrômetro em vazão mínima	121
Gráfico 20 - Correlação linear Volume x Somatória erros absolutos.....	122
Gráfico 21 - IDM por ano por fabricante	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Parque de Hidrômetros da Grande Vitória	71
Quadro 02 - Adaptação do perfil de consumo médio, conforme norma ABNT NBR 15.538, citado na pág. 22 do Guia 3 da Aesbe	107
Quadro 03 – Dados gerais do parque	114
Quadro 04 - Resultados de Perdas por submedição.....	115
Quadro 05 - Divisão amostral por fabricantes	124
Quadro 06 – IDM (%) por idade e por fabricante.....	124
Quadro 07 - Valores médios de erros para as vazões avaliadas	128
Quadro 08 - Erros médios por fabricante	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Exemplo de formato de disponibilização de dados.....	75
Tabela 02 - Classificação dos hidrômetros de acordo com o intervalo de idade.....	76
Tabela 03 - Divisão amostral por idade.....	78
Tabela 04 – Erros aceitáveis de acordo com o INMETRO.....	83
Tabela 05 - Formato de lançamento de resultados de ensaio.....	91
Tabela 06 - Média dos erros para medidores com 1 ano.....	92
Tabela 07 - Média dos erros para medidores com 2 anos.....	94
Tabela 08 - Média dos erros para medidores com 3 anos.....	94
Tabela 09 – Média dos erros para medidores com 4 anos.....	95
Tabela 10 – Média dos erros para medidores com 5 anos.....	96
Tabela 11 – Média dos erros para medidores com 6 anos.....	97
Tabela 12 - Média dos erros para medidores com 7 anos.....	98
Tabela 13 - Média dos erros para medidores com 8 anos.....	99
Tabela 14 - Média dos erros para medidores com 9 anos.....	100
Tabela 15 - Exemplo de hidrômetro com sobremedição.....	101
Tabela 16 - Média dos erros para medidores com 10 anos.....	101
Tabela 17 - Hidrômetros com leitura de retirada acima de 2000m.....	102
Tabela 18 - Média dos erros para medidores com mais de 10 anos.....	103
Tabela 19 - Hidrômetros com resultados discrepantes.....	103
Tabela 20 - Percentual de medidores da amostra que não passaram no teste de bancada, por vazão.....	104
Tabela 21 - IDM por idade.....	108
Tabela 22 - Comparação dos resultados com o IDM esperado.....	111
Tabela 23 - Avaliação da sobremedição e vazões.....	112
Tabela 24 - Divisão por idade de amostra de análise de sobremedição.....	127

Tabela 25 - Sobremedição e Erros positivos 128

LISTA DE SIGLAS

AESBE – Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento

BABE – Background and Burst Estimates

CESAN – Companhia Espírito Santense de Saneamento

DMC – Distritos de Medição e Controle

EP – Erros Ponderados

FCS – Fatores Críticos de Sucesso

HD – Hidrômetros

IWA – International Water Association

NBR – Norma Brasileira

NRW – Non Revenue Water

ONU – Organização das Nações Unidas

PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico

PPP – Parcerias Público Privadas

$Q_{\text{máx}}$ – Vazão máxima

Q_{min} – Vazão mínima

Q_n – Vazão nominal

Q_t – Vazão de transição

SAA - Sistema de abastecimento de água

SISCOPE – Sistema de Controle de Perdas

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UFR – Unmeasured Flow Reducer

WWO- World Water Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA.....	28
1.2	OBJETIVO GERAL.....	29
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
1.4	ESTRUTURA DO PROJETO.....	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1	PANORAMA GERAL.....	31
2.2	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	32
2.3	PERDAS DE ÁGUA.....	33
2.3.1	O problema das Perdas	35
2.3.2	Tipos de perdas	36
2.4	PERDAS APARENTES.....	37
2.4.1	Gestão de consumidores	38
2.4.2	Erros de medição	40
2.4.3	Indicadores de perdas aparentes	41
2.4.4	Combate à Perda Aparente	42
2.5	MICROMEDIÇÃO.....	44
2.5.1	Hidrômetros	44
2.5.2	Vazões e classificação metrológica	51
2.5.3	Submedição nos Hidrômetros	53
2.5.4	Sobremedição nos Hidrômetros	57
2.5.5	Desgaste ao longo do tempo	60
2.5.6	Avanços normativos	64
3	METODOLOGIA	68
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....	68

3.2	OBTENÇÃO E ORGANIZAÇÃO DE DADOS.....	73
3.3	DEFINIÇÃO DA AMOSTRA	76
3.4	ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	79
3.4.1	Determinação da Curva de erros	82
3.5	IDM E ESTIMATIVA DE PERDA.....	84
3.5.1	Perfil de consumo	84
3.6	CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS	87
3.7	ANÁLISE DE SOBREMEDIÇÃO	88
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
4.1	ENSAIOS EM LABORATÓRIO	90
4.1.1	Curvas de erros.....	92
4.1.2	Reprovação de unidades.....	104
4.2	ESTIMATIVA DE PERDAS	105
4.2.1	Perfil de consumo	105
4.2.2	Cálculo do IDM	107
4.2.3	Estimativa de erros de Micromedição do parque.....	113
4.3	RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS	116
4.3.1	Idade.....	116
4.3.2	Volume	119
4.3.3	Idade e Volume.....	122
4.3.4	Fabricante.....	123
4.4	ANÁLISE DE SOBREMEDIÇÃO	126
5	CONCLUSÃO.....	131
	REFERÊNCIAS	133

1 INTRODUÇÃO

Um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) tem o objetivo de distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população. Afim de garantir a distribuição de água de maneira eficiente e sem desperdícios, o SAA deve monitorar todo o caminho envolvido, desde a captação até o consumidor final, onde ocorre a entrega da água para uso, sem interrupções e perdas. (TSUTIYA, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2009).

As perdas de água nos SAAs são representadas pela diferença entre o volume total de água produzido e a soma dos consumos autorizados. Existem dois tipos de perdas: as reais, cuja perda se caracteriza pela dissipação de água, de forma física, no sistema; e as aparentes, que representam a perda de faturamento.

O caminho para esse estudo está na análise das perdas aparentes, especificamente o combate as perdas por erros de medição dos Hidrômetros (HD's). Portanto, o cenário desta pesquisa é inserido na gestão da distribuição de água, e a área de gestão comercial. Dentre as variáveis envolvidas neste processo, a principal a ser estudada será a medição de consumo, contida no fluxograma de processos do sistema de distribuição de água

Nos SAAs, sempre irá existir perda, mesmo que mínima. As perdas aparentes representam uma situação que deve ser levada em conta pois, ao gerar uma perda de receita, conseqüentemente, tem-se um volume de investimentos em ampliação e/ou manutenção dos sistemas reduzido. Portanto, podemos concluir que esta situação traz, além de perdas financeiras, perdas sociais, ambientais e um atraso na expansão e aprimoramento dos serviços fundamentais à manutenção da saúde da população. Além disto, a falta de controle da medição do consumo de água potável faz com que o consumidor final tenha sua percepção de consumo hídrico diminuída, tornando esta defasagem da medição um problema ambiental, refletindo em um aumento de demanda de captação dos corpos hídricos. Sá (2007) analisou o comportamento da população após instalação do medidor de água, acompanhando o consumo típico de residências que não possuíam micromedição, selecionadas por amostragem, e concluiu que após o período de adaptação há um decréscimo do consumo, seguido de estabilização num patamar sempre inferior ao primeiro mês

após a instalação do hidrômetro. A redução representa o controle do consumo após a emissão das primeiras faturas. O comportamento cotidiano dos consumidores muda após a instalação. Adicionalmente, com as informações mais confiáveis dos volumes micromedidos, a setorização e conhecimento dos setores de abastecimento fornecem ferramentas para o gerenciamento e planejamento do controle das perdas físicas de água. Por exemplo, a identificação de vazamentos existentes nas instalações hidráulicas das residências e outros estabelecimentos, gerando perdas físicas de água, pode ser feita através de sinalização extraordinária no consumo dos hidrômetros destes locais. Se estes não estiverem medindo adequadamente, podem gerar situações onde vazamentos ocultos não afloram ou se tornam de difícil percepção.

No Brasil, a elevada perda de água é um dos principais problemas que afetam a eficiência dos serviços de abastecimento. O SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2015) avalia que há quase inexistência de controle operacional na maioria das operadoras do setor.

Esta atividade é complexa quando vista isoladamente, da ótica de cada uma das diversas partes envolvidas, porém deve-se ressaltar que, muitas vezes, existe uma deficiência de atenção a este problema por parte das companhias, que deveriam demonstrar interesse prioritário em conhecer e controlar o real nível de perdas existentes nos sistemas de abastecimento de água, em especial nos países em desenvolvimento (MUTIKANGA *et al.*, 2011a, 2011b; TROJAN *et al.*, 2015). Este resultado é de extrema importância, por exemplo, no cenário estadual, onde foi detectado, numa relação oferta/demanda, que 44% do sistema de abastecimento de água do estado do Espírito Santo obteve uma avaliação que detectou a necessidade de ampliação (BRASIL, 2010). Todo trabalho que busque articular, agregar e avaliar o desempenho do setor de saneamento é de fundamental importância para o monitoramento e avaliação da eficiência e da eficácia da prestação dos serviços de saneamento básico (VON SPERLING, 2013).

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Avaliação do Parque de Hidrômetros da Grande Vitória com relação aos erros de medição, com indicação acima dos limites máximos estabelecidos na Regulação. Diante dessa problemática, essa pesquisa levanta três questões:

- 1 É possível realizar uma avaliação do desempenho metrológico do parque de hidrômetros?
- 2 É possível realizar uma estimativa das perdas aparentes por erros de medição do parque de hidrômetros?
- 3 Existe uma correlação entre as variáveis do hidrômetro e a sua eficiência de medição de consumo de água?

1.2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar as perdas aparentes de água potável por erros de micromedição, tendo como base os resultados do Parque de Hidrômetros da Grande Vitória.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Analisar a influência do tempo de uso na acurácia de hidrômetros;
- 2 Caracterizar o parque de hidrômetros da Grande Vitória de acordo com a perda aparente por erro de medição, determinando o Índice de desempenho de medição e a sua evolução com o tempo;
- 3 Estimar perda aparente por submedição do parque de hidrômetros da Grande Vitória;
- 4 Realizar avaliação da correlação entre variáveis que influenciam nos erros de medição;

1.4 ESTRUTURA DO PROJETO

O projeto será estruturado em cinco capítulos, conforme detalhado a seguir:

- Neste capítulo está apresentado o tema do projeto; a problemática; as questões da pesquisa, e a justificativa do trabalho.
- No capítulo 2, será apresentada uma pesquisa bibliográfica, através de levantamento em trabalhos científicos que sejam relevantes
- No capítulo 3, a metodologia será apresentada dividida de acordo com cada etapa, com o intuito de desenvolver os métodos para atingir os objetivos da pesquisa.
- No capítulo 4, os resultados e discussão da aplicação da metodologia proposta serão apresentados.

- O capítulo 5 será composto pela conclusão e respostas das questões da pesquisa, destacando as contribuições da pesquisa para setor de abastecimento público de água e recomendações para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PANORAMA GERAL

Globalmente, fatores como as mudanças climáticas e o crescimento populacional reduziram a disponibilidade de água, ao mesmo tempo que aumentaram a demanda (BOYLE *et al.*, 2013). Os desafios enfrentados são muitos, incluindo: rápida urbanização, poluição ambiental, diminuição dos recursos hídricos disponíveis, infraestrutura ultrapassada, processos de operação e manutenção ultrapassados, registro de informações defasado, tecnologias inadequadas, limitações financeiras, e influências políticas, culturais e sociais (KANAKOUDIS *et al.*, 2013)

O aumento da eficiência significa o aumento da água sendo entregue de forma que atenda aos objetivos para os quais se destina em relação ao volume de entrada do sistema, ou seja, redução de perdas. Além disto, um bom conhecimento dos processos e dados de um sistema permitem que o planejamento e tomada de decisões seja muito mais assertivo e eficaz. Moraes *et al.* (2010) destacam que o desempenho do serviço de abastecimento de água é traduzido não apenas com base na confiabilidade do atendimento à demanda, mas também a outros aspectos importantes, tais como:

- A tarifa cobrada pelo serviço;
- Grau de utilização e comprometimento dos recursos hídricos disponíveis em termos quantitativos e qualitativos;
- A sustentabilidade dos recursos e serviços a médio e longo prazo;
- A garantia do atendimento aos requisitos de pressão mínima e máxima na rede;
- A operação com o mínimo de perdas.

As Parcerias Público Privadas (PPP's) são alternativas que vem ganhando significância no setor de saneamento, visando otimizar o gerenciamento e desenvolvimento de áreas sem o atendimento adequado. Carvalho (2019) identificou alguns Fatores Críticos de Sucesso (FCS) na gestão de PPP's e concessões do setor de água e esgoto no Brasil. Dentre eles, destaca-se boa governança da administração pública, fator socioeconômico favorável, suporte político e expertise privada e parceria

e sustentabilidade econômica do contrato. O controle do uso dos recursos hídricos envolve atividades bastante complexas.

O Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab (2013), coordenado pelo Ministério das Cidades na ocasião, é o principal instrumento da política nacional de saneamento básico instituída pela Lei 11.445, de 2007. O plano traz dados que mostram os principais problemas, destacando-se o volume ainda elevado de perdas físicas e de faturamento nos sistemas, sendo a melhoria desses serviços um grande desafio a ser enfrentado pelos prestadores da região (BRASIL, 2013).

Um ponto crucial na abordagem de melhorias para o cenário é o investimento em redução de perdas, que proporciona maior qualidade na gestão e controle operacional e posterga a ampliação de sistemas. A priorização adequada de zonas mais críticas deve ser adotada quando existe escassez de investimentos. Há uma evidente falta de foco sobre onde agir de forma prioritária. A grande importância em um processo de combate das perdas não é apenas reduzi-las, mas mantê-las num nível de controle para o futuro (SANTOS *et al.*, 2014).

2.2 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A água que é encontrada na natureza não é própria para consumo. Um sistema de abastecimento de água é a instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição (BRASIL, 2011).

A eficiência operacional dos sistemas de abastecimento de água tem sido muito contestada no que se refere à elevada perda de água. Em uma visão ampla, esta eficiência está relacionada não só com o recurso água. Este setor representa, por exemplo, uma parcela significativa do consumo de energia global. Para uma concessionária de água ser considerada eficiente e eficaz, deve ser capaz de atender as condições de quantidade, qualidade, continuidade, confiabilidade e custo da água, acrescentando ainda a atenção e atendimento legal às questões relacionadas a preservação dos recursos ambientais. Afim de conseguir atingir todas essas condições, é primordial um monitoramento eficiente de todo do sistema, mas no Brasil isso ainda não é uma realidade. A falta de recursos financeiros das empresas de saneamento faz resultar em uma política que procura solucionar os problemas com

ações locais, que não contemplam melhorias no longo prazo e na maioria das vezes têm caráter emergencial (MORAIS *et al.*, 2006; MORAIS *et al.*, 2010; COELHO *et al.*, 2014).

Nem todas estruturas sanitárias, particularmente aquelas em países emergentes, têm a disponibilidade de uma rede de distribuição bem desenvolvida e eficientemente gerenciada. Deve-se discutir cada passo da estratégia e o seu desenvolvimento, desde aprimorar a rede através de melhoramento do gerenciamento da infraestrutura, ou zoneamento para fragmentação, até o monitoramento e detecção de perdas através de técnicas e equipamentos para tanto (FARLEY *et al.*, 2005).

2.3 PERDAS DE ÁGUA

A perda de água nos sistemas de abastecimento pode ser definida como a diferença entre o volume de água disponibilizado do sistema de distribuição, e o consumo autorizado. Por recomendação da *Water Loss Task Force*, utiliza-se a nomenclatura “*Non Revenue Water- NRW*” para a água sem receita (água não faturada), que possui três diferentes componentes: perdas de água real e aparente, e os consumos autorizados não faturados. Os consumos autorizados não faturados são provenientes de ações como por exemplo, água para o corpo de bombeiros, água para fins de operação (exemplo: lavagem de reservatórios), e a água fornecida gratuitamente para certos tipos de consumidores (FARLEY *et al.*, 2003; ADEOSUN, 2014).

A *International Water Association (IWA)* padronizou o entendimento dos componentes dos usos da água em um sistema de abastecimento, e publicou um padrão internacional de boas práticas de balanço hídrico. Este balanço, desde então, é reconhecido e adotado como padrão por um número crescente de países e entidades relacionadas à água no mundo todo. Uma matriz representa o Balanço Hídrico, onde se inserem os dois tipos de perdas relatados- aparentes e reais (LAMBERT *et al.*, 2002; FONTANA *et al.*, 2016). A Figura 01 ilustra um quadro que mostra a forma de divisão destes elementos.

Figura 01 - Nomenclaturas do balanço hídrico

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

Fonte: TARDELLI FILHO (2015)

Nomenclaturas do balanço hídrico:

- Volume produzido ou disponibilizado: volume anual de água produzido no sistema de abastecimento; parcela principal do cálculo do Balanço Hídrico;
- Consumos autorizados: volume anual medido e/ou não medido fornecido a consumidores cadastrados;
- Perdas: volume referente à diferença entre volume fornecido ao sistema e consumo autorizado;
- Consumos autorizados faturados: Compõe-se dos volumes medidos faturados nos hidrômetros e dos volumes não medidos faturados, estimados nos locais onde não há hidrômetros instalados;
- Consumos autorizados não faturados: volume que não gera receita para o prestador de serviços de saneamento, oriundos de usos legítimos de água no sistema de distribuição;
- Perdas aparentes (comerciais): parcela de água correspondente ao volume de água consumido, porém não contabilizado pelo prestador de serviço de saneamento;
- Perdas reais: perdas físicas ao longo da distribuição;

- Águas faturadas: representa a parcela da água comercializada, traduzida no faturamento do fornecimento de água ao consumidor;
- Águas não faturadas: representa a diferença entre os totais anuais da água que entra no sistema e do consumo autorizado faturado (FRANCI, 2009).

Ociepa *et al.* (2019) atestaram que, na Polónia, os métodos recomendados pela IWA estão se tornando cada vez mais populares. Muitos anos de análises e avaliação de índices de perdas de água revelaram a efetividade das estratégias adotadas para redução de perdas. Vale ressaltar que as companhias analisadas no estudo estavam engajadas e envolvidas em iniciativas objetivando diretamente a redução de perdas.

2.3.1 O problema das Perdas

Um dos grandes desafios de empresas de saneamento no mundo todo é controlar as perdas de água, já que este é um dos principais indicadores da eficiência de operação. De acordo com a WWO- *World Water Organization* (2016), entre 1990 a 2015, o número de pessoas com água potável aumentou em 65%, de 4,0 para 6,6 bilhões. O aumento do acesso aumenta a infraestrutura necessária para prover esta evolução. Com o aumento dos serviços, de uma ótica puramente quantitativa e absoluta, aumentam-se os erros, incluindo as perdas. A falta de conscientização e sensibilidade da população em relação a necessidade de poupar água já é um agravante. Somada ao envelhecimento e deterioração da infraestrutura, as perdas se agravam, causando impactos ambientais, econômicos, financeiros e ético sociais. (LUCIANI *et al.*, 2019).

No Brasil, ainda é necessário aumentar os esforços para atingir níveis eficientes de perdas. Conforme dados do Instituto Trata Brasil (2019), em 2017 o Brasil acumulou mais de 6,5 bilhões de metros cúbicos de água não faturada, como mostra a Figura 02.

Figura 02 – Balanço Hídrico Brasil SNIS 2017 (m³)

Água que entra no sistema (16.631.552)	Consumo autorizado faturado (10.110.848)	Consumo faturado medido (7.947.419)	Água faturada (10.110.848)
		Consumo faturado não medido (2.163.429)	
		Volume de serviços (621.585)	Água não faturada (6.520.704)
		Perdas comerciais (2.359.647)	
		Perdas físicas (3.539.471)	

Fonte: Brasil (2019).

O PlanSab (2013) trouxe estratégias tanto para os programas e ações, como no cumprimento das metas estabelecidas e nas demais ações inerentes à política pública do setor de saneamento básico durante a sua vigência. Dentre elas, destaca-se a estratégia 97:

Alocar recursos públicos federais e financiamentos com recursos geridos ou operados pela União em conformidade com a Lei nº 11.445/2007, condicionados:[...] **iii) à implementação eficaz de programa de redução de perdas de águas no sistema de abastecimento de água potável.** (grifo do autor).

As metas para saneamento básico nas macrorregiões e no País (em %), foram traçadas. Na Figura 03 destaca-se a meta do percentual do índice de perdas na distribuição de água.

Figura 03 - Metas para saneamento básico nas macrorregiões e no País (em %)

INDICADOR	ANO	BRASIL	N	NE	SE	S	CO
	2010	39	51	51	34	35	34
A6. % do índice de perdas na distribuição de água	2018	36	45	44	33	33	32
	2023	34	41	41	32	32	31
	2033	31	33	33	29	29	29

Fonte: Adaptado de BRASIL (2013).

2.3.2 Tipos de perdas

As perdas podem ser consideradas reais ou aparentes. As perdas físicas ou reais são as compreendidas por vazamentos em todas as partes do sistema e

transbordamentos nos reservatórios, causadas por operações e manutenção precárias, falta de controle ativo de vazamento e baixa qualidade da infraestrutura (ADEOSUN, 2014). Perdas reais em sistemas de abastecimento de água, ou seja, aquela água que se perde antes de ser entregue nas instalações dos consumidores, constituem, de modo geral, um problema grave no Brasil, pois afetam diretamente o volume de captação desperdiçado. Sabe-se que todas as unidades de um sistema de abastecimento de água (captação, elevação, adução, tratamento, reservação e distribuição) são locais passíveis de perdas, mas, é na distribuição que acontecem os mais altos índices. Existem alguns métodos de levantamento de perdas reais em sistemas de abastecimento de água. Al-Washali *et al.* (2016) destacaram três deles como principais: análise do fluxo noturno mínimo, estimativas por *BABE (Background and Burst Estimates)*, e método top-down aplicado no balanço hídrico.

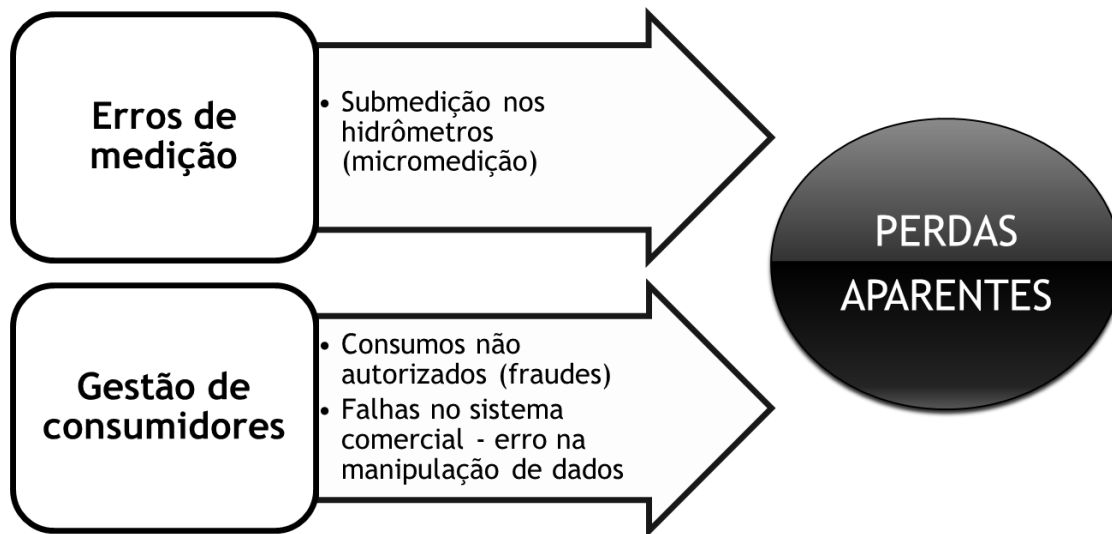
Guimaraes (2019) analisou o nível de desempenho de perda real no sistema de distribuição de água em Vitória – Espírito Santo. Atestou-se que, no quadriênio 2014 - 2017, se manteve estável, na faixa de 33%, porém, acima da meta para ano 2033 de 25% previsto no Plano Municipal de Saneamento Básico. A conclusão para as causas que geravam as perdas físicas em Vitória foram: não atendimento a NBR 12.212/2017 nos aspectos de projeto e execução das redes e ramais; falta de qualificação e agilidade da mão de obra na execução e manutenção de rede; falta de gerenciamento de pressão na rede de distribuição e falta de gerenciamento de infraestrutura (renovação de tubulações). O principal problema detectado foi a ocorrência de vazamentos em ramais.

As Perdas Aparentes (comerciais) são parte primordial deste trabalho, por isto a discussão sobre esta vertente das perdas foi separada em um capítulo à parte, por se tratar de um assunto importante para a contextualização do projeto de pesquisa.

2.4 PERDAS APARENTES

Perdas aparentes, também chamadas de comerciais, são as perdas causadas por medições de consumo erradas, erros no processamento de dados e roubos de água em diversas formas, como por exemplo ligações clandestinas. É a água consumida e não faturada. O fluxograma da Figura 04 demonstra estes fatores e algumas variáveis que influenciam neste contexto.

Figura 04 - Fluxograma de Perdas aparentes



Fonte: Elaborado pela autora.

As causas das perdas aparentes podem ser divididas em dois componentes principais: Erros de medição e uma má gestão de consumidores, resultando em consumo não faturado (roubo, by-pass do hidrômetro, ligações clandestinas, mau-uso de hidrantes), e erros na manipulação de dados e implantação de tarifa (RIZZO *et al.* 2005; GULARTE, 2005).

2.4.1 Gestão de consumidores

2.4.1.1 Consumos não autorizados (fraudes)

Consumo não autorizado ocorre em praticamente todas as Concessionárias distribuidoras de água para consumo humano. Ele ocorre tipicamente através de ações deliberadas de pessoas que furtam água do sistema sem pagar. A natureza e a extensão do consumo não autorizado em um sistema depende da saúde econômica da comunidade, e a ênfase que a concessionária e o governo dão às políticas e programas de conscientização (THORNTON *et al.*, 2008).

Dentre a grande variedade de formas de consumo não autorizado, destacam-se as ligações clandestinas à rede de distribuição, as ligações por “bypass”, a derivação de ramal, a violação de medidor ou mesmo o consumo direto dos hidrantes e redes prediais de combate a incêndio (MALHEIRO, 2011).

Observa-se uma elevada ocorrência dos consumos não autorizados e não faturados em áreas irregulares, geralmente com alta vulnerabilidade social e ocupação ilegal. Destaca-se, no Brasil, o consumo não faturado e não medido ocorrido em favelas. A

grande ocorrência de fraudes nestas localidades é um problema complexo, pois muitas vezes são áreas de risco que impedem a execução de ações tratativas, visto que estas fraudes devem ser eliminadas por equipe presencial nestes locais vulneráveis. Trata-se de volume significativo nas metrópoles brasileiras. (ABES, 2013; ABES, 2017).

A avaliação de perdas aparentes, incluindo a gestão de consumidores pode ser feita através de metodologia baseada em uma zona piloto ou uma abordagem por área ou distrito de medição. Esta abordagem é fora da realidade das concessionárias no quesito custo, e é muito complexa de se aplicar em um sistema de distribuição de água de um país em desenvolvimento, que geralmente possui distribuição intermitente e um alto índice de fraudes (RIZZO *et al.*, 2007).

2.4.1.2 *Falhas do sistema comercial*

Qualquer modificação na real quantidade do consumo do cliente pode ser considerada uma perda aparente. A eficiência dos medidores é apenas o primeiro passo para obter os dados de consumo. Enquanto o hidrômetro fornece uma medida adequada, os processos posteriores, como transferência de dados para sistemas de tarifação, operações de arquivamento, devem ser manipulados de forma precisa, ou o real consumo pode ser distorcido, com os dados do cliente sendo perdidos completamente (THORNTON *et al.*, 2008).

Problemas associados aos erros humanos são bem claros no contexto das perdas aparentes. Quando os dados de uma leitura estão equivocados, este erro transmite-se pela base de dados da empresa. Além da tarifação errada, este erro ainda gera uma sequência de informações incoerentes que podem ser utilizadas como embasamento para decisões, indicadores e avaliações equivocadas. A empresa não terá tanta facilidade em detectar irregularidades num cliente, visto que os seus consumos não seguirão um padrão normal. Também terá maior dificuldade na elaboração de estimativas nos períodos de tempo em que as leituras não forem recolhidas. Portanto, o erro de leitura é multiplicado, gerando outras situações de equívoco, se ocorrer em dimensões consideráveis. A empresa vai estar desinformada da realidade, assim essa situação afasta a concessionária da eficiência, além de afetar a satisfação dos clientes. Também existem os erros do sistema, como falhas de

software. O sistema deve fazer uma análise dos dados que lhe são enviados e emitir alertas em situações discrepantes. (MALHEIRO, 2011).

Típicos erros de transferência de dados:

- Erros na leitura de hidrômetros;
- Erro na apuração de dados;
- Cobrança de clientes através de dados manipulados;
- Erros de gerenciamento de contas, como atrasos de ativação ou erros de transferência;
- Regulações burocráticas ou *gap's* do processo que causam lapsos de atraso em autorizações, medições e tarifas.

2.4.2 Erros de medição

Medidores de água são instrumentos de medição utilizados para se conhecer os volumes transcorridos entre duas leituras. Neste contexto, as medições nos SAA's são efetuadas desde a captação no manancial até antes do ponto final de entrega para o consumo. Os pontos de medição podem ser permanentes ou temporários, monitorados à distância ou localmente. A Macromedição é a referência principal de todo o Balanço Hídrico. Os macromedidores são medidores de vazão de maior porte e utilizados para medição de entrada de setores de distribuição, ou ainda medição de água tratada entregue em volumes maiores a outros sistemas públicos (VICENTINI, 2012; TARDELLI FILHO, 2015). No âmbito deste estudo, ressalta-se a importância da macromedição como instrumento de auxílio da valoração e controle das perdas reais e aparentes. A melhor forma de realizar essas análises e avaliações é por intermédio dos Distritos de Medição e Controle (DMC), cada DMC deve contar com um macromedidor na entrada para acompanhar o comportamento das vazões. Esta metodologia permite analisar todos os componentes das perdas aparentes (XIN *et al.*, 2014; AESBE, 2015).

Uma outra variação de medição sujeita a erros e inserida neste contexto é a micromedição. Para esta modalidade são utilizados micromedidores de água, os hidrômetros, para se conhecer os volumes consumidos pela economia a jusante do mesmo, entre duas leituras. O volume registrado com erros de indicação acima dos

limites máximos ocorre por causas diversas. Este trabalho abordará em detalhes este assunto no próximo capítulo.

2.4.3 Indicadores de perdas aparentes

Uma série de indicadores de performance podem ser calculados para apoiar a tomada de decisão. Deve-se considerar que estas análises que dão origem a indicadores, são resultantes de operações entre múltiplas variáveis, e cada uma delas tem a sua incerteza associada (SILVA *et al.*, 2018). De acordo com a IWA, a avaliação através de indicadores deve ser feita para períodos de no mínimo um ano, devido as variações de comportamento das variáveis. Com intervalos pequenos de análise, as interpretações podem ser incorretas e inconsistentes (BIASUTTI, 2016). Os indicadores podem ser operacionais ou financeiros. A Figura 05 traz indicadores da IWA para sistemas de distribuição de água.

Figura 05 – Indicadores de perda da IWA

Grupo	Nomenclatura	Cod.	Unidades
Econômico e Financeiro	Água não faturada por volume	Fi ₄₆	%
	Água não faturada por custo	Fi ₄₇	%
Operacional	Perdas de água (Total)	Op ₂₃	m ³ /lig/ano
		Op ₂₄	m ³ /Km/dia
	Perdas aparentes	Op ₂₅	%
		Op ₂₆	%
	Perdas reais	Op ₂₇	L/lig/dia
		Op ₂₈	L/Km/dia
	Índice de vazamento na infraestrutura	Op ₂₉	Adimensional
Recurso Hídrico	Ineficiência de utilização dos recursos hídricos	WR ₁	%

Fonte: Alegre *et al.* (2006).

Os indicadores Op₂₅ e Op₂₆ relacionam as perdas de água aparentes com o volume de água. Na Figura 06, apresenta-se as fórmulas dos indicadores de perdas aparentes da IWA.

Figura 06 - Fórmulas dos indicadores de perdas aparentes da IWA

Cód.	Fórmulas	Unid.	Parâmetros
Op ₂₅	$\left(\frac{A_{18}}{A_3 - A_5 - A_7} \right) * 100$	%	A ₃ - Volume de água na entrada do sistema, inclui o volume captado e o volume importado (m ³). A ₁₈ - Volume de Perdas Aparentes (m ³).
Op ₂₆ *	$\left(\frac{A_{18}}{A_3} \right) * 100$	%	A ₅ - Água Bruta Exportada (m ³). A ₇ - Água Tratada Exportada (m ³).

Fonte: Alegre *et al.* (2006).

Os indicadores de perdas aparentes avaliavam a relação entre as perdas aparentes com o número de ramais (ligações) e com a extensão da rede de distribuição de água. Este caminho é adotado para avaliações de perdas totais e de perdas reais. Porém, a IWA avaliou por alterar as fórmulas dos indicadores de perdas aparentes, com os resultados agora em função dos volumes, conforme apresentado na Figura 06. Ainda não há consenso sobre o melhor indicador operacional para perdas aparentes, o que compromete muitas vezes a análise desta componente de perdas de água. (LAMBERT *et al.*, 2014; BIASUTTI, 2016).

2.4.4 Combate à Perda Aparente

O combate às perdas de água é multidisciplinar, pois suas causas englobam uma série de variáveis. Para compreendê-las holisticamente, há uma necessidade de analisar os fatos e organizá-los coerentemente, sabendo dividir aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. O combate às perdas nas companhias normalmente é estruturado na forma de um programa, composto por um rol de ações. Além disso, a abordagem geral deve ser integrada, isto é, todos os setores dentro da prestadora de serviços de saneamento devem priorizar as perdas, desde a etapa de projeto, instalação, até a operação e manutenção. É importante englobar ações de prevenção, cuja implantação se daria no momento de início de uma expansão. Em relação à medição, estas ações visariam a redução de erros de medidores para melhoria tanto da macromedição, como a micromedição. Atentar-se para a especificação e o dimensionamento adequado dos medidores, para adequação aos consumidores (MELATO, 2010; LOUREIRO *et al.*, 2014; ROUSTA *et al.*, 2015; LEU *et al.*, 2016).

Para as perdas aparentes, as principais áreas onde deve-se adotar uma política de mudança e controle, para um sistema já implantado, são:

- substituição periódica dos hidrômetros (preventiva) e imediata dos hidrômetros quebrados (corretiva);
- combate às fraudes, a partir de denúncias, análises de variações atípicas de consumo ou quaisquer outros indícios ou evidências;
- aprimoramento da gestão comercial das companhias (cadastros e sistemas comerciais) (TARDELLI FILHO, 2015).

É válido destacar que a hidrometração inteligente, direcionada para as características específicas do consumidor, fornece às Concessionárias uma ferramenta poderosa para identificar e agir rapidamente nos volumes significantes de vazamentos pós-hidrômetro ocorridos nas regiões de cobertura (BRITTON *et al.*, 2013).

Há muitos desafios no gerenciamento de perdas aparentes, que se manifestam em uma variedade de formas, suas complexidades, critérios múltiplos de avaliação, incertezas inerentes, e os objetivos e interesses conflitantes entre *stakeholders* diferentes (ZYOUD, 2016). A eficiência no controle das perdas, em especial das perdas aparentes, está então muito mais ligada à qualidade da gestão do prestador de serviço do que à sua capacidade de investimento. Portanto, ações não dependentes de grandes investimentos geram resultados significativos, como mostra a Figura 07.

Figura 07 - Fluxo de Processos de Controle de Perdas aparentes.



Fonte: Brasil (2018a).

2.5 MICROMEDIÇÃO

A micromedição de consumo consiste na apuração dos volumes de água de entrada dos consumidores finais (residências, imóveis comerciais, indústrias) por leituras periódicas nos hidrômetros instalados. Os micromedidores existem em diversos tipos e especificações, e são chamados de hidrômetros. São aparelhos destinados a medir e indicar a quantidade de água fornecida pelo ramal de uma instalação predial. Chama-se de sobremedição e submedição as indicações maiores ou menores, respectivamente, que os valores de volumes transcorridos reais. Os erros de micromedição podem ocorrer devido a vários fatores nos hidrômetros. Garantir a confiabilidade da micromedição é uma ação importante para o controle de perdas (GULARTE, 2005; SILVA *et al.*, 2016). Mutikanga *et al.* (2011c) realizou estudo na cidade de Kampala, capital de Uganda, no qual as perdas aparentes de água por submedição corresponderam a aproximadamente 22% da água faturada, sendo que a perda aparente total foi equivalente a 37% da água faturada.

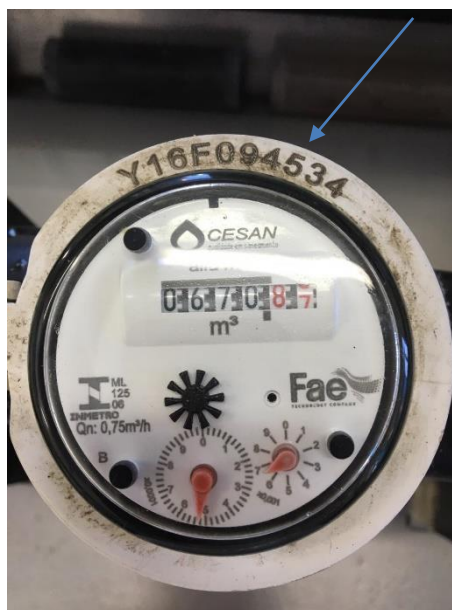
2.5.1 Hidrômetros

Os hidrômetros, ou medidores, são instrumentos de medição que verificam o volume de água que é levado pelo abastecimento principal para uma residência. A instalação e manutenção do hidrômetro geralmente são executadas pela Concessionária, ou subcontratadas pela mesma. Estes medidores são projetados e fabricados levando-se em consideração diversos fatores.

Os hidrômetros são utilizados para a realização da micromedição do consumo dos clientes que utilizam as redes de abastecimento, permitindo a emissão de contas de acordo com o consumo individual por matrícula. Os hidrômetros têm a aparência de um relógio. Seu funcionamento acontece conforme o fluido o atravessa. Eles têm indicadores de metros cúbicos na cor preta, e indicadores de litros na cor vermelha (GULARTE, 2005).

Os hidrômetros trazem consigo informações no seu código, gravados nas carcaças destes equipamentos. A Figura 08 mostra o código de um hidrômetro e como ele vem demonstrado.

Figura 08 – Foto de um hidrômetro mostrando a numeração



Fonte: Elaborado pela autora.

Cada hidrômetro possui uma numeração própria, que contém informações do ano de fabricação, capacidade, fabricante e número de série. A Figura 09 explica o que cada letra dos códigos significa.

Figura 09 – Nomenclatura dos Hidrômetros



Fonte: Elaborada pelo autora.

A primeira letra indica a capacidade, o segundo e terceiro dígito representam o ano de fabricação do hidrômetro, o quarto dígito indica o fabricante e cada fabricante ao se credenciar junto ao INMETRO recebe uma letra. Os seis últimos dígitos são números que representam o sequencial do fabricante (BRASIL, 2000). A NBR 8194/2013, Medidores de água potável — Padronização, padroniza o formato do número de série, conexões e dimensões de medidores de água potável destinados à

instalação em unidades consumidoras. A Figura 10 demonstra o significado dos caracteres.

Figura 10 – Numeração dos Hidrômetros

CARACTER	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
Qn = (m³/h)	0,50	0,60	0,75	1,00	1,50	2,50	3,50	5,00 6,00	10,00	15,00
LETRA	F	L	N	P	S	U	X			
FABRICANTE	FAE	LAO	ABB	SAPPEL	ACTARIS	STARLUX	TURMIMAX- INVENSYS			

Fonte: SAMAE [s.d]

Sá (2007) ao fazer a avaliação da idade dos hidrômetros utilizou informações do ano de fabricação que constavam no número de série, gravado nas carcaças. Porém, a recomendação é que os dados utilizados sejam dados provenientes de registros da data de instalação, e não fabricação. Quando não se dispõe destes dados, uma aproximação pode ser feita, utilizando os dados da carcaça, afim de classificar os aparelhos por idade. Isto é uma prática que não garante precisão, visto que o hidrômetro pode ser fabricado e demorar para ser instalado em campo. Isto pode acontecer, principalmente, em grandes concessionárias, que compram estes aparelhos em grandes lotes, estocando-os.

Existem medidores com diferentes princípios de funcionamento, dentre eles, os explicados adiante: velocimétricos, volumétricos e ultrassônicos.

2.5.1.1 *Velocimétricos*

O funcionamento deste instrumento de medição é baseado no acionamento pela ação da velocidade da água sobre uma parte móvel, uma turbina, então há correlação entre o volume de água que atravessa o hidrômetro e o número de voltas de uma turbina. Coelho (1996) define o princípio dos medidores velocimétricos como a obtenção do volume de água que atravessa um aparelho, contando o número de revoluções da turbina. A medição é obtida de forma indireta, por correlação entre o número de revoluções da turbina e o volume de água. Os medidores velocimétricos são mais baratos (relativamente aos volumétricos), possuem menos sensibilidade ao golpe de aríete, oferecem a possibilidade de funcionamento acima dos limites especificados em casos emergenciais e baixa perda de carga (perda de pressão na linha de abastecimento, decorrente da inserção do hidrômetro na mesma). Porém, possuem

uma vida útil menor, a necessidade de nivelamento, e o risco maior de submedição e de sobremedição. Eles podem ser classificados de acordo com o seu princípio de funcionamento (BRASIL, 2000; NIELSEN *et al.*, 2003).

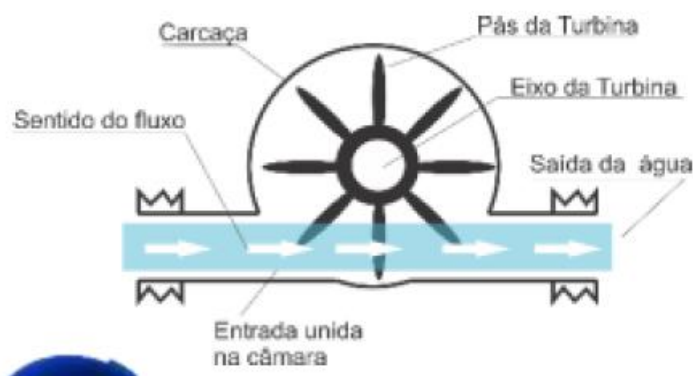
Monojato, Unijato ou Jato Único: a turbina é acionada por um só jato de líquido. Um jato de fluido incide diretamente na turbina, fazendo com que esta gire. Impurezas aglomeradas na passagem podem aumentar a velocidade do fluido, gerando imprecisões nas medições. A Figura 11 apresenta um modelo de hidrômetro unijato e a Figura 12 mostra o princípio de funcionamento do Unijato.

Figura 11 – Hidrômetro Unijato



Fonte: Lao Indústria (2015a).

Figura 12 - Princípio de funcionamento Unijato



Fonte: Brasil (2018a).

Multijato: o funcionamento do medidor consiste em múltiplos jatos que incidem tangencialmente à turbina. A Figura 13 mostra um modelo de hidrômetro multijato.

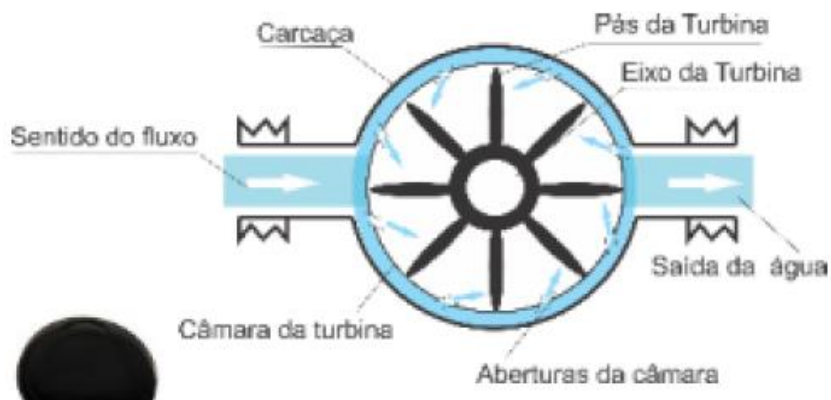
Figura 13 – Hidrômetro Multijato



Fonte: Lao Indústria (2015b).

Do ponto de vista construtivo, o medidor multijato tende a ter maior durabilidade se comparado ao unijato quando submetido a regime de vazões mais elevadas, entre a vazão nominal e a máxima. Isto acontece porque sua a câmara de medição possui vários orifícios para passagem de água, fazendo com que a turbina trabalhe de forma mais balanceada, pois sofre a ação de múltiplas forças que a impulsionam, como mostra a Figura 14. Portanto, pode-se considerar este medidor uma opção para melhorar a performance do parque no longo prazo (BRASIL, 2018a).

Figura 14 – Princípio de funcionamento Multijato



Fonte: Brasil (2018a).

Woltman: turbina instalada dentro de um duto fechado, atuando no fluxo, na direção axial em relação ao eixo da turbina, conforme mostra o modelo da Figura 15. Pode ser vertical ou horizontal.

Figura 15 – Hidrômetro Woltman



Fonte: Lao Indústria (2015c).

2.5.1.2 Volumétricos

Nos medidores do tipo volumétrico (Figura 16), o fluxo de água é gerado por um pistão ou disco que se move no interior da câmara de medição, que enche e esvazia continuamente, permitindo a passagem de um volume conhecido continuamente. O volume que passa no medidor é proporcional ao número de voltas transformadas mecanicamente em rotações. Não tem restrições contra as condições de instalação. No entanto, são muito sensíveis quanto a passagem de sólidos transportados pela água que os atravessa, podendo parar. Apresentam melhor exatidão em comparação com os velocimétricos, mesmo para pequenas vazões e sua vida útil é normalmente mais longa, porém são mais caros e com nível de ruído maior em altas vazões. Apresentam maior sensibilidade a sólidos em suspensão e ao golpe de ariete (NIELSEN, 2003).

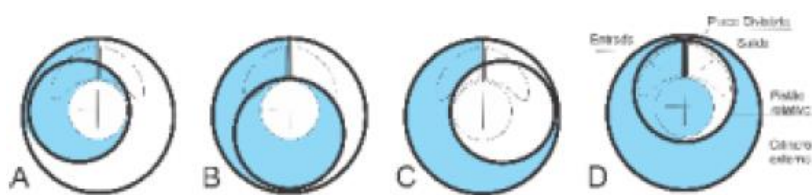
Figura 16 – Hidrômetro Volumétrico



Fonte: Lao Indústria (2015d).

Para o uso de medidores volumétricos, deve ser avaliado nível de partículas em suspensão na água, pois o seu funcionamento é afetado nestes casos, trazendo dificuldades operacionais, uma vez que as folgas entre a câmara e o pistão são muito pequenas, o que pode travar o medidor. Em sistemas com estas características deve-se avaliar a instalação de filtros com malha de filtração fina, para permitir o uso do medidor volumétrico, ou então utilizar medidor velocimétrico, que dificilmente iria travar, apesar de ter seu desempenho metrológico afetado, pois as partículas sólidas na água podem provocar uma aceleração nos níveis de desgaste (BRASIL, 2018a). A Figura 17 representa o princípio de funcionamento dos medidores volumétricos.

Figura 17 – Princípio de funcionamento Volumétrico



Fonte: Brasil (2018a).

2.5.1.3 Ultrassônicos

Registradores e hidrômetros eletrônicos têm como diferenças mais evidentes, a substituição de elementos mecânicos. Atingem classes de exatidão mais rigorosas, são capazes de medir vazões altas, sua instalação e retirada nos processos de medição são relativamente fáceis de serem feitas e apresentam grande flexibilidade

quanto ao fluido a ser medido e às condições de operação. Este tipo de medidor de vazão mede a velocidade do fluido emitindo um pulso de ultrassom que o atravessa. Esse pulso é então capturado por um sensor no outro lado da tubulação. Para o correto funcionamento desta tecnologia, o correto dimensionamento de uso deve ser efetuado. Medidores de vazão ultrassônicos sobredimensionados ou subdimensionados irão medir valores incorretos. Apresentam como vantagens, a baixa perda de carga, não sofrem desgastes por não possuírem partes móveis, o que reduz o índice de submedição com o tempo, possuem maior vida útil, e menor número de componentes necessários à sua instalação. Em consequência simplificam e reduzem a probabilidade de falhas por defeito (GULARTE, 2005). A Figura 18 mostra um modelo de hidrômetro ultrassônico.

Figura 18 – Hidrômetro Ultrassônico



Fonte: FAE Technology Company (2019).

De acordo com Junior (2017), a melhor escolha para reduzir as perdas são os hidrômetros volumétricos e ultrassônicos. Os medidores ultrassônicos possuem a vantagem de não registrar a passagem de ar, porém há de se considerar o seu custo, que ainda é muito elevado. Pelo fato de a população brasileira possuir reservatórios nas residências e a vazão mínima, é necessário considerar a utilização de um hidrômetro mais preciso, como o volumétrico (JUNIOR, 2017).

2.5.2 Vazões e classificação metrológica

Os hidrômetros podem ser caracterizados quanto às classes de vazão e metrológica. As classes de vazão são as de início de trabalho, vazão mínima (Q_{min}), de transição

(Q_t), nominal (Q_n) e máxima ($Q_{m\acute{a}x}$). A classe de vazão determina qual a indicada para o funcionamento do hidrômetro. A vazão de início de movimento é aquela a partir da qual o hidrômetro começa a dar indicação de volume, sem submissão aos erros máximos admissíveis. A acurácia de medição só é garantida após a vazão mínima. O INMETRO (2000) não prevê valores limites de erros de medição quando os aparelhos trabalham nessas faixas de vazão. A vazão de transição é aquela que separa a faixa inferior da faixa superior de medição. A vazão nominal corresponde à metade da vazão máxima, e é aceita como a vazão normal de trabalho. A vazão máxima é aquela que determina o último valor que o medidor consegue trabalhar de forma satisfatória.

Fontanazza *et al.* (2015) realizaram um estudo, com o monitoramento de uma pequena área hidrometrada para determinar as causas das perdas aparentes. Os erros de medição foram analisados, e a vazão que passava pelo medidor afetava diretamente os erros. A vazão depende da pressão da rede, e da existência de caixa d'água. Um modelo foi utilizado para identificar locais com os maiores erros e assim programar a manutenção. Além disto, o modelo previu os impactos econômicos no caso de instalação de um dispositivo que minimiza o efeito da caixa d'água, chamado de redutor de vazão não medida (*UFR- unmeasured flow reducer*). O UFR começa a trabalhar com vazões muito baixas, abaixo de Q_{min} . O UFR regula o fluxo de água para que haja fluxo de água somente quando o fluxo é alto o suficiente para ser medido. Este dispositivo permite que o hidrômetro existente passe a medir as vazões baixas que não eram possíveis antes. Quando a vazão aumenta acima de Q_{min} , o UFR permanece aberto, para que não interfira nas medições normais.

Os hidrômetros também são classificados de acordo com a sua classe metrológica. Elas correspondem a capacidade de medir, com exatidão, vazões mínimas e de transição com menor valor. Para hidrômetros de vazão igual ou menor que $15\text{m}^3/\text{h}$ estão previstas três classificações de hidrômetro: Classes A, B e C. A classe de maior sensibilidade à marcação de pequenas vazões é a Classe C, seguida pela Classe B, e, por fim, Classe A. Portanto, os hidrômetros classe C medem com exatidão vazões mais baixas que os B, e esse, menores que A (TSUTIYA, 2018).

Os hidrômetros do tipo velocimétrico são os tradicionalmente utilizados no Brasil, predominando os de classe metrológica B. Ao analisar a sensibilidade dos hidrômetros em vazões baixas, além de considerar a presença da caixa d'água um fator

determinante, é importante ainda levar em consideração a vazão de início de movimento. Abaixo dessa vazão, o erro de medição pode ser de 100%, pois o hidrômetro é incapaz de registrar adequadamente o volume que o atravesse. (TSUTIYA, 2018).

2.5.3 Submedição nos Hidrômetros

A submedição dos hidrômetros corresponde ao registro pelo hidrômetro de um volume de água inferior ao que realmente atravessou o aparelho, acarretando o aumento da quantidade de água que chega ao consumidor e não é paga à prestadora de serviço. Tendo afetada sua acurácia, o hidrômetro pode computar volumes maiores do que as que realmente o atravessaram (erro positivo) ou menores (erro negativo); contudo, experimentos recentes vêm demonstrando erros negativos, no geral (SILVA, 2014). Segundo o estudo realizado por Couvelis *et al.* (2015), as perdas aparentes devido a medição menor que o real de micromedidores são em torno de 5% do consumo para os consumidores domésticos.

O documento gerado pelo então Ministério das Cidades em 2018 com tema de Perdas Aparentes enumera diversas causas que podem contribuir nesta deficiência de medição:

- Dimensionamento incorreto (capacidade e/ou classe metrológica)
- Tecnologia inadequada do medidor
- Instalação inadequada (inclinação do hidrômetro no cavalete, hidrômetro sujeito a Esforço mecânico, choques/vibrações e intempéries)
- Regime de vazões do ramal predial afetado pelo abastecimento indireto, com ação da boia da caixa d'água prejudicando a medição em vazões muito baixas (período noturno e/ou vazamentos internos)
- Deficiências na manutenção da rede de distribuição (o que provoca a existência de partículas sólidas, que podem danificar o hidrômetro e/ou interferir na sua sensibilidade)
- Tempo de uso dos hidrômetros (BRASIL, 2018a).

Para avaliar o dimensionamento, Ilha *et al.* (2010) fizeram um estudo que analisa os melhores métodos de decisão baseados na determinação de vazão de projeto em sistemas prediais hidráulicos. As variáveis de consumo estão diretamente ligadas à eficiência da medição. Para que o sistema apresente a eficiência necessária, é imprescindível a seleção adequada dos medidores a serem utilizados. O correto estabelecimento das vazões de projeto é uma das premissas para o atendimento ao requisito de desempenho de 'confiabilidade' do sistema de medição individualizada.

O posicionamento dos medidores também é causa de erros, pois a instalação em posição inclinada pode influenciar nas medições. Gonçalves e Itonaga (2007) ressaltam que esta atividade é negligenciada pelas companhias de saneamento, perpetuando como um fator de submedição no sistema de micromedição. Existem aparelhos no mercado que podem ser instalados em qualquer posição sem a influencia na medição adequada, o que seria uma opção para as companhias que encontram este problema operacional. A inclinação pode causar maior submedição ou mesmo desgaste de forma mais acelerada comparado ao aparelho na posição correta. A Companhia deve realizar testes de homologação de modelos e recebimento de lotes para verificação destas condições. A Concessionária estudada especifica que, para medidores velocimétricos classe B (na horizontal), devem atender aos requisitos de classe metrológica A ($Q_{min}=30L.h^{-1}$) na posição inclinado a 45 graus. Como a diferença dessas classes está na vazão mais baixa, tem-se que a exigência para uma vazão nominal é a mesma estando inclinado ou não. Ou seja, a submedição causada pela inclinação se dá basicamente nas vazões baixas. Em muitos casos, a inclinação é realizada pelos próprios agentes da companhia, para facilitar a leitura, como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Hidrômetro em posição inclinada



Fonte: CESAN (2019).

Neste contexto, Criminisi *et al.* (2009) desenvolveram um estudo envolvendo 180 hidrômetros que possuíam entre 0 e 45 anos de uso. Neste experimento, verificaram que os hidrômetros com menos de 5 anos apresentaram submedição de 2,6%, enquanto os que tinham entre 40 e 45 anos de uso tiveram submedição de 83,6%. Ainda foram realizadas análises utilizando o parâmetro da vazão. Na vazão de 120 L.h⁻¹, os hidrômetros mais novos (com menos de 20 anos de uso) apresentaram erros positivos, ou seja, registraram um volume maior do que de fato os atravessou.

Dentre os diversos fatores que podem influenciar o erro de medição dos hidrômetros, está o tempo de uso. Na pesquisa de Silva *et al.* (2016), avaliou-se a influência da classe metrológica e do tempo de uso dos hidrômetros na submedição, por meio do estudo em escala piloto e testes de bancada. Comprovou-se redução significativa das perdas aparentes de água por submedição devido à substituição de hidrômetros, e a viabilidade econômica desse investimento. A ação de substituição dos hidrômetros efetivamente minorou as perdas aparentes, pois resultou na redução relativa de 45% das perdas totais de água do mesmo, que passou de 18,9 para 10,4%.

Os resultados de Depexe e Gasparini (2013) demonstram que a submedição de um parque reduziu de 14,8% do volume micromedido em 2011 para 13,7% em 2012, reflexo das ações para renovação do parque de hidrômetros, com foco na

melhoria da eficiência da medição. A renovação do parque de hidrômetros inicialmente deve acarretar um aumento significativo da receita e posteriormente pode haver uma queda devido à eliminação de desperdícios por parte dos clientes, mas acredita-se que ainda acima da anterior a substituição. O usuário quando percebe um aumento na conta tende a controlar mais o consumo, e presta atenção em possíveis defeitos da estrutura, que podem estar gerando vazamentos. Porém, não conseguirá evitar consumos básicos, que não estavam sendo devidamente registrados pelos hidrômetros. Então, provavelmente haverá um aumento da oferta de água tratada, sem investimentos no aumento do volume importado.

Para consumidores que tem em suas instalações caixas d'água com bóia acoplada, a ocorrência de submedição pode ser aumentada. Isso ocorre porque, mesmo que o consumidor utilize uma vazão adequada para atingir a mínima exigida pelo seu medidor, com a presença de caixa d'água com boia acoplada entre o ponto de consumo e o hidrômetro, a vazão será sempre abaixo do consumo instantâneo. Dessa forma, ela pode ser inferior à vazão de início de movimento, na qual o hidrômetro é incapaz de registrar o volume, ou se enquadrar na faixa entre a vazão mínima e a de início de movimento, para a qual não é estabelecido por norma limites para erro de medição, podendo, assim, haver erros significativos (SILVA *et al.*, 2016).

Mutikanga *et al.* (2011c) estudaram dados de 90 consumidores, e foi detectado um valor de submedição de 25% nos hidrômetros das residências que possuíam caixa d'água e de 7% das demais. A maioria dos hidrômetros domésticos (> 5 anos) foi incapaz de registrar fluxos abaixo de 100 L.h^{-1} . Quarenta por cento do consumo de água de residências que possuíam caixa d'água (82% dos consumidores) era feito em baixas vazões ($<100 \text{ L.h}^{-1}$). Para aquelas com abastecimento direto (18% dos consumidores), o consumo em baixas vazões foi inferior a três por cento. Portanto, a provável razão para os altos erros de medição encontrados na cidade de Kampala está na existência de caixas d'água na grande maioria das residências.

Pereira e Ilha (2008) fizeram uma investigação em campo e uma investigação laboratorial. A pesquisa de dados em campo foi efetuada mediante a instalação de medidores volumétricos em série com os medidores das edificações selecionadas e aferição dos medidores em faixas de vazão determinadas. A investigação laboratorial foi efetuada para a verificação do comportamento de uma torneira de bóia

convencional e de uma de alta vazão em uma mesma situação de abastecimento, avaliando-se a ocorrência da submedição. Concluíram que o uso de boias de alta vazão não permite que o sistema opere em vazões abaixo dos limites estabelecidos para os medidores velocimétricos, eliminando os problemas com a submedição, porém tem como principal obstáculo o fato de depender de ações do usuário final para sua devida instalação. Em sistemas de abastecimento indireto, é comum a ocorrência de baixas vazões, devido à utilização de válvulas de bóia convencionais. Analisando-se as vazões mínimas obtidas em campo, vê-se que parte do volume consumido não seria contabilizado, o que contribuiria para uma maior submedição. Para os medidores velocimétricos com vazão nominal igual a $1,5\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, classe B, os erros ponderados foram na ordem de 8,9%, e por meio de uma simulação com medidores volumétricos classe C estes erros poderiam ser reduzidos a praticamente 0.

A escolha do hidrômetro, ou seja, o seu adequado dimensionamento para cada caso específico, é uma etapa importante no processo de micromedição. Para isso, o ideal é possuir dados do consumidor, como a vazão de pico, vazão média, vazão mínima, e a exatidão esperada do aparelho. Veremos que estes dados são obtidos a partir de análises denominadas análise do perfil de consumo. Em um parque de hidrômetros, onde o controle e atenção caso a caso vão de encontro a viabilidade econômica, esta análise deve ser feita de forma conjunta, agrupando conjuntos mais homogêneos possíveis. A partir dessas informações define-se a classe metrológica e a vazão nominal que devem ter os hidrômetros, para que a micromedição seja realizada de maneira eficiente.

2.5.4 Sobremedição nos Hidrômetros

As medições dos volumes consumidos devem apresentar máxima exatidão, garantindo também que não ocorra a sobremedição, contabilizando apenas o justo. Os ensaios determinados pelo INMETRO (2000) para a determinação da curva de erros englobam também o erro positivo dos medidores. As tolerâncias são para mais ou para menos, pois o objetivo é retratar a realidade com a menor margem de variação possível, seja ela positiva ou negativa. A ocorrência de sobremedição dentro das margens de erro aceitáveis são mais comuns em vazões acima das vazões de transição do hidrômetro. Existem algumas situações no campo que podem maximizar

estes erros positivos. Dentre as principais causas, podemos citar os locais onde existe refluxo, chamado de balanço de água na rede. A substituição de medidores velocimétricos por volumétricos, ou ainda, a instalação de válvula antiretorno são soluções que evitariam sobremedição devida ao refluxo.

Com o objetivo de verificar o desempenho de medidores de água, velocimétricos e volumétricos, Scalize *et al.* (2013) realizaram estudo para medidores submetidos a condições de refluxo, ou seja, no sentido inverso. O refluxo é ocasionado pelas variações de pressão entre os ramais e a rede de distribuição, sendo um fenômeno conhecido como “Balanço de Rede”, observado principalmente em ramais onde é feita uma derivação para abastecer outro imóvel. O estudo concluiu que o balanço de água na rede de distribuição exerce influência sobre o volume de água medido. A utilização dos medidores volumétricos resolveria o problema de consumo indevido, ou então a aquisição de hidrômetros velocimétricos que medem com a mesma sensibilidade o fluxo e refluxo, pois foram constatados erros variando de – 15,5% a – 100% no refluxo para os medidores velocimétricos.

Existe também a situação da ocorrência de ar na rede, gerando a rotação do medidor que marca consumo de água devido a passagem de ar em seu sistema, uma das principais preocupações dos clientes consumidores de água, que tem seu consumo aferido por hidrômetros, pois gera uma medição não pertinente, causada pela passagem de ar, e não água. Lopes *et al.* (2011) realizaram uma pesquisa em escala piloto, visando quantificar o volume de ar aferido por hidrômetros residenciais velocimétricos. Sob condições normais de operação da rede, o volume de ar medido pelos hidrômetros é comparável ao encontrado na água natural. Porém, ao analisar a situação logo após esvaziamento da rede interligada ao ramal, para condições de desabastecimento, os autores constataram que quanto maior a duração da paralisação do abastecimento e o comprimento do setor da rede de distribuição, maior será a afluência de ar aos ramais domiciliares.

Em muitas áreas do mundo a distribuição de água é operada de forma intermitente. Esta situação causa impactos negativos nas medições, pois o ar presente na tubulação devido ao seu esvaziamento, após a retomada do funcionamento terá que sair. Uma parte deste ar, chega até os ramais e, conseqüentemente aos hidrômetros

(WALTER *et al.*, 2017). Caso o ar chegue aos ramais, as principais atingidas são as residências localizadas em pontos de extremidade de rede de abastecimento de água.

A vazão de trabalho também interfere na ocorrência de sobremedição, devido ao desgaste do mecanismo interno dos hidrômetros. No estudo de RECH (1991), que testou dois conjuntos de 10 hidrômetros em série, de vazão nominal $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, foram submetidos a trabalhar em condições forçadas durante 34 dias, 24 horas por dia. O primeiro grupo de hidrômetros foi submetido a vazões correspondentes a 50% da vazão nominal, e o segundo, valores próximos a vazão nominal. Os hidrômetros testados registraram volumes acima dos que de fato escoaram, e o efeito maior para os hidrômetros que foram submetidos às vazões mais elevadas. Casos como esse, de sobremedição, embora não causem perdas aparentes e correspondentes a prejuízo financeiro às concessionárias, lesam o consumidor. Portanto, a situação ideal seria, na verdade, a micromedição precisa, isenta de sub ou sobremedições.

Silva (2014) traz em seu estudo uma conclusão sobre a sobremedição de Rech (1999), que elucida que o erro positivo é atribuído apenas a medidores antigos, que possuíam características que acarretavam na incrustação de partículas em suspensão presentes na água, reduzindo o diâmetro dos orifícios de passagem e elevando a velocidade do jato de água incidente sobre a turbina, o que gerava a sobremedição. O autor afirmou que nos hidrômetros atuais já houve a eliminação dessas causas que provocavam erros positivos, e que os erros, provocados pelos desgastes que ocorrem, mesmo com o uso normal, gerando resistências passivas nas peças móveis fazem o medidor registrar menos do que deveria, são negativos.

Um contraponto à esta conclusão do autor é o estudo de Criminisi *et al.* (2009), que observou que, para os ensaios na vazão de $120 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, os hidrômetros mais novos do estudo (com menos de 20 anos de uso) apresentaram erros positivos, ou seja, registraram um volume maior do que de fato o atravessou, prejudicando o consumidor. Além deste, os outros estudos discutidos neste item corroboram para o fato de que a sobremedição acontece e está relacionada às situações específicas às quais o hidrômetros está submetido, e não apenas à questões internas nos medidores, como problemas de incrustação.

2.5.5 Desgaste ao longo do tempo

Sabe-se que os hidrômetros apresentam uma perda de acurácia ao longo do tempo. Além da influência de fatores externos e do meio em que o hidrômetro está inserido, avalia-se que ocorra uma queda de 1% ao ano. A vida útil de um hidrômetro é avaliada entre 5 a 10 anos. Claro que sempre deve-se considerar as condições específicas de cada aparelho, que interferem nestas projeções (qualidade da água, condições de consumo, etc.) (TSUTIYA, 2018).

A periodicidade requerida para manutenção preventiva, leva-se em conta o critério (leitura ou idade), o que suceder primeiro. O hidrômetro também deve ser substituído de forma corretiva, quando forem detectados erros de funcionamento ou quando for testado em bancada metrológica, em laboratório ou *in loco*, e ocorrer alteração na calibração. A Portaria do INMETRO 246 (2000), estabelece as vazões de ensaio para os hidrômetros em utilização, e suas respectivas tolerâncias de erro, como mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Tolerâncias para hidrômetros em uso

Vazão	Erro admissível
Mínima	±10%
Transição	±5%
Nominal	±5%

Fonte: BRASIL (2000).

Existem fatores operacionais, relacionados com condições específicas da região que contribuem para a aceleração do desgaste. A colmatção parcial de dispositivos internos podem fazer com que seja imposta uma velocidade maior de fluxo fazendo com que o medidor seja sujeito a um desgaste acelerado, reduzindo a durabilidade. Já a colmatção total reduz a precisão do equipamento, aumentando as perdas aparentes (SANTIM, 2017).

Um estudo feito por Santim (2017), avaliou medidores velocimétricos durante ensaios de Índice de desempenho de medição (IDM), conforme disposto pela NBR 15.538/2014, antes da fadiga e após a fadiga de 200 horas. Uma parte do lote foi submetida aos ensaios sem filtro retentor de partículas de montante e outra parte submetida aos ensaios com o filtro retentor de partículas de montante. O uso do filtro

após as 200 horas de fadiga resultou em um erro 51,74% menor na vazão de 10 litros por hora quando comparado com os resultados do ensaio sem filtro para a mesma vazão. Nas vazões superiores a 10 litros por segundo a verificação de redução dos erros é da ordem de 1%, havendo, portanto na curva de erros do ensaio sem o filtro uma tendência à sobremedição com o aumento das horas de fadiga quando comparada com a curva do erro do ensaio com filtro, como mostra a Figura 21.

Figura 21 – IDM para as duas amostras – Amostra A sem filtro, B com filtro.



Fonte: Santim (2017).

Para evitar o desgaste excessivo ou inadequado, é necessário dimensionar corretamente os hidrômetros. Para isto, existem alguns parâmetros, mostrados na Figura 22, que podem ser utilizados como base, além do perfil de consumo já citado.

Figura 22 – Dimensionamento de hidrômetro pelo consumo

Consumo provável (m³/mês)	Hidrômetro Designação	Diâmetro do hidrômetro (mm)
0 - 240	1,5 e 3,0	20
241 - 400	5	20
401 - 800	7 e 10	25
801 - 1.600	20	40
1.601 - 2.400	30	50
2.401 - 3.600	300	50
3.601 - 7.200	1.100	80
7.201 - 12.000	1.800	100
12.001 - 36.000	4.000	150
36.001 - 90.000	6.500	200

Fonte: TSUTIYA (2018).

A Concessionária, para que consiga acompanhar as características de desgaste específicas do seu parque, deve criar procedimento padrão de teste de todos os hidrômetros retirados de campo. Assim, todos eles passarão por bancada, criando um banco de dados rico em informações que poderão ser tratadas e servirem de base para tomada de decisões. Adicionalmente a este procedimento, existirão, é claro, testes de verificação de novos hidrômetros, verificações periódicas do parque de hidrômetros, a fim de apurar seu tempo de desgaste.

A situação ideal seria, após cada retirada, o redimensionamento adequado do medidor para o local em questão, baseando-se em dados históricos de consumo mais atuais, para que a micromedição atinja um nível cada vez mais eficiente. Ao reunir critérios de gestão e dimensionamento de hidrômetros, a SABESP, de acordo com JUNIOR (2017), criou um aplicativo para o redimensionamento dos hidrômetros, em que o aplicativo calcula e dimensiona o hidrômetro adequado para o consumidor conforme seu histórico de consumo, como mostrado na Figura 23.

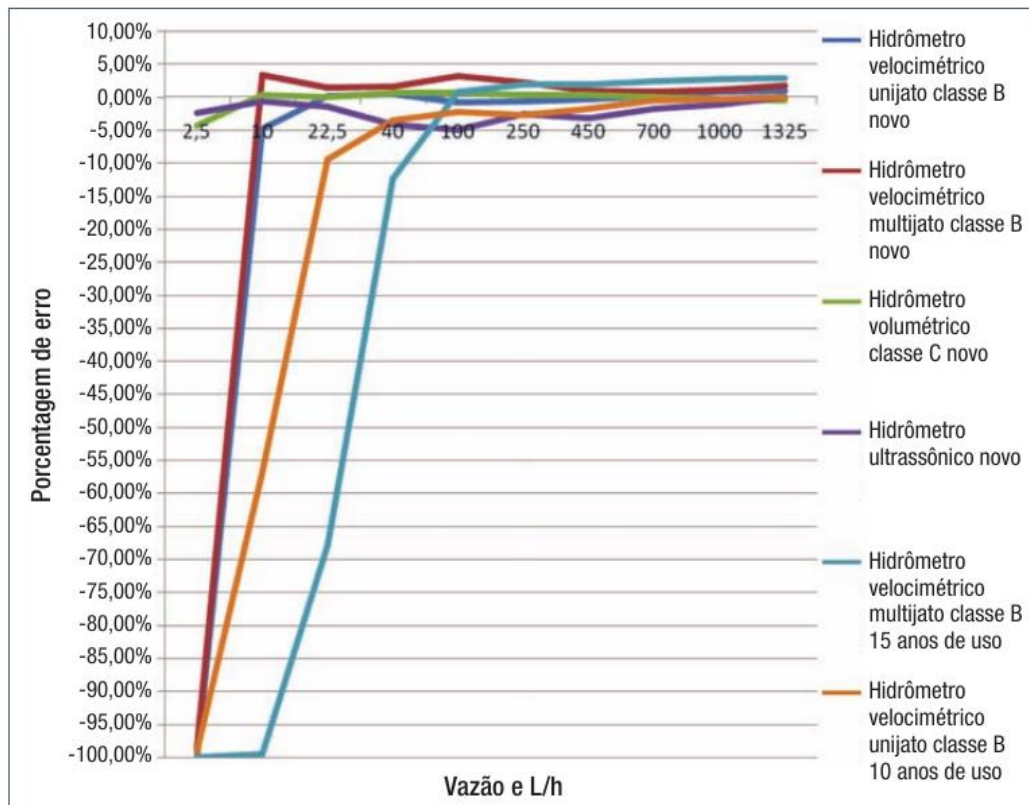
Figura 23 – Aplicativo de redimensionamento de Hidrômetros



Fonte: Junior (2017).

A NBR 15.538/2014 recomenda que as análises de desgaste ao longo do tempo sejam feitas respeitando as diferentes características de cada hidrômetro. Portanto, deve-se separá-los em estratos homogêneos e realizar os levantamentos. Eles têm padrões específicos de trabalho, e, portanto, de desgaste, conforme mostra a Figura 24.

Figura 24 - Comparação do erro de medição entre hidrômetros de variados tipos, modelos e idades



Fonte: Junior (2017).

Para o caso do tipo de hidrômetro analisado neste trabalho – velocimétrico- a hipótese é que o desgaste ao longo do tempo acontece pois, a turbina, que gira em torno de um eixo, está o tempo todo em contato com a água. Com o atrito, há um aumento do desgaste. Ao olhar para as vazões mais altas, este atrito é reduzido pois a turbina gira um pouco mais “livre” devido a maior velocidade, diminuindo a submedição. Nas vazões mais baixas, a turbina “se acomoda”, trabalhando de forma mais assentada, contribuindo para o aumento do atrito e, conseqüente aumento de erros e fadiga.

2.5.6 Avanços normativos

Dentre os documentos técnicos e regulatórios aplicados a este estudo, pode-se destacar três.

O primeiro, a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 15.538/2014: Medidores de água potável — Ensaio para avaliação de eficiência. Esta norma especifica os critérios e procedimentos para avaliação da eficiência em medidores de água potável fria, com vazão permanente de até 25 m³.h⁻¹. Além das verificações, com o intuito de apoiar a atuação dos prestadores no combate às perdas

aparentes, trouxe também a metodologia de análise de desempenho dos medidores. Entre 2007 e 2008 foi lançada a primeira edição da Norma NBR 15.538, que introduziu no mercado a metodologia de cálculo do IDM. A revisão de 2014 veio para corrigir adequações necessárias ao método (BRASIL, 2018a).

O segundo documento base é a Portaria nº 246 de 17 de outubro de 2000. Esta portaria estabelece as condições a que devem satisfazer os hidrômetros para água fria, de vazão nominal até quinze metros cúbicos por hora. Cada modelo de hidrômetro deve ser submetido ao INMETRO para aprovação. São nove ensaios listados pela Portaria para aprovação de modelo de hidrômetros:

- I. ensaio hidrostático - estanqueidade;
- II. verificação de funcionamento inverso;
- III. determinação dos erros - curva de erros (5 vazões);
- IV. determinação de perda de carga;
- V. ensaios de desgaste acelerado - fadiga;
- VI. ensaio de blindagem magnética (para hidrômetro de transmissão magnética);
- VII. ensaio de verificação de eficiência da transmissão magnética;
- VIII. desempenho – apenas para os medidores com dispositivos eletrônicos;
- IX. ensaio da faixa de regulagem, se apropriado.

Existe também a verificação inicial, que deve ser feita quando o lote é fabricado (ou importado) e, antes da comercialização, estes medidores devem ser testados. Neste caso, a portaria determina dois ensaios:

- I. ensaio de estanqueidade; e,
- II. determinação dos erros de indicação (3 vazões).

Além destas duas situações de aprovação de medidores, a Portaria também traz a indicação de como proceder para verificações periódicas e eventuais, ou seja, hidrômetros em uso. A Portaria determina que as verificações eventuais podem ser efetuadas nos hidrômetros em uso a pedido do usuário, ou quando as autoridades competentes julgarem necessária.

- I. determinação dos erros de indicação (3 vazões).

A Portaria 246/2.000 deu lugar a Portaria 295/2.018, porém haverá um período de transição de 3 anos para aplicação dos novos requisitos metrológicos. Houve uma alteração nas vazões características de teste, com o objetivo de aumentar o embasamento de decisões de dimensionamento adequado de hidrômetro para cada consumidor.

Houve uma mudança de nomenclatura e de parâmetros nas vazões características dos hidrômetros. A Figura 22 demonstra a mudança de nomenclatura. Os parâmetros novos são:

$$Q4 = 1,25 \times Q3;$$

Q3: é definida conforme valores em tabela;

$$Q2 = 1,6 \times Q1;$$

Q1: é definida pela Relação $Q3/Q1$, dos valores definidos em tabela.

Figura 25 – Mudanças da nomenclatura nas vazões características do hidrômetro

RTM 246/2.000	RTM 295/2.018
Vazão Máxima – Qmax	Vazão de Sobrecarga - Q4
Vazão Nominal – Qn	Vazão Permanente - Q3
Vazão de Transição – Qt	Vazão de Transição - Q2
Vazão Mínima - Qmin	Vazão Mínima - Q1

Fonte: Brasil (2018a).

Este estudo continua adotando a nomenclatura da Portaria 246/2.000, seguindo os procedimentos da concessionária detentora dos dados, visto que há uma tolerância de adaptação e transição para a adequação às mudanças de 3 anos, e a concessionária ainda está neste processo de adequação.

A Portaria 246/2.000 trazia como direcionamento para verificações periódicas e eventuais as seguintes recomendações:

- As verificações periódicas são efetuadas nos hidrômetros em uso, em intervalos não superiores a cinco anos.
- As verificações eventuais são efetuadas nos hidrômetros em uso a pedido do usuário, ou quando as autoridades competentes julgarem necessária.

Este direcionamento foi alterado pela nova Portaria 295/2.018, que determinou que os medidores em uso serão aprovados em verificações subsequentes, e devem ser submetidos à verificação subsequente, em intervalo não superior a 7 (sete) anos, contados a partir do ano de sua instalação. A concessionária estudada já adota este novo critério da Portaria 295/2.018, além de possuir outros parâmetros, como leitura máxima de volume totalizado de 2.000m³, e outras análises comerciais, aliadas ao planejamento geral do parque.

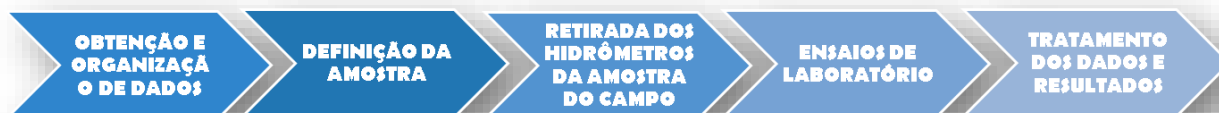
3 METODOLOGIA

Este capítulo visa explicar a base metodológica usada para compor o presente estudo, bem como a base de dados utilizada. A metodologia proposta foi aplicada para a avaliação do desempenho do parque de hidrômetros da Grande Vitória.

No desenvolvimento da pesquisa, deve-se buscar que os dados assegurem o valor científico das informações e conclusões obtidas. No caso da pesquisa deste estudo, baseia-se no registro da ocorrência natural de características, ou seja, das ocorrências relativas aos medidores instalados apresentados por uma amostra da população de hidrômetros.

A pesquisa, por sua finalidade de contribuir com questões de ordem prática identificadas no contexto social em que a pesquisadora se insere, caracteriza-se como aplicada. Para chegar aos objetivos estabelecidos, algumas etapas serão necessárias. As etapas da pesquisa seguirão o fluxo da Figura 26.

Figura 26 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Elaborado pela autora.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O Parque de hidrômetros estudado localiza-se no Espírito Santo, e contempla a região metropolitana da Grande Vitória, demonstrada no mapa da Figura 27.

Figura 27 – Mapa da Região Metropolitana da Grande Vitória.



Fonte: IJSN (2011)

O parque de hidrômetros, inserido no conjunto de infra-estrutura do sistema de abastecimento de água, é administrado pela concessionária CESAN. Existe uma variedade de tipos de aparelhos micromedidores instalados, assim como uma variação de idade de instalação, conforme mostra o Quadro 01.

Quadro 01 – Parque de Hidrômetros da Grande Vitória

ANOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	TOTAL
Tipos de Hd's	Quantidade de HD's											
1,5m³/h	51.766	80.798	38.625	24.139	21.823	28.917	22.718	6.954	7.849	7.014	35.615	326.218
3,0m³/h	2.424	1.779	2.919	524	795	947	171	469	121	13	997	11.159
3,1m³/h ultrassônico	381	551	0	0	0	0	0	0	0	0	0	932
7,0m³/h	743	621	218	130	241	125	3	0	0	0	0	2.081
12,5m³/h ultrassônico	186	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	208
20,0m³/h	13	78	28	1	16	7	2	0	0	0	0	145
50mm Mecânico	7	37	6	0	1	0	0	0	1	0	0	52
50mm Ultrassônico	188	91	60	109	92	44	0	0	0	0	0	584
80mm Ultrassônico	0	0	0	0	1	9	0	0	0	0	0	10
100mm Ultrassônico	5	5	2	0	1	3	0	0	0	0	0	16
150mm Ultrassônico	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
Total do parque:												341.407

Fonte: CESAN (2019).

Mais de 95% do parque é composto por hidrômetros do tipo $1,5\text{m}^3.\text{h}^{-1}$. Esta nomenclatura é utilizada pela Concessionária para identificar hidrômetros com vazão máxima de $1,5\text{m}^3.\text{h}^{-1}$, vazão nominal de $0,75\text{m}^3.\text{h}^{-1}$, do tipo velocimétrico, DN 20mm (3/4"), Mecânico. A classe metrológica é a B.

A Aesbe (2015) traz como recomendação a análise por classe metrológica separadamente, para que as comparações possam ser feitas com maior precisão e propriedade. Portanto, este trabalho se concentra na análise deste estrato, demonstrada a sua representatividade no todo do parque metrológico.

Na Grande Vitória, o desempenho do parque de hidrômetros é desconhecido, pois dentro dos procedimentos padrões da Concessionária, não há um direcionamento especificamente para a avaliação preventiva do parque. As verificações eventuais devem ser efetuadas nos hidrômetros em uso a pedido do usuário, ou quando as autoridades competentes julgarem necessário. No caso da região em estudo, as verificações são feitas apenas após acionamento do usuário. O hidrômetro é testado e o resultado aponta o erro de medição detectado em bancada. O ensaio pode ser acompanhado pelo reclamante.

A Concessionária responsável pelo parque possui seus critérios definidos de manutenção preventiva dos medidores, como a idade máxima de 7 anos, leitura máxima de volume totalizado de 2.000m^3 , e outras análises comerciais. Para esta avaliação, será feita a análise do parque por idades, atendendo a recomendação conforme Figura 28.

Figura 288 - Critérios de reflexão para elaboração de um plano de manutenção do parque de hidrômetros.

<i>Ação Sugerida</i>	<i>Critério</i>	<i>Conceito</i>
<i>Corretiva - Adequação da Instalação</i>	<p>Códigos de leitura referentes à inadequação da instalação do hidrômetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hidrômetro não-localizado; ▪ Hidrômetro sujo; ▪ Hidrômetro soterrado; ▪ Imóvel desocupado; ▪ Imóvel não localizado caixa de proteção quebrada; ▪ Caixa de proteção inundada; ▪ Imóvel fechado; ▪ Leitura não permitida; ▪ Hidrômetro difícil acesso; ▪ Veículo estacionado sobre caixa do hidrômetro. 	Todos os códigos de impedimento de leitura que determinam alguma ação de adequação do hidrômetro e respectivas instalações, independente do tempo de instalação e da leitura acumulada.
<i>Corretiva – Suspeita de Fraudes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Códigos de fraudes; • Consumo zero sem ocorrência de leitura. 	Procedimento Operacional de Gestão de Fraudes/ Tabela de Critérios
<i>Preventiva</i>	Tempo de instalação.	Tempo máximo (em meses) de uso de um hidrômetro a partir do qual há viabilidade financeira para troca.
	Volume acumulado.	Volume total acumulado medido no hidrômetro.
<i>Redimensionamento</i>	Capacidade do hidrômetro x consumo mensal.	Faixa de consumo ideal do hidrômetro, segundo sua capacidade, com o consumo medido.

Fonte: Brasil (2018a)

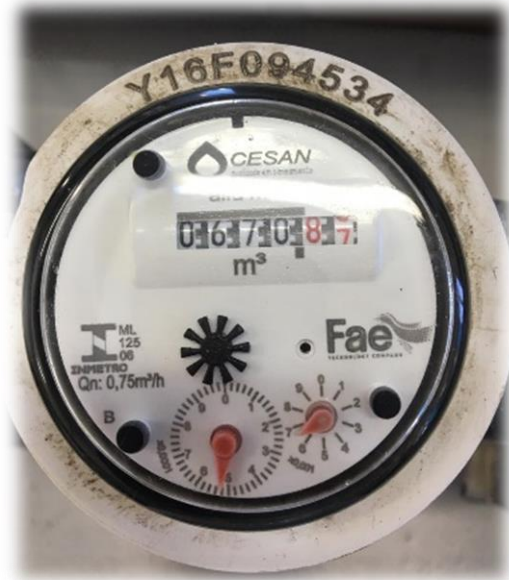
3.2 OBTENÇÃO E ORGANIZAÇÃO DE DADOS

Os dados de entrada do município necessários para o desenvolvimento desta pesquisa fazem parte do conjunto de informações referentes às economias com hidrômetro. Neste trabalho os dados de data de instalação estavam disponíveis, e foram retirados do sistema da concessionária afim de representar a idade dos medidores, tornando a pesquisa e os resultados mais precisos e representativos da realidade. Além da idade dos Hd's, dados como consumo medido por economia, foram disponibilizados pela Concessionária, detentora de tais informações.

As datas de instalação e de retirada foram tratadas, e transformadas em anos. Estes dados foram cruzados, posteriormente, aos resultados dos ensaios que foram

realizados, através do dado nomeado “Código do Hidrômetro”, que também está presente nos resultados dos ensaios após leitura de cada hidrômetro na bancada, feita através de código presente na carcaça do medidor, conforme Figura 29.

Figura 29 – Leitura do Hidrômetro



Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados retirados do sistema da concessionária após os ensaios foram organizados conforme exemplo mostrado na Tabela 01.

Tabela 01 – Exemplo de formato de disponibilização de dados

Hidrômetro	Matrícula	Situação da Ligação de Esgoto	Bairro	Logradouro	Data de Instalação	Data de Retirada	Leitura de Retirada	Fabricante	Volume medido médio mensal (dos últimos 12 meses)
Y13S000000	00000	Ativa	SAO CRISTOVAO	MANOEL MARQUES	20130815	20190514	1639	ACTARIS	23.730

Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados referentes a idade dos HD's foram o resultado correspondente subtração entre a data de retirada e a data de de instalação. Para a divisão e classificação por idades, a organização conforme Tabela 02 foi adotada:

Tabela 02 - Classificação dos hidrômetros de acordo com o intervalo de idade

Intervalo de idade	Classificação
≤ 1 ano	1 ano
$>1 \leq 2$	2 anos
$>2 \leq 3$	3 anos
$>3 \leq 4$	4 anos
$>4 \leq 5$	5 anos
$>5 \leq 6$	6 anos
$>6 \leq 7$	7 anos
$>7 \leq 8$	8 anos
$>8 \leq 9$	9 anos
$>9 \leq 10$	10 anos
>10	>10 anos

Fonte: Elaborado pela autora.

3.3 DEFINIÇÃO DA AMOSTRA

O tamanho da amostra necessária para a representação de uma população depende do nível de confiança desejado, da precisão requerida e do desvio-padrão de uma amostra. O Intervalo de Confiança definirá de forma objetiva a credibilidade da estimativa, representando o intervalo de valores que contém a média da população com uma determinada probabilidade de acerto. A definição de métodos e de técnicas de pesquisa devem ser feitas com seletividade, moldadas de acordo com cada situação específica, para que estes se tornem ferramentas úteis para o objetivo de uma pesquisa (SZWARCOWALD *et al.*, 2008; LAY *et al.*, 2005).

O medidor pode variar em função do funcionamento, da classe metrológica e da vazão nominal. Portanto, de acordo com os hidrômetros utilizados pela companhia de saneamento, determinou-se uma classe metrológica e uma única vazão nominal de maior relevância, que foram tomadas como a população de estudo.

Mutikanga *et al.* (2011c) agrupou os medidores por faixas de idade (1 a 2 anos, 3 a 5 anos, 6 a 8 anos, 9 a 11 anos, 12 a 14 anos e 15 anos ou mais). O tipo de hidrômetro escolhido também representava 95% de todo o parque, portanto apenas esta especificação foi testada. As amostras foram retiradas de diferentes partes da rede de distribuição, para criar uma população homogênea. Idealmente, quanto maior a amostra mais representativa ela é da população. Porém, existem restrições que demandam uma análise da situação ideal *versus* situação possível.

Criminisi *et al.* (2009) executaram experimentos de laboratório para obter as curvas de erro para medidores em diferentes idades e classes que estavam em serviço em Palermo, Italia. Um total de 180 hidrômetros foram coletados e testados, sendo estes provenientes de 9 faixas de idade determinadas (0 a 5, 5 a 10... até 40 a 45 anos), com uma amostra de 20 hidrômetros para cada idade.

Arregui *et al.* (2006) determinaram erros ponderados de hidrômetros, utilizando uma metodologia que envolveu amostragem estratificada e por grupos. Os medidores foram agrupados por idade.

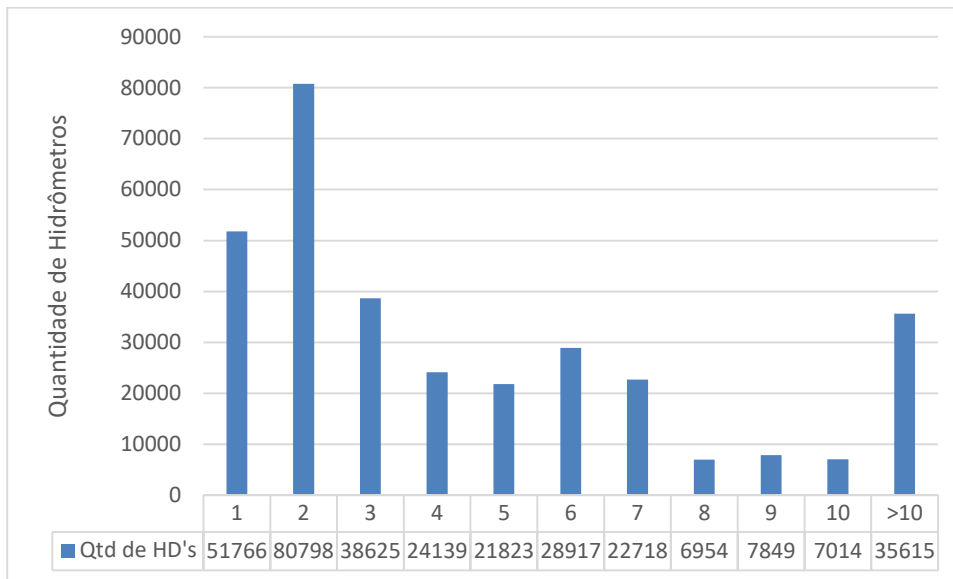
Em estudo realizado por Mendes *et al.* (2018), em Guarulhos, a dimensão da amostra foi definida seguindo critérios estatísticos, sendo adotada para a população de 394.270 hidrômetros o nível de confiança de 99% e erro máximo desejado de 4,5% resultando em uma amostra de 819 hidrômetros.

Neste estudo a amostra foi escolhida englobando diferentes áreas da região de estudo. Conforme explicitado, mais de 95% do parque se caracteriza por hidrômetros com hidrômetros velocimétricos, unijato, classe de vazão B. do tipo $1,5\text{m}^3.\text{h}^{-1}$, com vazão máxima de $1,5\text{m}^3.\text{h}^{-1}$, vazão nominal de $0,75\text{m}^3.\text{h}^{-1}$, DN 3/4". Portanto, a população deste estudo em questão são 326.218 ligações de água com medidores com essas características.

As determinações amostrais foram definidas com base nos resultados esperados. Para o cálculo da amostra utilizou-se uma margem de erro de 5 %, e um intervalo de confiança de 95%. Como desejamos encontrar uma amostra com alta confiabilidade, adotamos um desvio padrão alto, de 50%. Assim, usando a fórmula da estimativa de tamanho de amostras para distribuições normais, definimos o tamanho (n) aceitável para a amostra, resultando em um valor de, no mínimo, 385 unidades..

A fim de avaliar a interferência do tempo de uso nos aparelhos, o primeiro procedimento realizado nesta etapa foi segregar os hidrômetros classe B retirados em grupos, de acordo com o tempo de utilização dos mesmos. Dentre cada população homogênea de idade e classe metrológica, existia uma heterogeneidade de fabricantes, que foram selecionados aleatoriamente. O Gráfico 01 mostra o parque separado por idades na data da pesquisa.

Gráfico 01 - Levantamento de hidrômetros existentes no Parque em Ago/2019



Fonte: Elaborado pela autora.

Idealmente, a separação da amostra total dos 385 hidrômetros deveria ser feita de forma proporcional a quantidade existente no parque. Porém, como o parâmetro de estratificação é a idade, ele é constantemente modificado ao longo do tempo. Portanto, por questões operacionais e de viabilidade do trabalho, aumentamos o número amostral total, porém a divisão amostral por estrato não foi feita desta forma. Foram ensaiados 468 hidrômetros, e a divisão resultante, dentro das possibilidades do trabalho, entre as idades no momento de retirada está demonstrada na Tabela 03.

Tabela 03 - Divisão amostral por idade

Idade	Amostra
1	34
2	28
3	34
4	33
5	55
6	55
7	138
8	29
9	25
10	13
>10	14
Total	458

Fonte: Elaborado pela autora.

Na tabela, percebe-se uma redução 10 medidores em relação à amostra inicial, pois os seus resultados, no tratamento de dados, foram expurgados devido a inconsistência dos dados no sistema de armazenamento de dados comerciais da concessionária.

3.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Este estudo se baseia na Portaria nº 436 do INMETRO, de 16 de novembro de 2011, para direcionamento dos ensaios de laboratório. A verificação metrológica de hidrômetros é feita através de ensaios em bancada própria certificada pelo Inmetro. Para “Verificações Periódicas e Eventuais” de hidrômetros em uso, a tendência do erro sistemático a ser analisada, de acordo com a Portaria, seria para as vazões mínima, de transição e nominal. A Portaria estabelece 3 faixas de vazão seguindo estes valores: entre Q_{min} e $1,1 Q_{min}$; entre Q_t e $1,1 Q_t$; e entre $0,45 Q_{max}$ e $0,50 Q_{max}$. Conforme a Figura 30, podemos obter as vazões de análise para esta a classe metrológica B.

Figura 30 - Classes de hidrômetros e correspondentes valores das vazões mínima (Q_{min}) e vazão de transição (Q_t).

Classes Metroológicas		VAZÃO NOMINAL (m^3/h)									
		0,6	0,75	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	6,0	10,0	15,0
A	Q_{min} (m^3/h)	0,024	0,030	0,040	0,060	0,100	0,140	0,200	0,240	0,400	0,600
	Q_t (m^3/h)	0,060	0,075	0,100	0,150	0,250	0,350	0,500	0,600	1,000	1,500
B	Q_{min} (m^3/h)	0,012	0,015	0,020	0,030	0,050	0,070	0,100	0,120	0,200	0,300
	Q_t (m^3/h)	0,048	0,060	0,080	0,120	0,200	0,280	0,400	0,480	0,800	1,200
C	Q_{min} (m^3/h)	0,006	0,0075	0,010	0,015	0,025	0,035	0,050	0,060	0,100	0,150
	Q_t (m^3/h)	0,009	0,011	0,015	0,0225	0,0375	0,0525	0,075	0,090	0,150	0,225

Fonte: INMETRO (2000)

Os hidrômetros são considerados dentro do aceitável caso os erros não ultrapassem $\pm 10\%$ entre Q_{min} , inclusive e Q_t , exclusive; e $\pm 5\%$ entre Q_t , inclusive e Q_{max} , inclusive. As verificações devem ser realizadas em instalações especificamente aprovadas pelo INMETRO.

Para este estudo, determinou-se que as vazões de análise seriam 5. O mínimo para esta análise, como já mencionado, de acordo com a Portaria, são 3. Para uma curva de erros mais rica e precisa, analisou-se: Q_{min} , $2Q_{min}$, Q_t , $2Q_t$ e Q_n . Os valores correspondentes a estes pontos, para a especificação dos Hidrômetros que estamos analisando (classe metrológica B e $Q_{max}=1,5m^3.h^{-1}$), são: $15l.h^{-1}$, $30l.h^{-1}$, $60l.h^{-1}$, $120l.h^{-1}$, $750l.h^{-1}$.

Os hidrômetros são posicionados em série na bancada de ensaios. A bancada de ensaios de hidrômetros é uma instalação construída, montada e equipada de modo a se alcançar as condições de ensaio determinadas para verificações de hidrômetros.

O estudo utilizou a bancada do tipo volumétrica (Figura 31), que possui como padrão de trabalho, uma medida materializada de volume. A bancada gravimétrica possui como padrão de trabalho, uma balança (BRASIL, 2018).

A bancada volumétrica consiste em um tanque abastecido com água, tubulações, um tanque transparente calibrado para a estimativa precisa de volume, medidor de pressão. Os tubos são compostos por uma seção de teste na qual o medidor é colocado, válvulas para estabelecer a taxa de vazão desejada, um ou mais purgadores de ar, um dispositivo de não retorno. A bancada deve ser inspecionada anualmente pelos Órgãos Metrológicos Delegados do Inmetro e devem cumprir os requisitos estabelecidos na Norma de Procedimento nº NIT-SEFLU-007 (BRASIL, 2018b). A primeira leitura é feita, juntamente com a leitura do código dos hidrômetros, para anotação.

Figura 31 – Bancada de ensaios



Fonte: Elaborado pela autora.

Neste ensaio, a bancada é preparada para emitir a vazão de análise. Para cada uma das vazões, existe um volume indicado a ser circulado. Este volume é conhecido e controlado, através dos dispositivos da bancada.

Em se tratando dos padrões de volume, estes devem ter capacidade que permitam um tempo de escoamento não inferior a dois minutos, visando minimizar os efeitos causados pelo tempo de escoamento em que a vazão não esteja dentro dos limites de variação estabelecidos pela norma. A bancada que tenha padrões volumétricos é recomendável que as medidas materializadas de volume tenham capacidade de 2, 5, 10, 50 e 100 litros para que seja possível deslocar volumes compatíveis com cada uma das vazões de ensaio, para que o tempo de escoamento não seja longo demais e dificulte a realização de ensaios em muitos medidores (ABNT, 2014). Neste estudo, para a vazão de 750l.h^{-1} , o volume utilizado para escoamento foi de 50 litros. Esta é a única vazão, por ser a mais elevada, que a bomba com potência regulada para atingir o escoamento esperado foi utilizada. Para os outros valores de vazão, são utilizados reservatórios elevados aproveitando a força da gravidade para chegar ao escoamento pretendido. Nos valores de vazão na faixa de transição (60l.h^{-1} e 120l.h^{-1}) o volume utilizado foi de 10 litros. Nas duas menores vazões (15l.h^{-1} e 30l.h^{-1}), utilizou-se 5 litros. Para cada uma das vazões são realizadas 3 leituras consecutivas, e a média dos erros é considerada como resultado. A figura 32 demonstra parte dos equipamento, como os registros de controle.

Figura 32 – Laboratório de ensaios



Fonte: Elaborado pela autora.

3.4.1 Determinação da Curva de erros

A determinação dos erros de indicação consiste em comparar as indicações do hidrômetro antes e após o escoamento do volume ensaiado, em vazão específica. Na representação gráfica dos erros de indicação, utiliza-se o erro relativo (percentual) apresentado pelo hidrômetro ensaiado, calculado segundo a equação (BRASIL, 2000):

$$E = \frac{(L_f - L_i) - V_e}{V_e} \times 100$$

Onde:

E = Erro relativo em percentagem (%);

L_i = Leitura inicial do hidrômetro;

L_f = Leitura final do hidrômetro;

V_e = Volume escoado recolhido na medida de capacidade aferida.

Criminisi *et al.* (2009) realizaram o mesmo ensaio, e explicam que este ensaio consiste em testes realizados no laboratório, com uma bomba de velocidade variável, alimentada por um tanque de nível fixo posicionado no telhado do laboratório. Isso garante um fluxo imperturbável e que a pressão na entrada do medidor nunca excede a pressão operacional do medidor (10 bar). A quantidade de água passada através do hidrômetro é coletada em tanque calibrado e a quantidade determinada volumetricamente. A taxa de vazão é mantida constante durante cada teste e a medição foi realizada após as condições de vazão se estabilizarem. O medidor foi lido após a operação. O volume coletado no tanque é o volume passado. O erro de medição é verificado comparando o medidor durante o teste com o tanque calibrado.

Na representação gráfica da curva de erros, as vazões de ensaio são apresentadas no eixo das abscissas, em escala logarítmica, e o valor dos erros de indicação no eixo das ordenadas. Na determinação da curva de erros os pontos determinantes devem ser a média aritmética dos resultados de três ensaios. Arregui *et al.* (2006) afirmam que a forma da curva de erros do medidor, define a capacidade do instrumento de medir volumes de água ao longo da sua vida. Nem todas as tecnologias têm a mesma taxa de degradação, ou taxa de decaimento da acurácia ao longo do tempo. Além disto, influências externas como, por exemplo, a qualidade da água, podem influenciar cada modelo de formas diferentes. Portanto a curva de erros deve, conseqüentemente, ser obtida para cada tipo de medidor e utilidade específica.

Os erros máximos permitidos para medidores em uso são determinados pelo INMETRO (2000), e são variáveis de acordo com a vazão analisada, devido a sensibilidade de cada uma das situações. Portanto, em maiores vazões o erro aceitável é maior. A tolerância é tanto negativa quanto positiva. Os erros aceitáveis estão enumerados na Tabela 04.

Tabela 04 – Erros aceitáveis de acordo com o INMETRO

	Q_n	2Q_t	Q_t	2Q_{min}	Q_{min}
ERRO ACEITÁVEL INMETRO	5,00%	5,00%	5,00%	10,00%	10,00%

Fonte: Elaborado pela autora.

3.5 IDM E ESTIMATIVA DE PERDA

A determinação do IDM (Índice de desempenho de medição) consiste em estimar a submedição de um parque de hidrômetros a partir de uma Curva de Desempenho da Medição. Esta curva expressa a eficiência média da medição dos hidrômetros em função do tempo de instalação. Desta forma, cada ano está associado a um Índice de Desempenho da Medição, que representa a porcentagem da água consumida que o hidrômetro consegue medir. O método para determinação da submedição do parque de hidrômetros utilizando o IDM associa o desempenho do hidrômetro levantado em laboratório com o perfil de consumo da população. O IDM é um parâmetro de avaliação do desempenho do medidor que permite calcular qual é a capacidade que um equipamento qualquer tem de registrar o volume por ele escoado, baseado em um perfil de consumo (regime de vazões x volume totalizado) (ABNT, 2014; AESBE, 2015).

As fórmulas para cálculo dos Erros Ponderados - EP e do IDM são as seguintes:

$$EP\% = \frac{\sum[(\text{erro } Qx) \times (\text{Peso } Qx)]}{100}$$

$$IDM = 100\% + EP$$

A determinação do IDM do parque de hidrômetros é uma ação que deve ser desenvolvida anualmente, na qual se faz uma amostragem do parque de medidores e os submeter ao ensaio de IDM conforme proposto pela NBR 15.538/2014. O IDM e os ensaios de verificação periódica e eventual, previstos pela Portaria INMETRO nº246/2000 devem ser utilizados como critério para definir o momento de troca dos hidrômetros sem que ocorra a elevação dos índices de submedição.

3.5.1 Perfil de consumo

O perfil de consumo é uma análise que permite caracterizar o consumo dos imóveis. A ocorrência de vazões próximas à nominal dos hidrômetros é menos frequente, situando-se na maior parte das vezes na faixa inferior à vazão mínima. Esse fato é muito importante na submedição dos hidrômetros, principalmente nos imóveis que têm caixa d'água domiciliar. O efeito caixa d'água faz com que as vazões que passam pelo hidrômetro sejam menores do que a vazão que de fato esteja sendo demandada pela residência, devido ao amortecimento proporcionado pelo volume da caixa d'água.

Portanto, isto faz com que o medidor trabalhe mais tempo em vazões muito baixas, onde a imprecisão do hidrômetro é muito mais significativa. No Brasil há grande incidência de residências com reservatório, pois a tradição da construção civil é esta. O perfil de consumo padrão da NBR 15.538/2014 foi feito baseado na região brasileira, portanto caracteriza-se por um padrão de consumo com este tipo de interferência (caixa d'água) (TSUTIYA, 2018; TARDELLI FILHO, 2015).

Muitos estudos foram publicados sobre a determinação de perfis de consumo. Arregui *et al.* (2006) fizeram medições de consumo na Espanha e na América do Sul. Foram escolhidas amostras com características bem distintas com o intuito de identificar o comportamento de consumo e as vazões passando nos hidrômetros. Os resultados foram classificados em tipo 1, 2 e 3, sendo 1 apartamento com abastecimento direto, 2, apartamento com caixa d'água suspensa, e 3 casa com jardim. As conclusões estão mostradas na Figura 33, chegando a um resultado bastante discrepante no tipo 3, em comparação ao tipo 1 e 2, principalmente em altas vazões. Além disto, destaca-se a vazão mais baixa (0-12l.h⁻¹) no tipo 2, que obteve 10% do seu funcionamento nesta faixa, agravando a situação da submedição. Em qualquer caso, o valor mais importante a se atentar em um perfil de consumo é aquele volume consumido nas faixas de vazão baixa (Arregui *et al.*, 2006).

Figura 33 – Perfil de consumo para diferentes tipos de edificações

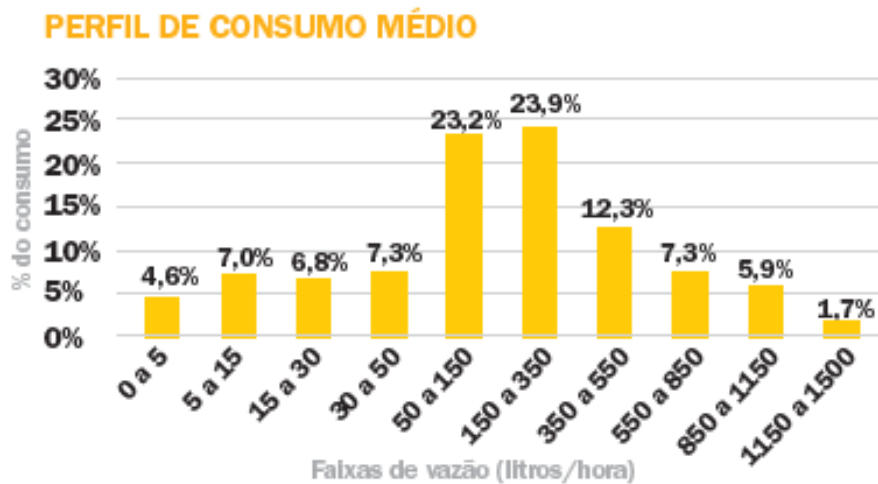
VAZÃO	TIPO I	TIPO II	TIPO III
0-12 l/h	4,7%	10,0%	2,7%
12-24 l/h	2,8%	3,1%	1,9%
24-36 l/h	1,9%	1,8%	1,6%
36-72 l/h	4,3%	4,2%	4,5%
72-180 l/h	8,5%	11,6%	5,7%
180-1500 l/h	75,7%	69,3%	63,6%
1500-3000 l/h	1,9%	0,0%	17,3%
>3000 l/h	0,2%	0,0%	2,7%
Consumo médio	<u>Aprox: 500l/dia</u>	<u>Aprox: 500l/dia</u>	<u>Aprox: 1.200l/dia</u>

Fonte: Adaptado de Arregui *et al.* (2006).

A NBR 15.538/2014 apresenta um perfil de consumo padrão, definido pelo grupo de trabalho de hidrômetros, que se reúne para elaborar as normas referentes aos hidrômetros utilizados no Brasil. Durante a elaboração da norma, vários prestadores

apresentaram seus estudos de levantamento de perfil que após avaliados, comparados e harmonizados, resultaram em um Perfil de Consumo que pode-se chamar de perfil de consumo Típico no Brasil, mostrado na Figura 34. Os percentuais, para o perfil de consumo, são a caracterização do regime de vazões típico de uma região, neste caso o Brasil (AESBE, 2015).

Figura 34 – Perfil de consumo médio proposto no Brasil



Fonte: AESBE (2015)

As concessionárias dispõem do dado de consumo mensal das residências em sua base de dados. Ou seja, este é um consumo levantado, totalizado em um intervalo de tempo, que não considera as variações características, com máximos e mínimos, horários, apenas um número total absoluto. Portanto, ao dimensionar um hidrômetro dispondo apenas deste dado, não se garante que, por exemplo, não atravessem pelos hidrômetros vazões superiores às máximas. Há a necessidade de implantar pesquisas que permitam determinar as características de consumo típicas de cada região e a partir disso fazer um dimensionamento adequado, de forma que os campos de medição dos hidrômetros coincidam o máximo possível com suas vazões de trabalho. Porém, a prática de se basear em um volume totalizado em um período (mês ou ano) é a forma mais simples e mais utilizada. Há um problema nisto, pois como este método simplifica um dimensionamento que é mais complexo e envolve outras variáveis, ao generalizar, pode-se estar implantando hidrômetros com capacidade de vazão mais elevada que o necessário, e isto pode resultar em um aumento dos erros em pequenas vazões. E, se, ao contrário, a vazão exceder a vazão máxima do medidor, o hidrômetro sofrerá desgaste acelerado ou se tornará mais suscetível a inconformidades de funcionamento.

3.6 CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

O estudo baseou-se em uma análise do parque com a idade como principal critério de estratificação. Porém, existem outros dados disponíveis, que também devem ser considerados nesta análise. O volume micromedido acumulado até o dia da retirada dos hidrômetros testados é um deles. Este dado nos fornece a informação de quanto volume absoluto passou por este medidor, e não apenas por quantos anos ele trabalhou. Portanto, é baseado neste direcionamento que a análise de correlação será desenvolvida.

Pode-se realizar uma análise na tentativa de determinar a existência de relação entre variáveis. O primeiro passo para isto é obter o diagrama de dispersão, um gráfico que expressa visualmente esta relação. Quando este recurso mostra a possível existência de uma relação linear, é possível calcular o coeficiente de correlação, que demonstra a intensidade deste relacionamento. O coeficiente de Pearson é expresso dentro do intervalo de -1 à +1. O valor -1 demonstra uma relação linear negativa perfeita, já +1 expressa uma relação linear positiva perfeita. Quando o valor é zero, concluímos a ausência de relação linear entre as variáveis. O seu valor é obtido com base em dados de uma amostra. Ele é, portanto, uma estimativa do verdadeiro valor de correlação populacional. Ao efetuar a análise de regressão linear de um conjunto de dados, também podemos determinar a equação da reta para essa relação, e o R-quadrado. O R-quadrado é uma outra medida da força da relação entre variáveis quantitativas, que nos dá informações sobre a distância dos pontos do gráfico à reta. Quanto mais próximo de um, mais forte a relação entre as variáveis. Ou seja, quanto maior o R-quadrado, mais os pontos estão próximos a reta de regressão. O R-quadrado é o quadrado do coeficiente de correlação de Pearson (BUSSAB, 1987; MARTINS, 2014).

Afim de determinar a representatividade da amostra, existe o conceito de Inferência Estatística, que permite fazer afirmações sobre características de uma população, baseando-se em resultados de uma amostra. Em estatística, e especificamente no campo dos testes de hipóteses, o valor p é a probabilidade de que a amostra podia ter sido tirada de uma população, assumindo que a hipótese nula seja verdadeira. O valor-p varia de 0 a 1, e a interpretação dos resultados é feita, avaliando o resultado. Quando o valor resultante é entre 0 e 0,01, há forte evidência de relação. Quando entre 0,01 e 0,05, há evidência de relação. Entre 0,05 e 0,1, a evidência de relação é

fraca. Para valores acima de 0,1 até 1, não há evidência de relação correlação (BUSSAB, 1987; MARTINS, 2014).

Um outro modelo explicativo para uma variável aleatória baseia-se no comportamento de outras variáveis. As variáveis aleatórias, em conjunto, podem influenciar em outra, chamada de dependente. Os modelos de análise podem condicionar claramente o valor das variáveis, porém sempre existe a possibilidade de ocorrência de erros, causados por variáveis não incluídas no modelo ou devido a processos puramente aleatórios, tornando-se necessária a utilização de modelos estatísticos para estimar estes parâmetros. Os métodos estatísticos multivariados e ferramentas de análise estatística multivariada estudam o comportamento de três ou mais variáveis simultaneamente. Quando falamos de regressão, um teste F geralmente compara os ajustes de diferentes modelos lineares. Ao contrário de testes de correlação linear que conseguem avaliar apenas um coeficiente de regressão de cada vez, o teste múltiplo pode avaliar vários coeficientes ao mesmo tempo. O valor do teste F da significância global é uma forma que determina se este relacionamento é estatisticamente significativo (BUSSAB, 1987; MARTINS, 2014).

3.7 ANÁLISE DE SOBREMEDIÇÃO

A Concessionária não possui uma sistemática preventiva de ensaios de medidores, afim de obter informações e criar estratégia para a melhora do parque. Porém, ensaios de hidrômetros são realizados rotineiramente, em aparelhos, via solicitação do cliente. Estas solicitações são provenientes de suspeitas e/ou reclamações do medidor, referentes à sobremedição. Os reclamantes possuem o direito de acompanhar os ensaios e, caso os hidrômetros não atendam aos parâmetros vigentes, o problema é solucionado (o medidor é trocado). O objetivo deste item é avaliar a ocorrência de sobremedição, não com amostragem aleatória, e sim direcionar esta análise para hidrômetros que já possuem esta suspeita e foram testados afim de verificar esta hipótese.

Para este objetivo, uma amostragem de 342 hidrômetros será utilizada. Os hidrômetros são da mesma classe e capacidade dos medidores da primeira amostra, para que os resultados possam ser cruzados e discutidos. Os dados dos ensaios, para este caso, são dos erros de apenas 3 vazões, como o INMETRO determina para

hidrômetros em uso. Foram testadas as vazões mínima, de transição e nominal, seguindo a mesma metodologia e procedimentos descritos no item 3.3.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Os ensaios foram realizados semanalmente com hidrômetros retirados de campo no dia anterior. As informações referentes aos resultados foram registradas em planilhas já preparadas para receber estes dados.

A execução dos ensaios seguiu os parâmetros vigentes estabelecidos pela NBR 15.538/2014. Ela determina que os medidores submetidos aos ensaios devem estar previamente aprovados pelo INMETRO, a temperatura da água deve estar entre 1 e 40°C, a pressão do ensaio não pode ultrapassar a pressão máxima para a qual o medidor foi projetado, a água utilizada nos ensaios deve possuir características semelhantes àquela fornecida ao abastecimento público, e bancada calibrada padrão INMETRO.

Os hidrômetros de classe B já estavam em funcionamento nas residências no início desta pesquisa. Nesse experimento, os hidrômetros são dispostos em uma bancada, na qual um determinado volume de água os atravessa num fluxo pré-estabelecido.

Todos os ensaios foram acompanhados pelo Técnico do laboratório, treinado para tais ensaios, que são rotina na Concessionária. As leituras dos volumes foram efetuadas pelo mesmo. O lançamento dos dados ficou sob responsabilidade da autora deste estudo, em formato mostrado na Tabela 05.

Tabela 05 - Formato de lançamento de resultados de ensaio

Qmax (m³/h):		1,5			Classe Metrológica:			B			DN:		3/4"	
Vazão (litros/hora) ▶		120			120			120						
ENSAIOS ▶		1º			2º			3º						
Volume Escoado (litros) ▶		10,000			10,015			10,000						
Item	Hidrômetro	1a Leit.	2a Leit.	Erro (%)	1a Leit.	2a Leit.	Erro (%)	1a Leit.	2a Leit.	Erro (%)	Média			
1	Y13S872567	276,000	285,720	-2,80%	285,720	295,460	-2,75%	295,460	305,200	-2,60%	-2,72%			
2	Y13S651727	105,900	115,580	-3,20%	115,580	125,300	-2,95%	125,300	135,000	-3,00%	-3,05%			
3	Y13S651649	933,640	943,000	-6,40%	943,000	952,400	-6,14%	952,400	961,740	-6,60%	-6,38%			
4	Y13S517879	404,440	414,300	-1,40%	414,300	424,200	-1,15%	424,200	434,040	-1,60%	-1,38%			
5	Y13S517847	590,920	600,540	-3,80%	600,540	610,160	-3,94%	610,160	619,760	-4,00%	-3,91%			
6	Y13S647965	292,920	304,140	12,20%	304,140	315,340	11,83%	315,340	326,500	11,60%	11,88%			
7	Y11F234209	599,700	609,640	-0,60%	609,640	619,580	-0,75%	619,580	629,500	-0,80%	-0,72%			
8	Y12F150398	472,800	482,060	-7,40%	482,060	491,300	-7,74%	491,300	500,500	-8,00%	-7,71%			
9	Y12F158593	824,100	835,100	10,00%	835,100	845,100	-0,15%	845,100	855,100	0,00%	3,28%			
10	Y12F151670	553,640	563,320	-3,20%	563,320	573,040	-2,95%	573,040	582,740	-3,00%	-3,05%			

Fonte: Elaborado pela autora.

Na primeira linha foram inseridas as características dos hidrômetros que, para este estudo e pela população analisada, não variaram. Na segunda linha, a vazão de análise. Conforme delineamento do estudo, para cada hidrômetro foram testadas 5 vazões, e para cada vazão, três leituras, de acordo com a terceira linha. A quarta linha mostra a leitura do volume escoado, específico para esta vazão.

4.1.1 Curvas de erros

Dentro de um plano de manutenção corretiva e preventiva de hidrômetros, recomenda-se que, anualmente, seja feita uma nova avaliação, para evitar a elevação das perdas de faturamento por submedição de água. Deve-se considerar que a performance do hidrômetro em função do desgaste do mesmo depende das condições específicas de consumo, qualidade da água, entre outros. Para a montagem de um plano de ação de adequação da micromedição, devemos incluir a análise das curvas de erros em bancada de aferição.

Neste estudo, os hidrômetros foram divididos em faixas de idades. Portanto, como resultados, temos as curvas de erro para cada idade amostral.

As idades vão de 1 a >10 anos, e os gráficos foram elaborados com os limites estabelecidos pelo INMETRO (2000), bem claros para efeito de comparação visual, baseando-se nos erros obtidos em bancada, calculados conforme item 3.3.1. O INMETRO exige o teste dos aparelhos em uso em 3 pontos de vazão (vazão mínima Q_{min} , vazão de transição Q_t e vazão nominal Q_n). Neste estudo, testamos as 3 e 2 extras ($2Q_{min}$ e $2Q_t$), portanto foram testadas 5 vazões.

Para os hidrômetros com idade de 1 ano, foram ensaiadas 34 unidades de 6 fabricantes diferentes. Esta análise obteve resultados da medida de erros dentro dos padrões estabelecidos pelo Inmetro, com valores da média de erros equivalente aos valores mostrados na Tabela 06.

Tabela 06 - Média dos erros para medidores com 1 ano

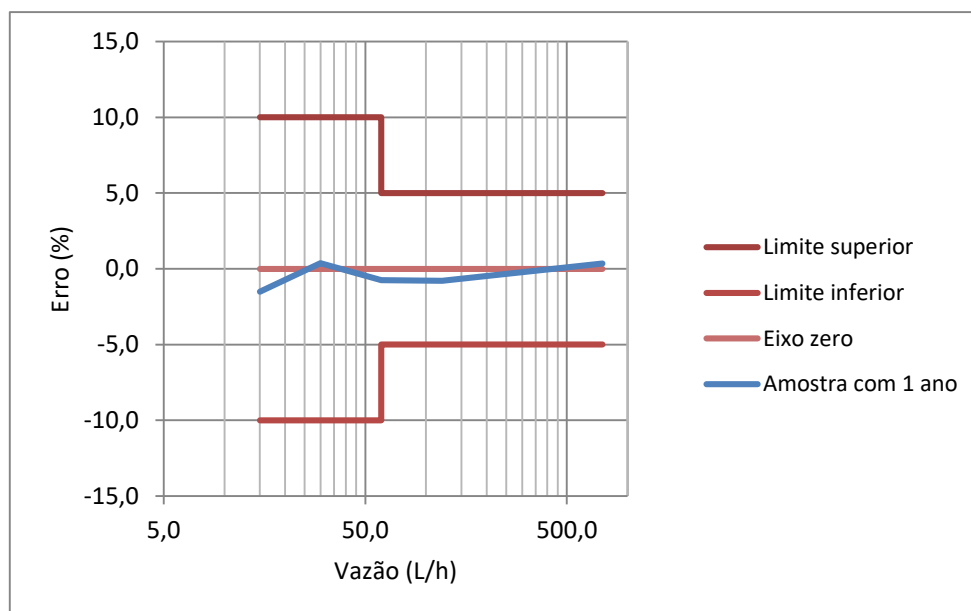
Vazão	Média dos Erros				
	Q_{min}	$2Q_{min}$	Q_t	$2Q_t$	Q_n
Amostra com 1 ano	-1,52%	0,38%	-0,75%	-0,79%	0,35%

Fonte: Elaborado pela autora.

Destaca-se a presença de uma média amostral, em uma das vazões, com erro positivo. Ainda que dentro dos parâmetros de aceitação exigidos, demonstram que existe a ocorrência de erros que prejudicam o consumidor (sobremedição).

O Gráfico 02 demonstra que os resultados atenderam aos limites impostos, e a pouca idade dos medidores provavelmente é o que garante isto.

Gráfico 02 - Curva de erros de HD's com 1 ano



Fonte: Elaborado pela autora.

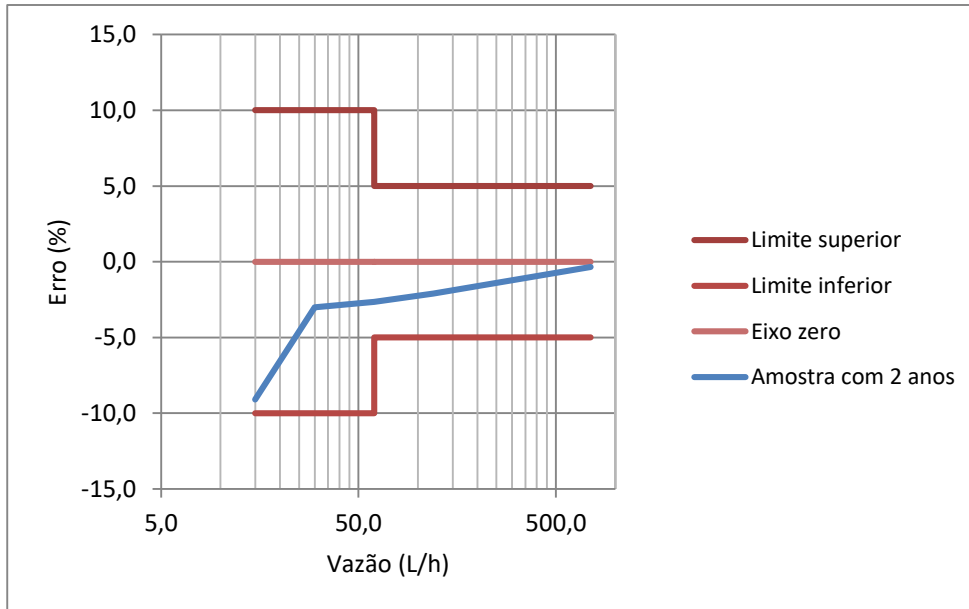
Para os hidrômetros com idade de 2 anos, foram ensaiadas 28 unidades de 3 fabricantes diferentes. As médias da Tabela 07 mostram que os erros em todas as vazões foram maiores do que os resultados para os hidrômetros mais novos (de um ano). Apesar das médias terem sido de erros negativos, destaca-se um hidrômetro dentro os 28 que obteve um resultado de erro de 4,77% positivo ao ser testado na vazão nominal. Além deste, houve outro caso em que o hidrômetro demonstrou resultados surpreendentes na vazão mínima, pela sua pouca idade. Sabe-se que as medições durante vazão mínima são as mais afetadas pelo desgaste dos hidrômetros, e obteve-se um resultado de erro de 100% neste hidrômetro específico. Ao avaliar a possível influência de um erro de dimensionamento, onde o volume que possa ter passado pelo hidrômetro justificaria o seu desgaste elevado, descartou-se esta possibilidade, pois o dado da leitura de retirada era de 87m³. Como o dado do volume médio mensal de 8,7m³, podemos concluir que existe a possibilidade deste hidrômetro ter ficado “parado”, ou seja, fora de operação, no seu primeiro ano de instalação. O Gráfico 03 traz a visualização dos resultados.

Tabela 07 - Média dos erros para medidores com 2 anos

Média dos Erros					
Item	Qmin	2Qmin	Qt	2Qt	Qn
Amostra com 2 anos	-9,10%	-3,01%	-2,64%	-2,11%	-0,34%

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 03 - Curva de erros de HD's com 2 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao analisar os 34 hidrômetros, de três marcas diferentes, classificados na idade de 3 anos, os resultados foram todos piores que a faixa anterior, com destaque para os resultados referentes a vazão mínima, que mostraram um erro fora da tolerância permitida, conforme mostrado na Tabela 08. Nesta amostragem também existiu um hidrômetro que no teste de vazão mínima apresentou erro igual a cem por cento.

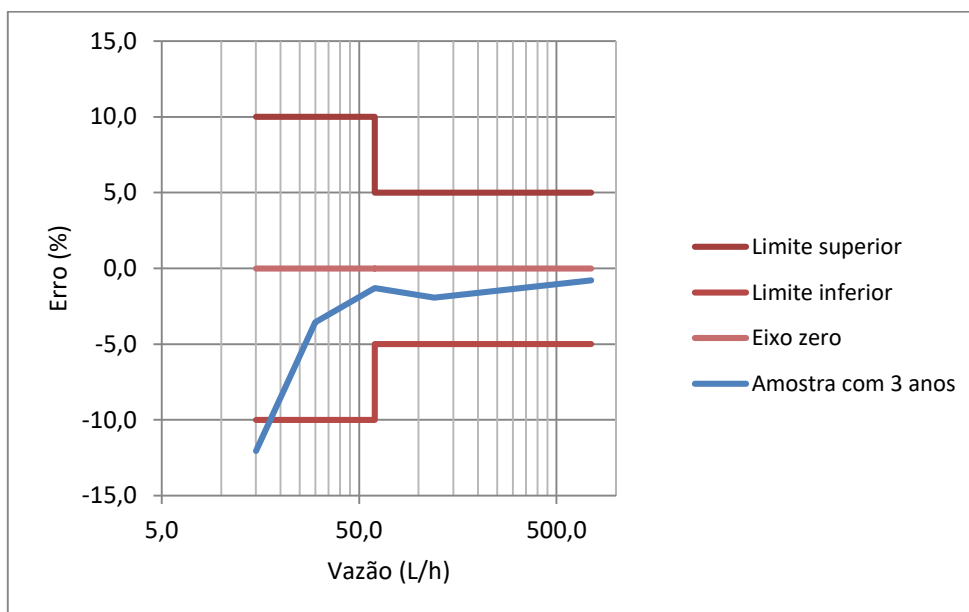
Tabela 08 - Média dos erros para medidores com 3 anos

Média dos Erros					
Item	Qmin	2Qmin	Qt	2Qt	Qn
Amostra com 3 anos	-12,05%	-3,56%	-1,31%	-1,93%	-0,79%

Fonte: Elaborado pela autora.

A curva de erros do Gráfico 04 evidencia o erro fora dos limites para a vazão mínima, o que é crítico para o padrão de consumo brasileiro, que tem boa parte do seu consumo acontecendo em vazões baixas devido a presença de reservatório domiciliar.

Gráfico 04 - Curva de erros de HD's com 3 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

Os 33 hidrômetros da amostra da faixa de idade classificada como 4 anos de idade, estavam distribuídos entre 4 fabricantes, e demonstraram resultados que podem ser considerados mais significativos, conforme apresentado na Tabela 09.

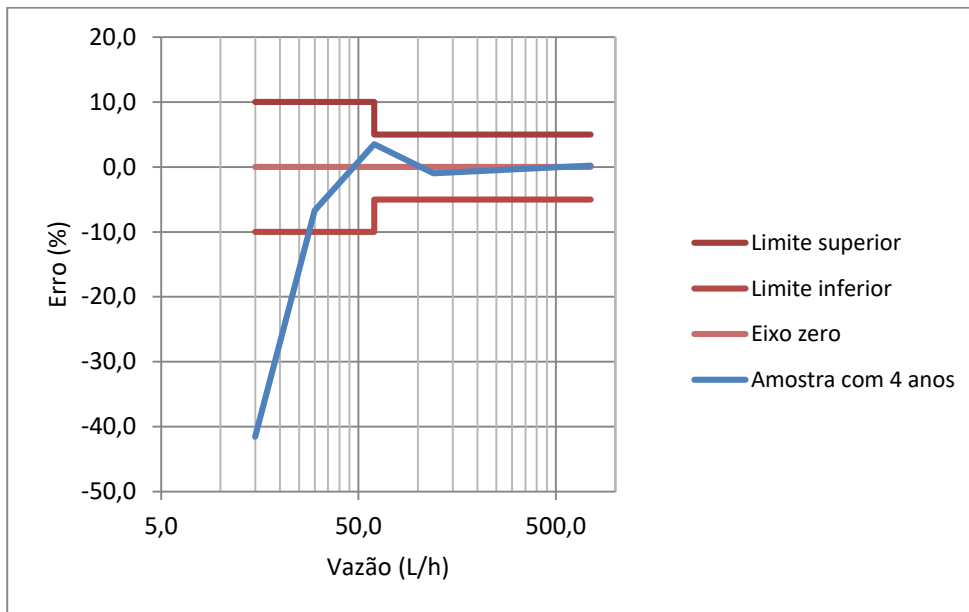
Tabela 09 – Média dos erros para medidores com 4 anos

Média dos Erros					
Item	Qmin	2Qmin	Qt	2Qt	Qn
Amostra com 4 anos	-41,55%	-6,70%	3,53%	-0,99%	0,19%

Fonte: Elaborado pela autora.

O Gráfico 05 mostra que para a vazão mínima, o erro subiu de 12,05 (em idade anterior) para 41,55% de submedição. Este número muito superior à análise anterior pode ser explicado pelo fato de que 9 dos 33 hidrômetros da amostra obtiveram erro 100% (ou seja, parados) em vazão mínima. Destes 9 medidores, 78% eram de um mesmo fabricante. Pode-se assim iniciar uma investigação de lote, ou de condições específicas in loco. Destaca-se também o erro positivo de 3,53% para a vazão de transição.

Gráfico 05 - Curva de erros de HD's com 4 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

A curva de erros, dessa forma, continua com a mesma tendência, porém mais acentuada, onde os maiores erros se concentram no funcionamento em vazões mínimas, e também onde o hidrômetro excede os limites estabelecidos pelo INMETRO.

Na seguinte análise, dentro da população de hidrômetros com 5 anos, foram testadas 55 unidades, distribuídas entre 3 fabricantes, que demonstraram os resultados conforme a Tabela 10.

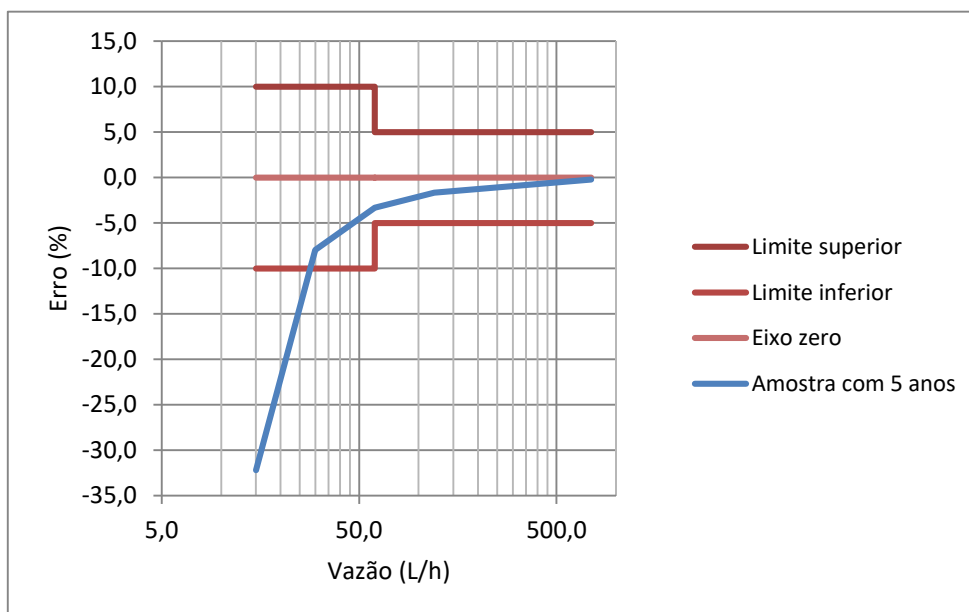
Tabela 10 – Média dos erros para medidores com 5 anos

Média dos Erros					
Item	Qmin	2Qmin	Qt	2Qt	Qn
Amostra com 5 anos	-32,19%	-7,98%	-3,34%	-1,67%	-0,23%

Fonte: Elaborado pela autora.

Houve uma redução dos erros nas vazões mínimas, e a sobremedição deu lugar a erros negativos. Nestas condições, a média amostral atendeu aos padrões aceitáveis de erros, exceto na vazão mínima, como o Gráfico 06 mostra.

Gráfico 06 - Curva de erros de HD's com 5 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

Avançando para a faixa de idade classificada como 6, a análise baseou-se em 55 medidores, divididos em 3 diferentes fabricantes, e os resultados estão demonstrados na Tabela 11.

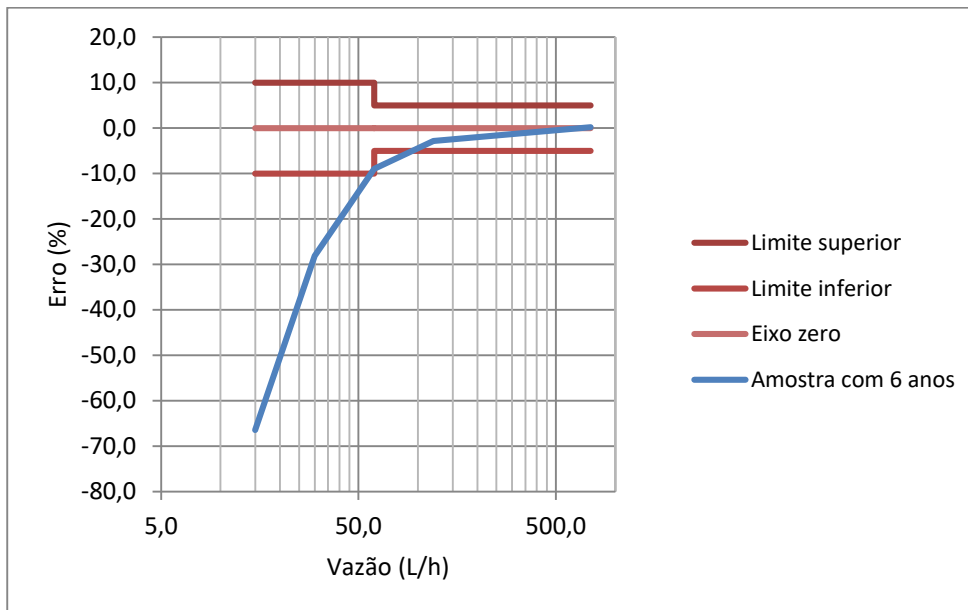
Tabela 11 – Média dos erros para medidores com 6 anos

Item	Média dos Erros				
	Qmin	2Qmin	Qt	2Qt	Qn
Amostra com 6 anos	-66,42%	-28,12%	-8,97%	-2,83%	0,21%

Fonte: Elaborado pela autora.

A curva de erros deste resultado deslocou-se para baixo, conforme consta no Gráfico 07, e os únicos resultados aceitáveis são as médias de erro das duas maiores vazões.

Gráfico 07 - Curva de erros de HD's com 6 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

Destaca-se o fato de que, dentre os 55 medidores, 27 deles, de 2 marcas diferentes, obtiveram erro igual a 100% em teste de vazão mínima, e 4 deles também estavam parados na vazão 2Qmin. Isto mostra a fragilidade destes aparelhos com relação às baixas vazões e a sua grande contribuição para um aumento das perdas de um parque metrológico.

A amostragem dos hidrômetros com 7 anos foi de 138 medidores. Eles foram testados em laboratório e demonstraram os resultados mostrados na Tabela 12.

Tabela 12 - Média dos erros para medidores com 7 anos

Item	Média dos Erros				
	Qmin	2Qmin	Qt	2Qt	Qn
Amostra com 7 anos	-69,25%	-20,78%	-5,48%	-3,19%	-1,81%

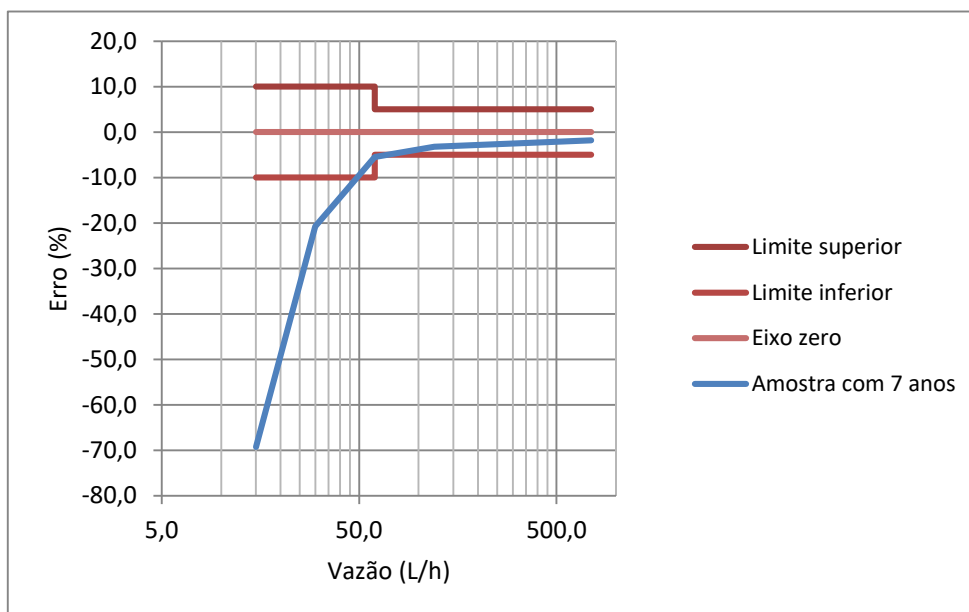
Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que os resultados foram relativamente próximos aos medidores com idade seis anos. Destaca-se o fato de que 98,5% dos medidores desta amostra eram do mesmo fabricante. Isto explica-se pelo fato da compra em lotes, podendo trazer uma “homogeneidade de marcas” ao parque de acordo com o plano de trocas efetuado na época.

Novamente, muitos hidrômetros não apresentaram qualquer medição durante a passagem de vazão mínima, totalizando 79 unidades, mais de 57% da amostra. Estes hidrômetros trazem a média de erros a um patamar muito acima, como demonstrado

no Gráfico 08. Se excluíssemos estes casos, a média de erros em vazões mínimas cairia de -69,25% para -27,04%.

Gráfico 08 - Curva de erros de HD's com 7 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

O Gráfico 08 mostra o mesmo padrão de delineamento dos erros, já detectado anteriormente, com os limites de erro sendo ultrapassados quando o medidor está trabalhando em vazões menores ou iguais a vazão de transição. Vale ressaltar que, dentre o grupo amostral, um dos medidores apresentou erro de -100% para todas as vazões testadas, exceto a vazão nominal, onde apresentou erro de -77,29%. Este *outlier* não prejudicou os resultados, visto que esta amostra foi relativamente grande, e a média do IDM sofreu baixa influência neste caso.

Ao avaliar os 29 medidores com faixa de idade 8 anos obtivemos resultados de erros menores que os hidrômetros com 6 e 7 anos, como mostra a Tabela 13. Esta variação de eficiência pode ser explicada por diversos fatores.

Tabela 13 - Média dos erros para medidores com 8 anos

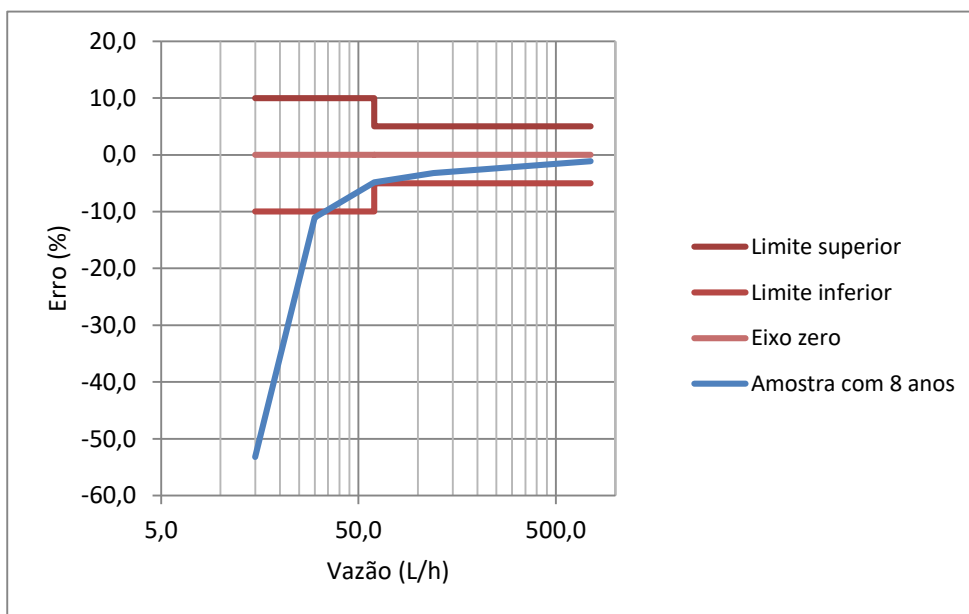
Item	Média dos Erros				
	Qmin	2Qmin	Qt	2Qt	Qn
Amostra com 8 anos	-53,18%	-11,03%	-4,85%	-3,19%	-1,10%

Fonte: Elaborado pela autora.

Como este estudo trabalhou com amostras, as condições específicas dos medidores escolhidos aleatoriamente podem influenciar no resultado final. Portanto, podemos

tirar conclusões que darão embasamento para decisões gerais, e não pontuais. Além disso, a marca do medidor, as condições da rede do local, o tipo de abastecimento das residências, e todas as variáveis discutidas garantem que não haja uma previsibilidade simples para estes erros. A curva de erros expressa o mesmo padrão, porém com os resultados menos expressivos, como mostrado no Gráfico 09.

Gráfico 09 - Curva de erros de HD's com 8 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

Houve uma variação de três marcas nesta amostra. Outro fator importante a ser destacado é que, neste lote, apenas 34% dos hidrômetros testados apresentaram a condição de “parado” ao serem avaliados em vazão mínima. Este percentual bem menor faz com que a média de erros seja reduzida.

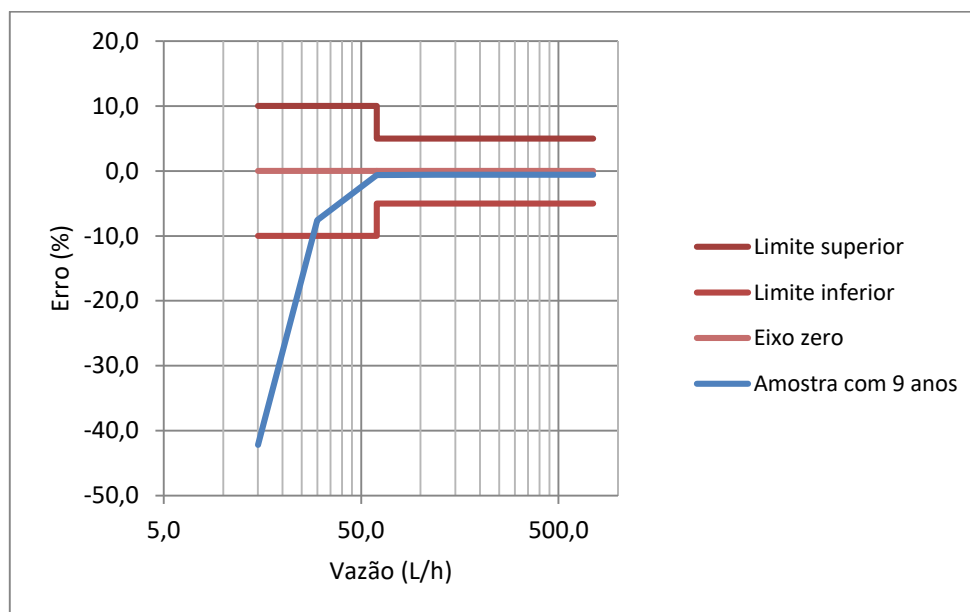
Os 25 hidrômetros com 9 anos foram testados em bancada e resultaram nas médias de erros apresentadas na Tabela 14 e no Gráfico 10.

Tabela 14 - Média dos erros para medidores com 9 anos

Item	Média dos Erros				
	Qmin	2Qmin	Qt	2Qt	Qn
Amostra com 9 anos	-42,17%	-7,56%	-0,63%	-0,56%	-0,59%

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 10 - Curva de erros de HD's com 9 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

Toda a população de hidrômetros na idade de 9 anos é composta apenas por duas marcas, e ambas foram representadas dentro da amostra. Nota-se resultados melhores do que os anteriores, apesar da maior idade. Destaca-se um dos medidores testados, que apresentou sobremedição em todas as vazões, exceto para a vazão mínima, conforme Tabela 15. Isto demonstra a grande dificuldade que os medidores apresentam em trabalhar com acurácia nas menores vazões, apresentando em muitos casos grandes erros negativos.

Tabela 15 - Exemplo de hidrômetro com sobremedição

Hidrômetro	Qn	2Qt	Qt	2Qmin	Qmin
Y09N656270	4,46%	4,79%	3,90%	2,50%	-48,45%

Fonte: Elaborado pela autora.

A faixa de idade de 10 anos foi analisada através do teste em 13 hidrômetros, de 2 fabricantes distintos. Destes, 7 unidades, ou seja, 54%, apresentaram erro de 100% no teste de vazão mínima, resultando em um aumento do índice de erros, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16 - Média dos erros para medidores com 10 anos

Item	Média dos Erros				
	Qmin	2Qmin	Qt	2Qt	Qn
Amostra com 10 anos	-63,21%	-14,95%	-6,37%	-3,74%	-0,43%

Fonte: Elaborado pela autora.

Na segunda menor vazão testada (2Qmin), os dois hidrômetros que, no geral, demonstraram os piores resultados, com altos índices de submedição, são do mesmo fabricante e foram os mesmos dois que apresentam uma leitura de retirada acima de 2.000 m³, mostrados na Tabela 17. Isto pode representar uma influência não só temporal, mas também uma influência de desgaste por uso, que demanda do aparelho mais do que ele está possibilitado a oferecer, em termos de vida útil funcionando dentro dos padrões.

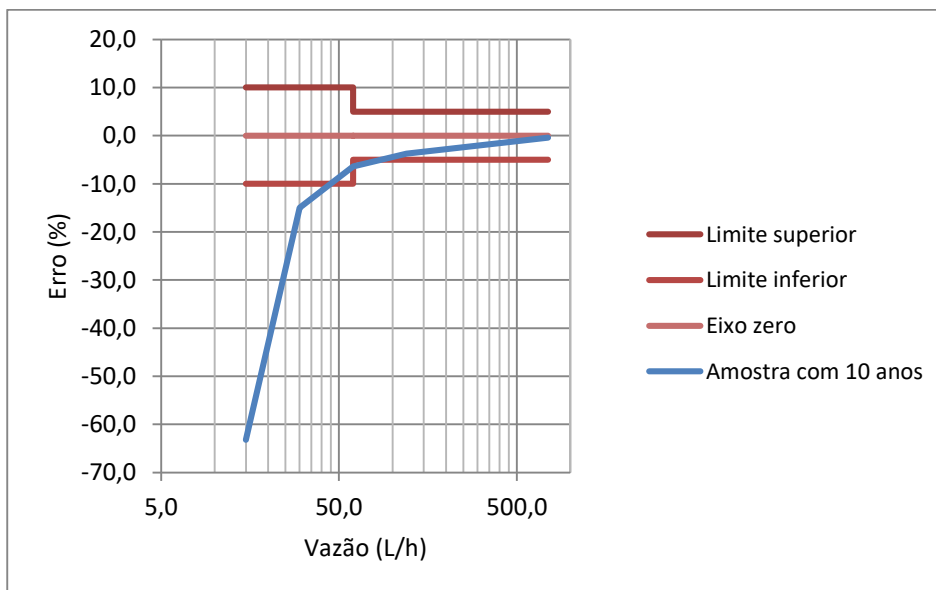
Tabela 17 - Hidrômetros com leitura de retirada acima de 2000m

Qn	2Qt	Qt	2Qmin	Qmin	Leitura de Retirada (m ³)
-1,75%	-9,81%	-13,01%	-19,11%	-100,00%	2148
-2,59%	-8,03%	-13,01%	-67,13%	-100,00%	2301

Fonte: Elaborado pela autora.

A curva de erros evidencia o elevado erro obtido, através da comparação dos parâmetros exigidos pelo INMETRO, demonstrados no Gráfico 11.

Gráfico 11 - Curva de erros de HD's com 10 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos na amostra de 14 hidrômetros com idade maior que 10 anos (12 com onze anos e 2 com doze anos) foram muito insatisfatórios com relação aos erros. Os hidrômetros demonstraram uma alta ineficiência de medição, conforme Tabela 18.

Tabela 18 - Média dos erros para medidores com mais de 10 anos

Item	Média dos Erros				
	Qmin	2Qmin	Qt	2Qt	Qn
Amostra com >10 anos	-82,29%	-26,02%	-9,60%	-1,41%	0,05%

Fonte: Elaborado pela autora.

Destaque para os dois medidores da Tabela 19, que apresentaram resultados muito diferentes, porém igualmente preocupantes. Um deles com alto índice de sobremedição, representando um prejuízo para o consumidor. Ressalta-se que mesmo demonstrando esta “tendência” do medidor de sobremedir, ainda assim na vazão mínima o erro negativo persistiu. Para o segundo exemplo, os índices de submedição estão muito altos, e para a vazão mínima não houve nenhum registro. Estas disparidades representam a grande influência de diversos fatores, além da idade, que tornam as condições específicas de cada medidor, muito diferentes.

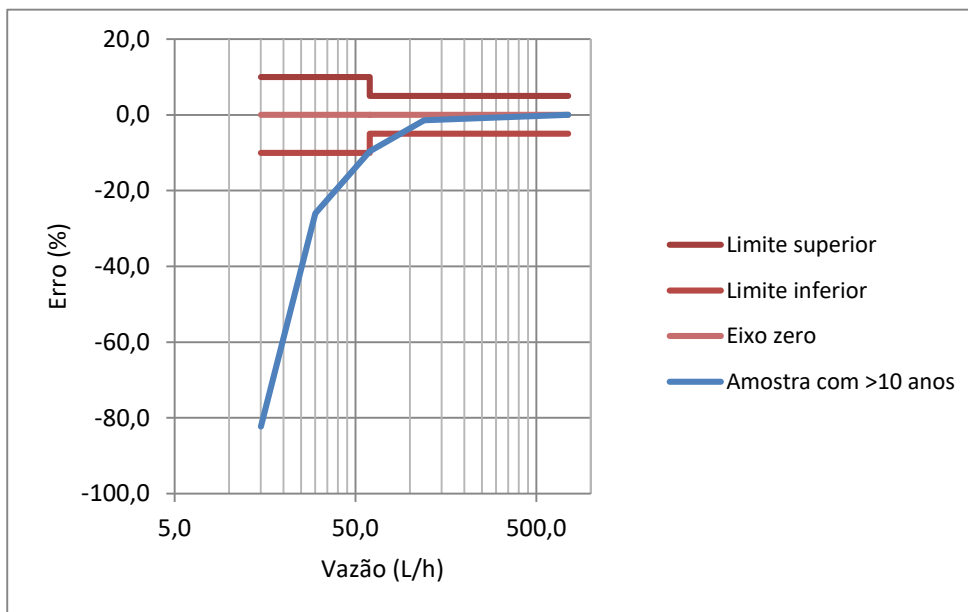
Tabela 19 - Hidrômetros com resultados discrepantes.

Hidrômetro	Qn	2Qt	Qt	2Qmin	Qmin
Y08B025393	14,95%	11,88%	9,80%	5,33%	-30,67%
Y06L627351	-4,94%	-9,61%	-17,97%	-65,54%	-100,00%

Fonte: Elaborado pela autora.

A curva de erros do Gráfico 12 mostra a conformidade da amostra apenas nas vazões mais altas. Com o desenvolvimento dos estudos do parque, com um aumento na base de dados, haverá uma evolução nos resultados, gerando um banco de dados que poderá representar a realidade cada vez mais corretamente, de forma que será possível traçar curvas de envelhecimento do parque com mais propriedade para a tomada de decisões.

Gráfico 12 - Curva de erros de HD's com mais de 10 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.2 Reprovação de unidades

Em termos de aprovação destes hidrômetros, caso eles estivessem sendo testados com tal finalidade, e os resultados comparados, um a um com as suas tolerâncias máximas de erros, as reprovações representariam 69% da amostra, de unidades que apresentaram uma ou mais irregularidades nas cinco vazões testadas. A Tabela 20 mostra os resultados em percentual, referente aos medidores da amostra, por idade, que não atenderam aos padrões máximos aceitáveis determinados pelo INMETRO.

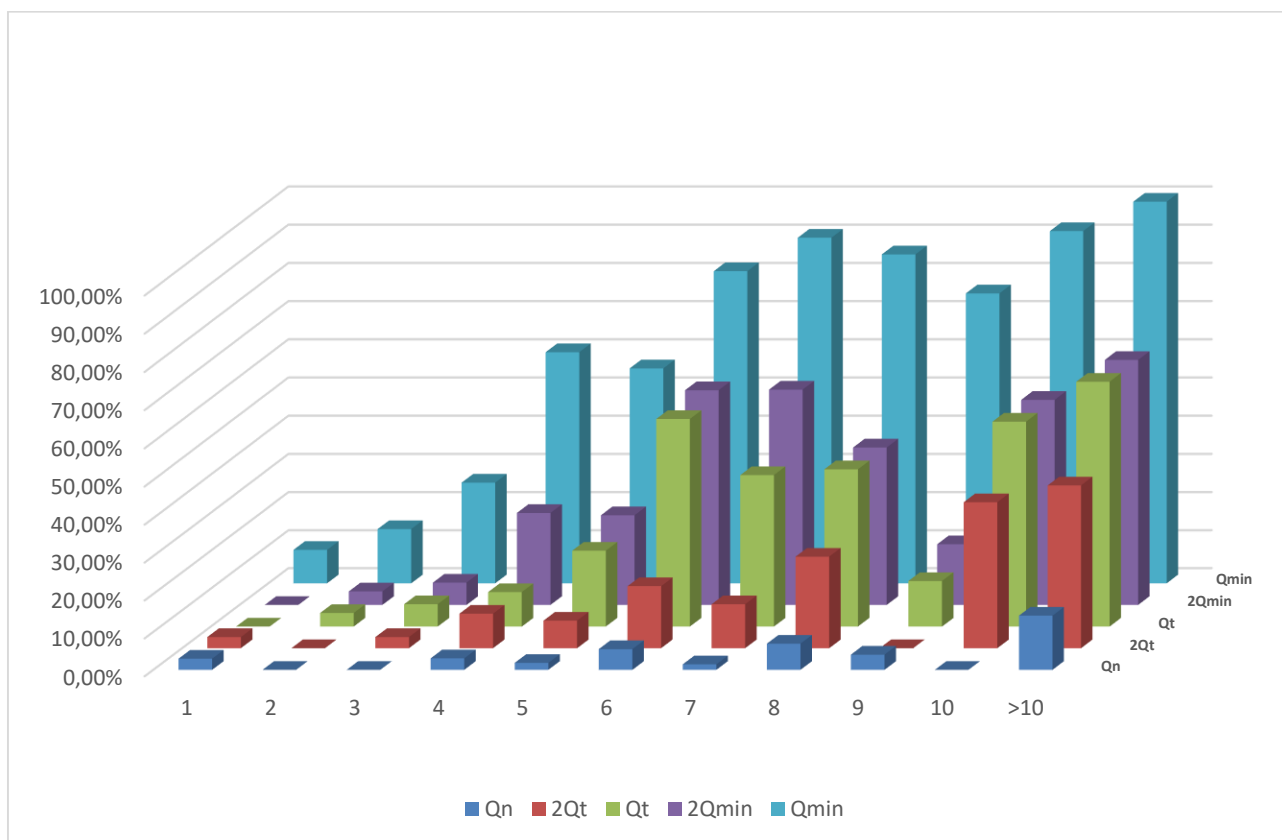
Tabela 20 - Percentual de medidores da amostra que não passaram no teste de bancada, por vazão

IDADE	Qn	2Qt	Qt	2Qmin	Qmin
1	2,94%	2,94%	0,00%	0,00%	8,82%
2	0,00%	0,00%	3,57%	3,57%	14,29%
3	0,00%	2,94%	5,88%	5,88%	26,47%
4	3,03%	9,09%	9,09%	24,24%	60,61%
5	1,82%	7,27%	20,00%	23,64%	56,36%
6	5,45%	16,36%	54,55%	56,36%	81,82%
7	1,45%	11,59%	39,86%	56,52%	90,58%
8	6,90%	24,14%	41,38%	41,38%	86,21%
9	4,00%	0,00%	12,00%	16,00%	76,00%
10	0,00%	38,46%	53,85%	53,85%	92,31%
>10	14,29%	42,86%	64,29%	64,29%	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora.

Para visualizar a clara tendência acontecendo nesta amostragem, onde as vazões mínimas são as mais afetadas, junto ao envelhecimento do parque, traçou-se o Gráfico 13.

Gráfico 13 - Porcentagem de hidrômetros reprovados, por idade e vazão



Fonte: Elaborado pela autora.

No estudo de Scalize *et al.* (2007) foram examinados 862 hidrômetros de classes A e B, de seis diferentes marcas. Esses aparelhos foram retirados da rede de distribuição e submetidos a teste em bancada em três vazões, 15 L.h⁻¹ (classe B) e 30 L.h⁻¹ (classe A), 75 L.h⁻¹ (classe A e B) e 750 L.h⁻¹ (classe A e B). Considerando os parâmetros da Portaria 246 do INMETRO (2000), o estudo demonstrou que dos 862 hidrômetros avaliados, 37,1% foram reprovados registrando a menos e não foi encontrado nenhum hidrômetro marcando a mais.

4.2 ESTIMATIVA DE PERDAS

4.2.1 Perfil de consumo

O estudo baseia-se no perfil de consumo proposto pela NBR 15.538/2014, que fez a caracterização do regime de vazões típico do Brasil, conforme mostrado na Figura 33 do item 3.5.1. Este perfil é composto por 10 intervalos de vazões, e o seu % de trabalho relacionado. Uma análise mais detalhista poderia ser efetuada, de modo que

o perfil de consumo específico para a região estudada fosse levantado. Porém, esta análise demandaria recursos inviáveis ao presente estudo.

O método proposto pela NBR 15.638/2014 para o levantamento do IDM recomenda que, para cada uma das faixas de vazão presentes no perfil de consumo, seja realizado o teste de bancada em vazão intermediária, conforme a Figura 35.

Figura 35 - Vazões para teste para cada faixa de vazão

FAIXAS DE VAZÃO L/H	VAZÕES PARA VERIFICAÇÃO DE ERROS L/H	PERFIL DE CONSUMO %
0 a 5	2,5	4,56
5 a 15	10	6,99
15 a 30	22,5	6,83
30 a 50	40	7,34
50 a 150	100	23,21
150 a 350	250	23,92
350 a 550	450	12,27
550 a 850	700	7,29
850 a 1150	1000	5,86
1150 a 1500	1325	1,73

Fonte: AESBE (2015).

Cada vazão representa uma faixa entre 0 e 1.500 L.h⁻¹. Calcula-se o erro de indicação do medidor nestas vazões para posteriormente calcular o erro ponderado, aplicando-se um determinado peso a cada faixa de vazão de acordo com o perfil de consumo.

Para este estudo, existiram algumas limitações, portanto, foram necessárias algumas adaptações ao método. As vazões testadas não coincidem exatamente com as vazões indicadas pela norma afim de aplicar os pesos do perfil de consumo. Portanto, foi feita uma adaptação destes pesos para as 5 vazões testadas, de modo a tornar o estudo o mais próximo do método possível, mostrada no Quadro 02.

Quadro 02 - Adaptação do perfil de consumo médio, conforme norma ABNT NBR 15.538, citado na pág. 22 do Guia 3 da Aesbe

NBR 15.538 Faixas de Vazões (l.h ⁻¹)	NBR 15.538 Vazões para verificação de erros L.h ⁻¹	NBR 15.538 Perfil de consumo %	Faixas de Vazões (l.h ⁻¹) adaptadas	Perfil de consumo adaptado %	Vazões testadas no estudo
0 a 5	2,5	4,56	0 a 15	11,55	15
5 a 15	10	6,99			
15 a 30	22,5	6,83	15 a 50	14,17	30
30 a 50	40	7,34			
50 a 100	100	11,605	50 a 100	11,605	60
100 a 150		11,605	100 a 350	35,525	120
150 a 350	250	23,92			
350 a 550	450	12,27	350 a 1500	27,15	750
550 a 850	700	7,29			
850 a 1150	1000	5,86			
1150 a 1500	1325	1,73			

Fonte: Elaborado pela autora.

Através faixas de vazões disponíveis, foi possível avaliar e fazer uma nova divisão adaptada. As células do Quadro 02 que estão marcadas em cor cinza, correspondem a dados adaptados da norma. As duas células formavam apenas uma faixa (50 a 150 l.h⁻¹), de acordo com a norma, que foi transformada em duas de forma a facilitar a adequação. As células azuis correspondem ao percentual de perfil de consumo adaptado para esta divisão. Isto foi feito de forma proporcional a cada faixa, resultando em valores iguais devido a divisão adotada.

4.2.2 Cálculo do IDM

Com os valores de erros de cada medidor planilhados, foi iniciado o cálculo dos erros ponderados, para obtenção do IDM, com base nos pesos estabelecidos pela NBR 15.538/2014 adaptados para este estudo, conforme item 4.2.1. Os resultados estão na Tabela 21.

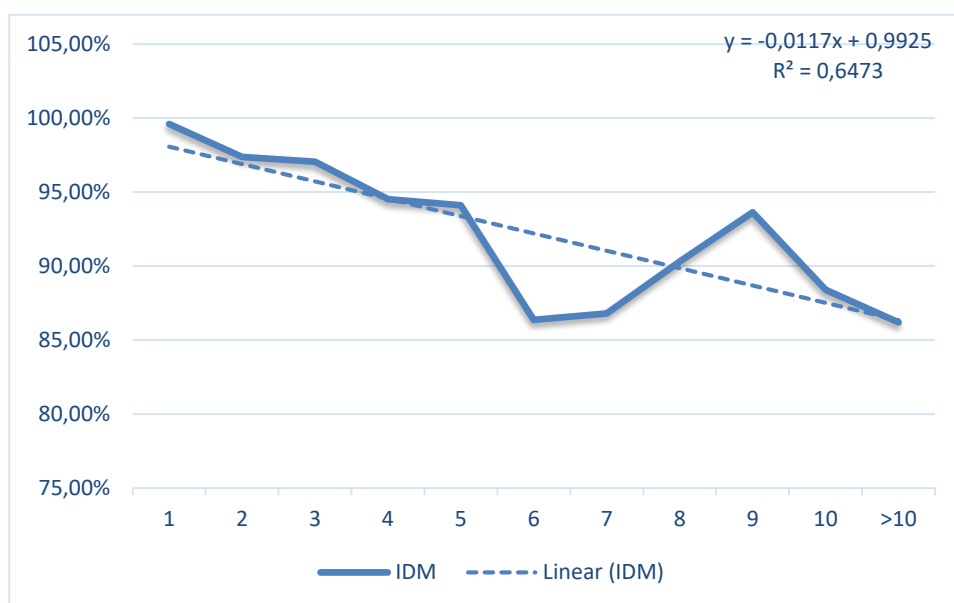
Tabela 21 - IDM por idade

IDADE (ANOS)	ERRO PONDERADO	IDM
1	-0,39%	99,61%
2	-2,62%	97,38%
3	-2,95%	97,05%
4	-5,47%	94,53%
5	-5,89%	94,11%
6	-13,65%	86,35%
7	-13,20%	86,80%
8	-9,70%	90,30%
9	-6,37%	93,63%
10	-11,60%	88,40%
>10	-13,80%	86,20%

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao traçar o Gráfico 14 de Idade x IDM, percebe-se a tendência de decrescimento do IDM com o aumento da faixa de idade analisada, como demonstra a linha de tendência do gráfico. A equação da regressão linear da linha de tendência também está representada no gráfico, demonstrando uma tendência linear negativa. O coeficiente de correlação de Pearson é -0,804, e o R-quadrado, calculado, demonstrado do gráfico junto à equação, de 0,6473, demonstram uma relação forte entre Idade e IDM. Portanto, ao analisar um parque, deve-se levar em consideração não só o peso do consumo praticado em cada uma das vazões avaliadas, mas também o peso da submedição referente a cada idade da população estudada.

Gráfico 14 – Idade x IDM



Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se a amplitude do espaçamento em relação a linha de tendência linear muito aumentada quando atinge-se a idade de 5 anos. Isto mostra uma irregularidade

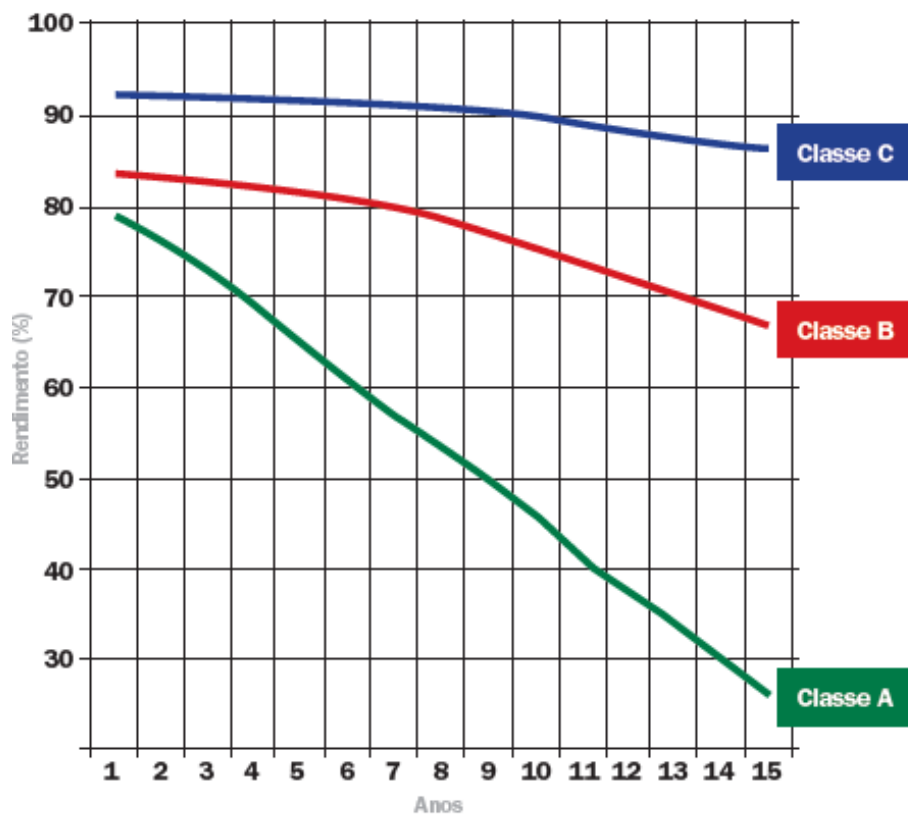
evidente do comportamento dos hidrômetros a partir desta idade. Levanta-se aqui a discussão sobre a mudança do critério de verificação da Portaria do INMETRO, anteriormente 5 anos, alterado em 2018 para 7 anos. Devido a este resultado, cabe uma avaliação mais aprofundada neste intervalo. Será discutido posteriormente aqui a influência das variáveis e sua representatividade na situação dos hidrômetros em relação a sua eficiência.

Mendes *et al.* (2018) analisaram uma amostra total de 819 hidrômetros, que foi submetida a ensaios para quantificação de erros a partir do qual foi obtido o valor global do IDM de 80%. De acordo com a NBR 15.538/2014, o índice mínimo aceitável de IDM para que um hidrômetro seja considerado aprovado é de 90%.

Quando existe a necessidade de avaliar um parque e a execução de ensaios em amostragem não é uma opção, pode-se utilizar estudos que trouxeram resultados de decaimento da eficiência de medidores como um parâmetro.

Ao analisar o decréscimo a partir da linha de tendência traçada com os resultados, baseando-se na equação do gráfico Idade X IDM $y = -0,0117x + 0,9925$, obteve-se o resultado de decréscimo do IDM em 1,04% ao ano. Este resultado está condizente com os propostos por Tsutyia (2018), que avaliou que, de forma geral, além da influência de fatores externos e do meio em que o hidrômetro está inserido, avalia-se que ocorra uma queda de desempenho de 1% a.a. O Guia da AESBE (2015) traz como uma opção o estudo feito por Nielsen *et al.* (2003), que gerou resultados para diferentes classes de medidores (A, B e C) equivalentes ao da Figura 36.

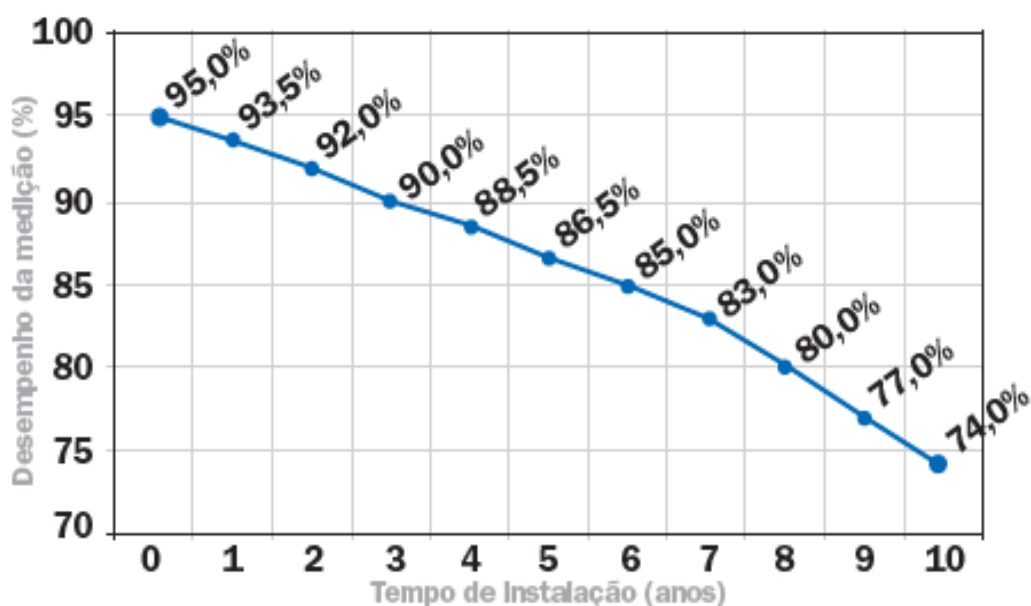
Figura 36 - IDM de acordo com o tempo e classe de medidores velocimétricos



Fonte: AESBE (2015).

Para a estimativa de submedição de hidrômetros da classe B- classe avaliada neste estudo- a AESBE (2015) recomenda a utilização da curva da Figura 37 como referência. Esta curva foi estimada a partir de dados obtidos das seguintes companhias de saneamento: COPASA, SANEPAR e CAESB.

Figura 37 - Referência de decaimento de desempenho dos HD's



Fonte: AESBE (2015).

Nota-se que os valores obtidos neste estudo foram superiores àqueles considerados como referência pela AESBE (com exceção dos hidrômetros com idade 6 anos), conforme comparação em Tabela 22.

Tabela 22 - Comparação dos resultados com o IDM esperado

IDADE (ANOS)	IDM	IDM ESPERADO
1	99,61%	95,00%
2	97,38%	93,50%
3	97,05%	92,00%
4	94,53%	90,00%
5	94,11%	88,50%
6	86,35%	86,50%
7	86,80%	85,00%
8	90,30%	83,00%
9	93,63%	80,00%
10	88,40%	77,00%
>10	86,20%	74,00%

Fonte: Elaborado pela autora.

Isto pode ter algumas explicações:

- I. O parque pode ter uma qualidade superior à esperada, seja pelas condições de uso da rede, seja pela escolha acertada de fabricantes mais eficientes.
- II. A sobremedição, que também é considerada no cálculo deste desempenho, está causando uma impressão de aumento de eficiência. Neste caso, esta situação não se configura como mais eficiente, pois a Concessionária, como

um todo, está tendo resultados acima do esperado, e as perdas aparentes estão menores. Porém, isto está ocorrendo a custo de alguns clientes que estão sendo prejudicados ao ter que arcar com erros positivos em seus medidores.

III. A amostra não foi capaz ao representar o todo.

Sobre a hipótese I, é necessário avaliá-la com cuidado, pois a análise resultante deste estudo não apresentou linearidade, tampouco um decréscimo coerente. Como a amostragem englobou diferentes regiões, pode ter ocorrido de a aleatoriedade ter beneficiado algumas idades, com uma amostra onde a hipótese seja verdadeira (melhores condições da rede e/ou de eficiência do fabricante sorteado). Esta hipótese, portanto, deve ser considerada após descartarmos a hipótese número III, que considera, justamente, este favorecimento dos resultados por uma amostra não representativa de todo o parque. Afim de avaliar essa hipótese, foi feita uma análise estatística da amostra, com o cálculo do valor-p, para testar a representatividade dos resultados. O valor obtido foi muito próximo a 0 (0,0028), o que indica a evidência de forte relação entre idade e IDM.

A hipótese II pode ser analisada, de forma numérica, pelos resultados. Esta análise foi feita separadamente para cada vazão, visto que o mesmo medidor pode apresentar resultados de sobremedição para uma vazão, e em outro ensaio -de vazão diferente-, apresentar uma submedição considerável. Trabalhar com um resultado médio entre todas as vazões, neste caso, nos mostraria um resultado sem clareza. Portanto, analisou-se separadamente, cada vazão, conforme Tabela 23.

Tabela 23 - Avaliação da sobremedição e vazões

Vazão testada	% de Hd's que apresentaram sobremedição	Média de erros positivos
Qn	35,15%	1,51%
2Qt	17,69%	2,82%
Qt	17,25%	5,71%
2Qmin	19,65%	2,06%
Qmin	5,02%	3,29%

Fonte: Elaborado pela autora.

Portando, nota-se que quanto maior a vazão analisada, maior a frequência percentual, dos 458 hidrômetros analisados, de ocorrência de sobremedição, e a vazão de transição apresentou uma média de erros considerável, e, ao ser comparada com os parâmetros do INMETRO está fora do padrão aceitável.

Em relação ao IDM, apesar da norma considerar que os medidores com IDM igual ou acima de 90% estão aprovados, os prestadores têm definido em suas especificações de compra o valor a ser alcançado nos ensaios. Para que este parâmetro seja adotado, é necessário um estudo específico de perfil de consumo da região, ou a utilização do perfil trazido pela NBR 15.538/2014. Assim, durante o recebimento de lotes, os ensaios deverão ser adaptados para que todas as vazões do perfil de consumo sejam testadas, para que o cálculo do IDM possa ser efetuado.

Mutikanga *et al.* (2011b), apresentaram resultados de testes de 250 hidrômetros, e o desempenho ponderado geral para medidores domésticos (0 a 15 anos) foi de 78% ou um erro ponderado de 22%. Ainda analisou o erro de medição ponderado para usuários com caixa d'água elevada, que foi mais significativo-25%, enquanto o de usuários com fornecimento direto foi de 7%.

4.2.3 Estimativa de erros de Micromedição do parque

Além da avaliação de erros, a quantificação da submedição dos hidrômetros também é uma ação necessária para o balanço hídrico, pois se trata de mensurar uma das parcelas das perdas aparentes, sendo o balanço hídrico a principal ferramenta no controle e gestão das perdas de água.

Neste item, é preciso destacar que a literatura utiliza a nomenclatura “Estimativa de submedição no parque”. O termo submedição é utilizado porque o resultado esperado e usual, é um IDM abaixo de 100%, o que caracteriza uma submedição global do parque. Isto não significa que os erros positivos não são considerados nesta análise. Portanto, neste estudo, trataremos destes valores como erros de micromedição.

Para que seja possível estimar os erros e, dessa forma, a submedição de um parque, deve-se conhecer os erros amostrais dos hidrômetros nas diferentes idades e, também, as características do parque como um todo. Primeiramente, é preciso ter o conhecimento do quantitativo de hidrômetros no parque e, o volume micromedido por cada um dos estratos de idade. O Quadro 03 mostra as informações do parque analisado por este estudo.

Quadro 03 – Dados gerais do parque

Ano	Faixa de idade (anos)	Faixa de idade (meses)	Item	TOTAL
			Média Mensal (30 dias)	4.540.782,12
			Quant.	326.218
			Média	13,92
1	>0 e <=1	0 a 11	Média Mensal (30 dias)	754.599,93
			Quant.	51.766
			Média	14,58
2	>1 e <=2	12 a 23	Média Mensal (30 dias)	1.170.758,34
			Quant.	80.798
			Média	14,49
3	>2 e <=3	24 a 35	Média Mensal (30 dias)	614.640,18
			Quant.	38.625
			Média	15,91
4	>3 e <=4	36 a 47	Média Mensal (30 dias)	329.851,71
			Quant.	24.139
			Média	13,66
5	>4 e <=5	48 a 59	Média Mensal (30 dias)	293.315,13
			Quant.	21.823
			Média	13,44
6	>5 e <=6	60 e 71	Média Mensal (30 dias)	414.158,58
			Quant.	28.917
			Média	14,32
7	>6 e <=7	72 e 83	Média Mensal (30 dias)	348.970,20
			Quant.	22.718
			Média	15,36
8	>7 e <=8	84 e 95	Média Mensal (30 dias)	88.183,08
			Quant.	6.954
			Média	12,68
9	>8 e <=9	96 a 107	Média Mensal (30 dias)	88.531,89
			Quant.	7.849
			Média	11,28
10	>9 e <=10	108 a 119	Média Mensal (30 dias)	76.757,40
			Quant.	7.014
			Média	10,94
11	>10	120 ou mais	Média Mensal (30 dias)	361.015,68
			Quant.	35.615
			Média	10,14

Fonte: CESAN (2019).

Com estes dados disponíveis, é possível calcular a estimativa de erros de medição do parque, e o IDM geral. Os resultados estão no Quadro 04.

Quadro 04 - Resultados de Perdas por submedição

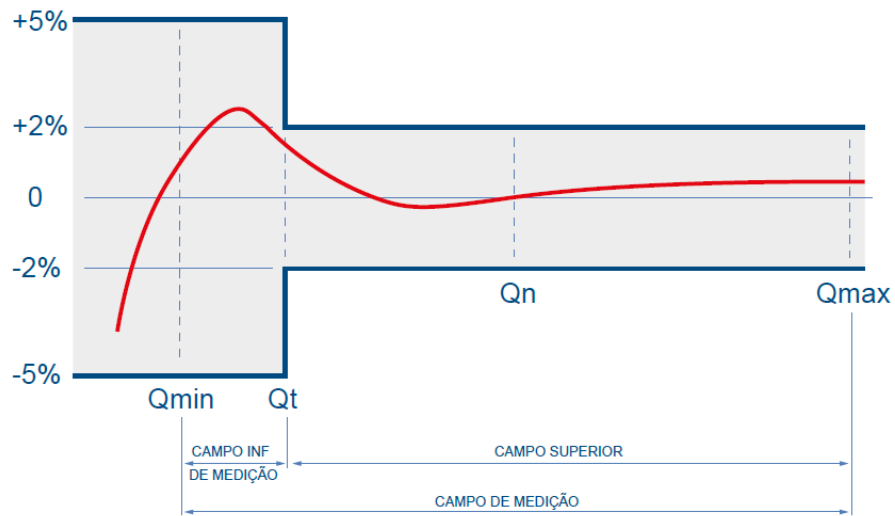
Idade (anos)	Erro ponderado	IDM	Qtd de HD's	Volume micromedido médio mensal	Estimativa de submedição média mensal (m ³)	Estimativa de consumo mensal (m ³)
1	-0,39%	99,61%	51.766	754.599,93	2.984,76	757.584,69
2	-2,62%	97,38%	80.798	1.170.758,34	31.553,98	1.202.312,32
3	-2,95%	97,05%	38.625	614.640,18	18.671,66	633.311,84
4	-5,47%	94,53%	24.139	329.851,71	19.101,12	348.952,83
5	-5,89%	94,11%	21.823	293.315,13	18.363,80	311.678,93
6	-13,65%	86,35%	28.917	414.158,58	65.442,90	479.601,48
7	-13,20%	86,80%	22.718	348.970,20	53.077,38	402.047,58
8	-9,70%	90,30%	6.954	88.183,08	9.474,24	97.657,32
9	-6,37%	93,63%	7.849	88.531,89	6.027,57	94.559,46
10	-11,60%	88,40%	7.014	76.757,40	10.075,61	86.833,01
>10	-13,80%	86,20%	35.615	361.015,68	57.808,35	418.824,03
				Mensal		
			326.218	4.540.782,12	292.581,37	4.833.363,49
		93,95%		Anual		
				54.489.385,44	3.510.976,49	58.000.361,93

Fonte: Elaborado pela autora.

A análise avaliou uma perda por submedição de três milhões quinhentos e dez mil novecentos e setenta e seis metros cúbicos de água por ano. Vale ressaltar que este valor representa uma perda em volume de água. Caso a análise financeira seja feita, há de se levar em conta as residências que estão interligadas à rede de esgotamento sanitário, onde essa perda também se reflete. Além disso, ainda existem outras questões, como inadimplência, fatura mínima.

Existe um erro intrínseco aos hidrômetros, conforme Figura 38. Ou seja, sempre irá existir um mínimo de volume de água não medido, definido como o volume não medido inevitável anual, que não pode ser completamente eliminado, até mesmo em sistemas bem geridos. Este erro inicial e mínimo depende, principalmente, do princípio de funcionamento do hidrômetro. Para hidrômetros velocimétricos do tipo unijato, o pior caso chega a -5% e melhor caso -2%. Deve-se atuar para reduzir estas perdas de forma a minimizar aquilo que é tangível à gestão, para que os erros sejam próximos àqueles inevitáveis (ARREGUI *et al.*, 2018; ARREGUI *et al.*, 2018a).

Figura 38 - Curva de erros máximos admissíveis



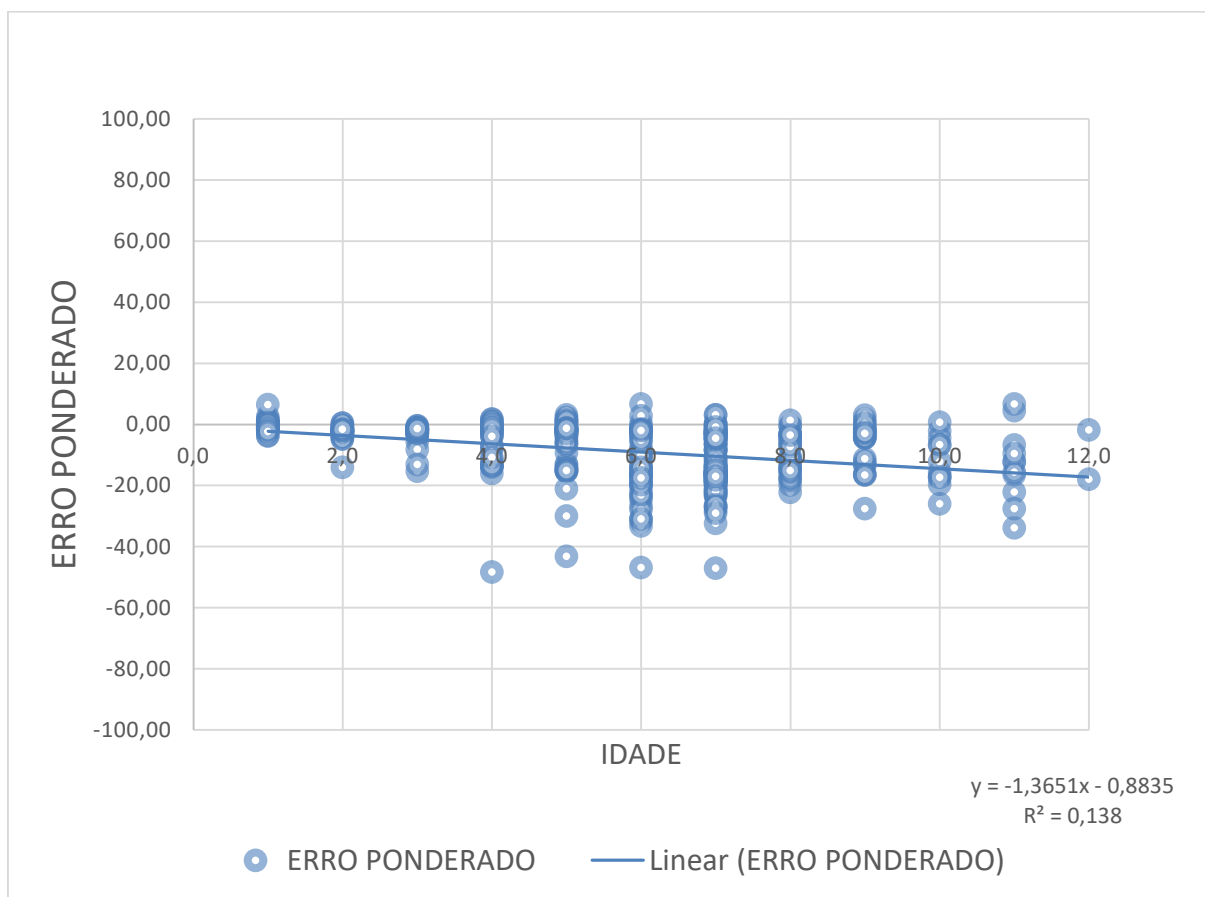
Fonte: Lao Industria (2015a)

4.3 RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

4.3.1 Idade

Ao correlacionar dados dos erros ponderados de cada hidrômetro testado, para avaliar a possível correlação linear entre esses fatores, obtém-se o Gráfico 15 de dispersão, com os pontos desta análise.

Gráfico 15 - Correlação linear Idade x Erro ponderado

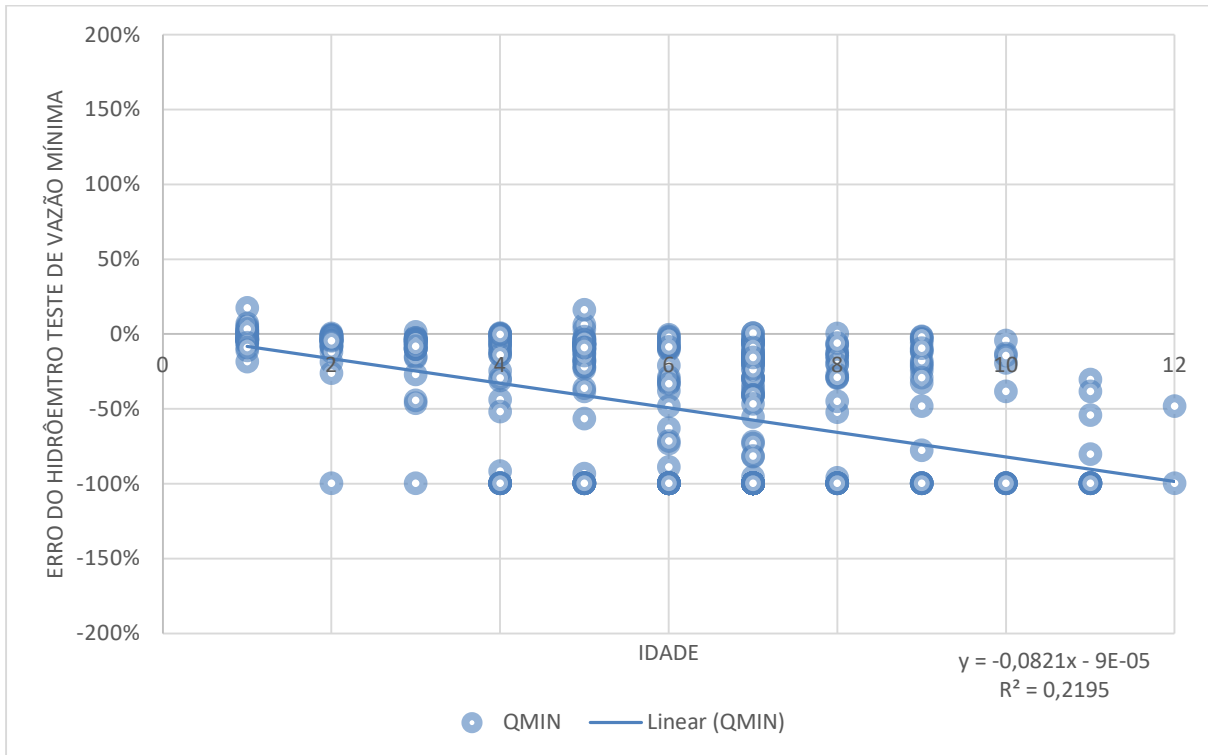


Fonte: Elaborado pela autora.

O coeficiente de correlação de Pearson calculado para a relação entre essas duas variáveis foi de $r = -0,3714$. Isso significa que a relação linear entre estas duas variáveis existe, mas não pode ser considerada uma relação muito forte. Isto porque o máximo valor absoluto para esta relação é 1. Nota-se que o coeficiente de correlação é negativo. Isto significa que a submedição aumenta à medida que estes hidrômetros envelhecem, resultados estes condizentes com o esperado. Uma observação importante é que, o erro ponderado também pode ser positivo, em caso de hidrômetro que apresente balanço positivo ao ponderar seus erros. Para que a avaliação pudesse ser mais assertiva, testou-se também a correlação entre a idade e o erro ponderado absoluto, juntando as variáveis de sobre e submedição em um só lado do eixo, todos com o mesmo sinal. O coeficiente de correlação não apresentou grandes alterações com esta mudança. Conclui-se então que a parcela negativa destes erros é aquela significativa.

Ao traçar o Gráfico 16 de dispersão das variáveis idade e erros para os testes de vazão mínima, onde os erros estão mais concentrados, o resultado é um gráfico que nos mostra que existe uma relação, resultante de um coeficiente de correlação de $p = 0,4685$, mas que esta relação não é forte.

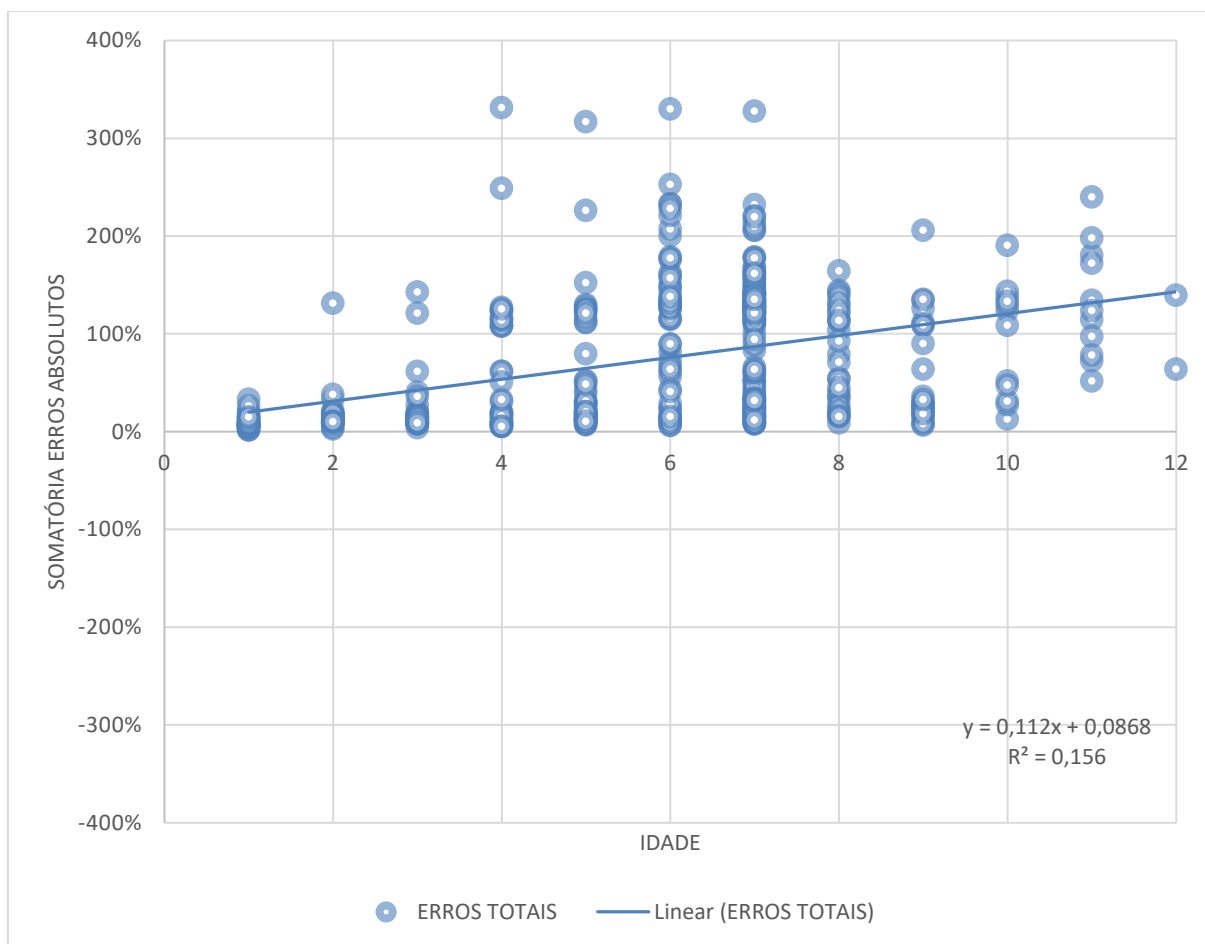
Gráfico 16 - Correlação linear Idade x Erro do hidrômetro em vazão mínima



Fonte: Elaborado pela autora.

Outro teste que se mostrou interessante foi a relação entre a idade dos medidores e a somatória, em valor absoluto, dos erros detectados em ensaio, para as 5 vazões testadas. Desta forma, conseguimos analisar os erros propriamente ditos, sem a influência dos pesos do perfil de consumo adotado. Isto é relevante pois o perfil de consumo pode variar de acordo com a região. Portanto, o Gráfico 17 desta relação foi delineado.

Gráfico 17 - Correlação linear Idade x Somatória erros absolutos



Fonte: Elaborado pela autora.

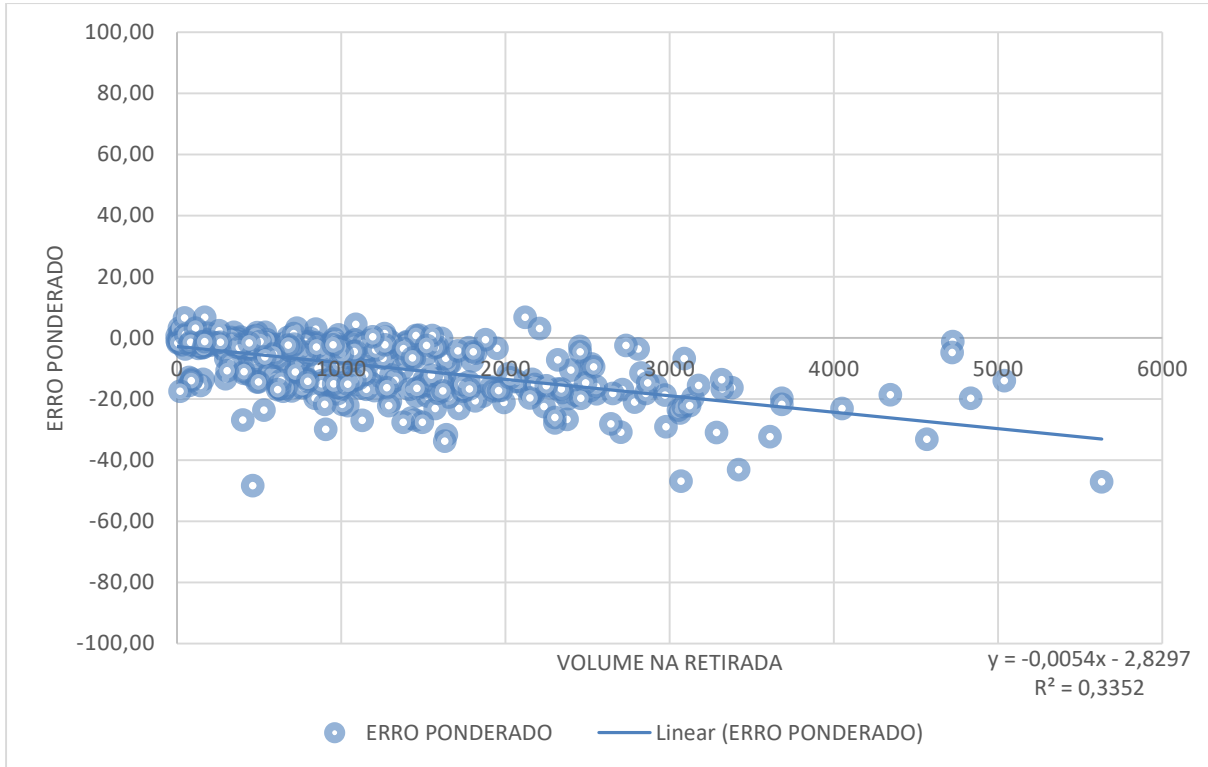
O coeficiente de correlação do par erros totais e idade foi $p = 0,3949$, dessa vez positivo pois trabalhou-se com valores absolutos para tal delineamento.

4.3.2 Volume

Outro dado disponível da amostragem de hidrômetros retirada de campo na base de dados da concessionária, além da idade, era a leitura do volume totalizado no momento da retirada. Este dado possui relação com a idade, pois quanto mais tempo o hidrômetro fica instalado, mais volume de água passa por ele. Porém, não é apenas este o fator de influência. Os hábitos de consumo da residência influenciam, fatores da rede como pressão e oferta de água, além do tipo de uso destinado àquela economia. Portanto, ao analisar a idade, de forma estratificada, não necessariamente estamos analisando hidrômetros com estratificação de volume coerente com a idade.

Para avaliarmos este parâmetro de forma separada, traçou-se o gráfico de dispersão, primeiramente, da relação volume versus erro ponderado (Gráfico 18).

Gráfico 18 - Correlação linear Volume x Erro ponderado

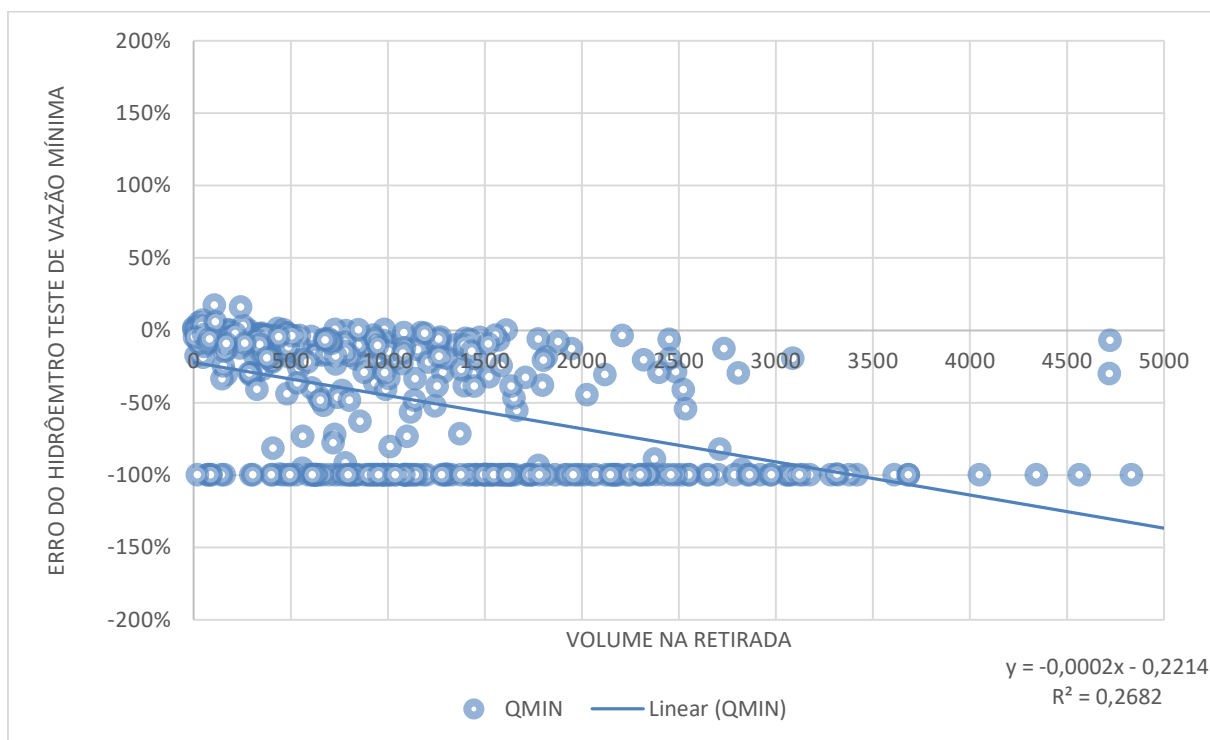


Fonte: Elaborado pela autora.

O coeficiente de correlação calculado para esse par foi de $\rho = -0,58$. Deste dado, podemos concluir que existe uma relação mais forte entre a volume e o erro ponderado do hidrômetro do que entre um parâmetro temporal de idade e os erros ponderados. Neste estudo, a metodologia utilizada, com estratificação por idade foi escolhida por recomendação da NBR 15.538/2014 e do Guia de Perdas Aparentes elaborado pela AESBE. Ressalta-se que o erro ponderado é a variável base para calcularmos o IDM.

Similar ao item 4.4.1, também foram analisadas outras duas variáveis. A relação entre erros na vazão mínima e o volume que transpassou o medidor pode ser visualizada no Gráfico 19 de dispersão.

Gráfico 19 - correlação linear Volume x Erro do hidrômetro em vazão mínima

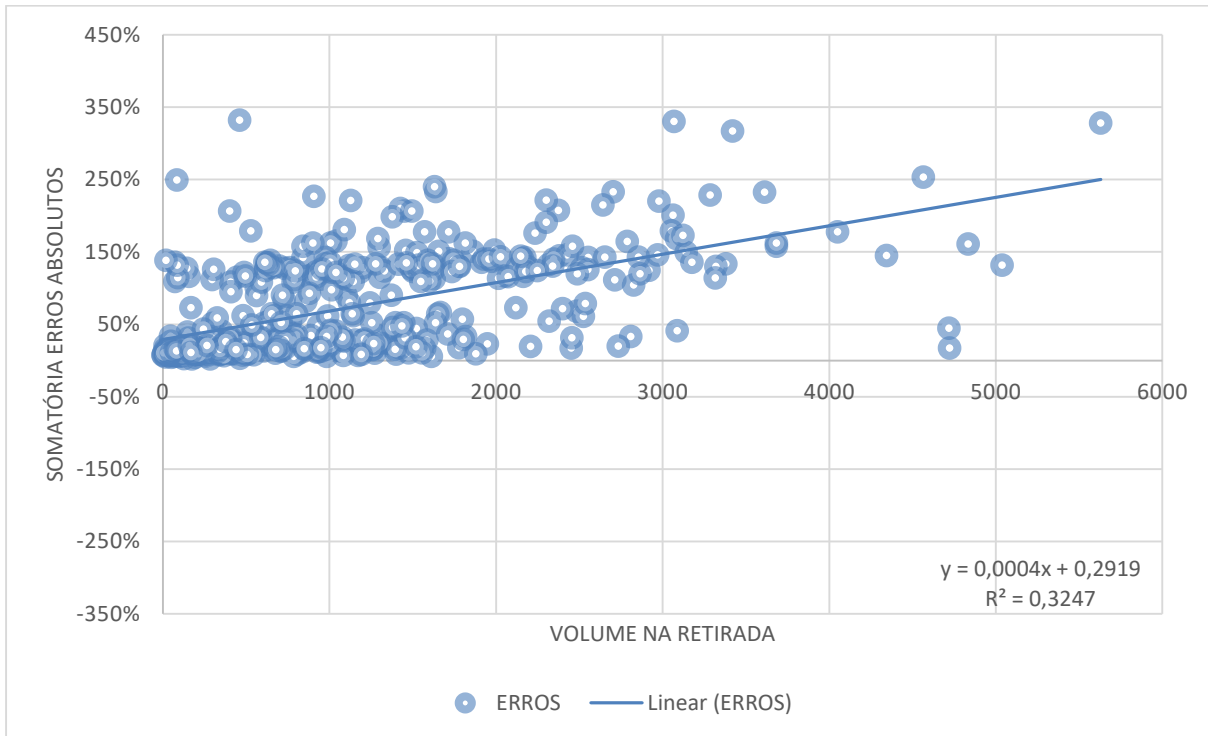


Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se uma distribuição bastante uniforme entre os valores de volume de hidrômetros com erros iguais a 100% na vazão mínima. Esta configuração também ocorreu na análise da vazão mínima com a idade, porém percebe-se mais evidente ao comparar com o volume. Isto significa que existem outros fatores, que não apenas o desgaste por tempo ou volume de trabalho, influenciando no fenômeno de 'parada' dos hidrômetros em vazão mínima. O coeficiente de correlação para esta análise foi de $p = -0,518$.

Ao analisar a relação entre a somatória de erros absolutos em todas as vazões e o volume, demonstrada no Gráfico 20, a relação é caracterizada por um coeficiente de correlação de $p = 0,5698$. Ou seja, esta relação, assim como as outras, também é mais forte do que àquelas resultantes da análise feita com as idades.

Gráfico 20 - Correlação linear Volume x Somatória erros absolutos



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.3 Idade e Volume

Devido à complexidade técnica, existe a probabilidade que algum componente do hidrômetro irá falhar sem nenhuma causa aparente. As causas para erros nos medidores são muitas, e variam de acordo com muitos fatores como idade, volume totalizado, princípio de funcionamento, design do medidor, vazões do perfil de consumo e qualidade da água. A determinação dos parâmetros que determinam as probabilidades de erros e falhas é uma área complexa, e requer estudos muito específicos para determinar estatisticamente resultados válidos para cada tipo de hidrômetro (ARREGUI *et al.*, 2018a; YAZDANDOOST *et al.*, 2018). Dos dados disponíveis neste estudo, foram feitas análises das variáveis possíveis, para avaliar a influências destas nos erros dos medidores. A idade do medidor, assim como o volume de água que já passou pela sua turbina, ou seja, a leitura de retirada do medidor, influenciam em seu desgaste. Como a situação que acontece em campo é muito variável, este trabalho tenta avaliar a relação resultante das variáveis independentes idade e volume em relação a algumas variáveis dependentes, através da análise multivariada- regressão múltipla.

Primeiramente, avaliou-se a relação dessas variáveis com o IDM. Lembrando que esta relação é análoga à relação com os erros ponderados, visto que o IDM nada mais é do que a situação ideal (100%) somada ao erro ponderado encontrado para aquela unidade. Para esta análise, obteve-se um valor-p do teste F de significância global muito próximo a zero. O teste F global determina se este relacionamento é estatisticamente significativo, caso o valor seja abaixo de 0,005, e evidencia que pelo menos uma variável no modelo está relacionada com o IDM. Além disso, o valor-p individual para cada uma das variáveis (idade e volume) também foi menor que 0,05. Portanto, a partir deste resultado, prosseguiu-se com a análise. O R-quadrado desta regressão demonstra qual a força desta relação. Neste caso obtivemos um valor de 0,23, o que significa que as variáveis analisadas são responsáveis por 23% da variabilidade no IDM. O restante desta variabilidade está relacionado a diversos fatores presentes na situação de campo: qualidade da água, localização do imóvel, quantidade de resíduos no medidor, fabricante, portanto a análise ideal seria uma regressão que pudesse incluir dados de todas essas características.

Para a variável IDM, temos a influência do perfil de consumo adotado para este estudo. Afim de analisar os erros de forma mais simplista, sabendo que a situação mais agravada está nas vazões mínimas, esta variável (erros em vazões mínimas) também foi avaliada. O resultado foi significativamente mais relevante, com um valor de R-quadrado de 28%. O que significa que a idade e volume tem responsabilidade e influência nos erros em vazão mínima de 28%, dentre outras variáveis. Os valor-p individuais e do teste F de significação também foram todos próximos a zero, e menores que 0,005, garantindo a relevância estatística.

4.3.4 Fabricante

A análise em relação aos fabricantes é uma análise de variável qualitativa, sendo realizada através de visualização em gráficos e tabelas. O Quadro 05 traz os quantitativos de medidores de seis fabricantes distintos, e a sua ocorrência por idade na amostra testada. Percebe-se essa heterogeneidade de marcas pelo fator já exposto anteriormente, o processo de compra por lotes da concessionária, que não possui sempre todas as variedades de marcas em seu estoque. Portanto, não existem exemplares de todos os fabricantes com todas as idades.

Quadro 05 - Divisão amostral por fabricantes

Idade	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 4	Fabricante 5	Fabricante 6	Total Geral
1	3	17		1	13		34
2	26		1	1			28
3	7		20	7			34
4	1		11	20		1	33
5	20		21	13			54
6	29		4	22			55
7			2	136			138
8			16	11		2	29
9			5			20	25
10			8			5	13
11			3		3	6	12
12			1		1		2
Total Geral	86	17	92	211	17	34	457

Fonte: Elaborado pela autora.

Com a avaliação do índice de desempenho de medição realizada, pode-se então fazer a separação desta análise por fabricante, para que a influência desta variável seja percebida e comparada com a média geral. O Quadro 06 resume esta informação.

Quadro 06 – IDM (%) por idade e por fabricante

Idade	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 4	Fabricante 5	Fabricante 6	Média IDM na Idade
1	98,78	99,90		106,43	98,89		99,61
2	97,32		97,87	98,31			97,38
3	96,47		98,06	94,75			97,05
4	92,56		94,63	94,56		89,12	94,36
5	88,90		97,92	95,67			94,11
6	87,25		97,74	83,11			86,35
7			90,99	86,74			86,80
8			92,56	86,55		92,80	90,30
9			98,25			92,47	93,63
10			86,35			91,67	88,40
11			86,95		76,28	89,18	85,40
12			82,00		98,12		90,06

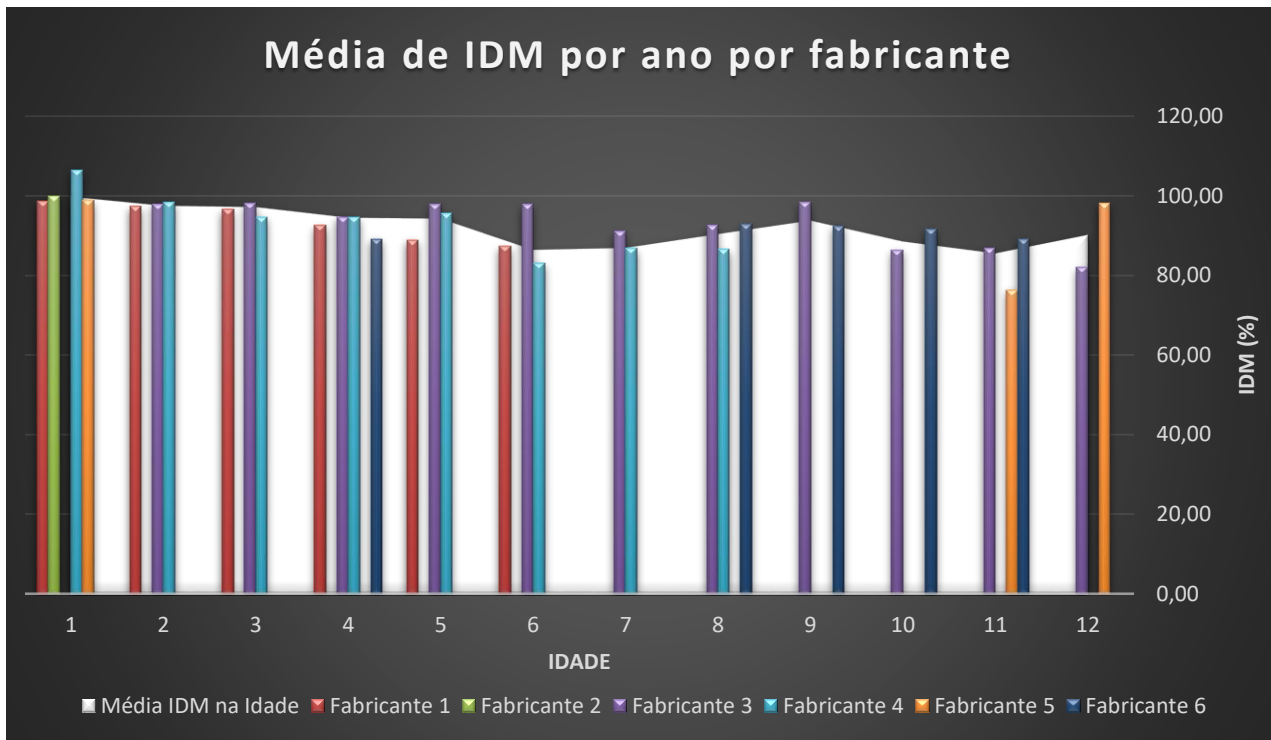
Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se algumas diferenças significativas que, quando se avalia apenas para a média, a discrepância não é enxergada. Por exemplo, na idade de 1 ano, 4 fabricantes compõem o todo da amostra. Porém, pontualmente, existem 3 fabricantes com o IDM similar, e um deles com o IDM caracterizando um índice de sobremedição considerável. Na média, ele não aparece, e o IDM é trazido para cima por esta

discrepância. Outro caso a ser pontuado, acontece na idade de 6 anos, onde os IDM's, entre os 3 diferentes fabricantes, demonstraram muitas diferenças, variando desde 83,11 até 97,74 %. Portanto, para a concessionária, esta avaliação por fabricante é uma grande aliada na tomada de decisões. Avaliar um parque e seu desenvolvimento ao longo do tempo fornece embasamento para escolhas que garantirão um bom funcionamento ao longo da vida útil esperada. O Gráfico 21 ilustra os dados por fabricante levantados, comparados à média geral da idade. Ele demonstra esta discrepância de comportamento por marca, que muitas vezes, se destaca pela diferença visível, como por exemplo o comportamento do fabricante 3 na idade 6 (desempenho melhor que a média), ou o fabricante 5 na idade 11 (desempenho pior que a média).

A fim de tentar mensurar o desgaste e, assim poder prever essas condições em laboratório, existe o ensaio de fadiga, normatizado. Ao efetuar recebimento de lotes de novos hidrômetros, o ideal é a realização deste teste, para que o teste de erros não ocorra apenas em condições de "hidrômetro novo". O ensaio de fadiga contínua (vazão de $1500\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$ durante 100 horas), foi complementado pelo teste de fadiga cíclica, que têm a variação de vazões, não só na máxima, simulando melhor o que vai acontecer no campo. Uma bancada automatizada seria necessária. A falta de um teste rigoroso de fadiga faz com que a o recebimento de lotes aprove hidrômetros que não resistem as condições de desgaste. É necessário a implementação destes ensaios, pois são o embasamento inicial para a escolha da marca adequada.

Gráfico 21 - IDM por ano por fabricante



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 ANÁLISE DE SOBREMEDIÇÃO

Neste item, a intenção é verificar os medidores com o objetivo de quantificar os erros, e determinar desvios que possam estar prejudicando o consumidor. A amostra total foi de 342 hidrômetros analisados. Estes medidores foram os totais de pedidos de ensaio, por iniciativa do consumidor, ocorridos ao longo de dois meses inteiros (Janeiro e Fevereiro de 2019). A amostra foi dividida em idades, conforme Tabela 24.

Tabela 24 - Divisão por idade de amostra de análise de sobremedição

Idade	Amostra
1	95
2	55
3	18
4	13
5	24
6	30
7	13
8	12
9	32
10	33
11	10
12	6
13	1
Total	342

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta amostra, pode-se notar a maior incidência de pedidos de verificação dos aparelhos nos primeiros anos de vida. Os hidrômetros com até 2 anos testados representam 44% de todos os pedidos durante os dois meses. Isto acontece porque, após a troca do hidrômetro antigo por um novo, o cliente nota um aumento na cobrança de água, e avalia que este aumento se deve a erros do novo medidor. Porém, na realidade, isto pode ser explicado pela taxa mais alta de eficiência de medição do novo hidrômetro, e as altas taxas de submedição do hidrômetro antigo. Neste caso, não houve um aumento do consumo, e sim um aumento da eficiência na medição. Existem outras situações, é claro, mas a principal realidade é esta.

Dentre essas outras situações, podemos citar a existência de vazamento interno na residência do morador. Com o aumento inesperado do consumo, ele aciona a Concessionária, que verifica esta possibilidade. Neste caso, podemos notar a necessidade evidente de um parque com medição adequada, pois além das perdas de faturamento, o controle operacional fica também mais eficiente, facilitando a identificação de focos de perda física ou vazamentos também.

Nesta análise, não se adotou a relação com perfil de consumo, para o cálculo de erros ponderados e IDM, pois o teste foi realizado apenas com três vazões, limitando muito a aplicação deste método, que originalmente necessita da análise em 10 pontos de vazão.

Ao realizarmos uma avaliação da amostra, apenas 166 dos 342 HD's foram aprovados com relação aos limites de erros. Destes, 18 foram reprovados devido à erros positivos

fora dos limites, e 148 devido a erros negativos. Das médias de erros por vazão, obtém-se apenas valores de erros negativos para as vazões Qt e Qmín, e para a vazão Qn algumas médias positivas, conforme demonstra o Quadro 07.

Quadro 07 - Valores médios de erros para as vazões avaliadas

IDADE	AMOSTRA	Média de Qn	Média de Qt	Média de Qmin
1	95	0,85%	-3,31%	-9,58%
2	55	0,29%	-2,86%	-10,83%
3	18	-0,03%	-1,53%	-16,96%
4	13	0,65%	-0,83%	-23,88%
5	24	1,07%	-7,48%	-46,73%
6	30	0,24%	-7,54%	-51,72%
7	13	0,26%	-11,33%	-57,63%
8	12	-0,97%	-14,33%	-66,50%
9	32	-4,39%	-11,37%	-49,61%
10	33	-0,86%	-15,91%	-57,34%
>10	17	1,89%	-7,94%	-59,59%

Fonte: Elaborado pela autora.

Como nas médias gerais pode acontecer de os erros negativos “neutralizarem” os erros positivos e, de alguma forma eles não ficarem evidentes, realizou-se um levantamento de todos os hidrômetros que obtiveram erros positivos, dentro ou fora dos limites estabelecidos, e as suas médias, mostrado na Tabela 25.

Tabela 25 - Sobremedição e Erros positivos

Vazão testada	% de Hd's que apresentaram sobremedição	Média de erros positivos destes
Qn	55,85%	2,52%
Qt	18,71%	3,90%
Qmin	8,77%	4,50%

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que mais da metade da amostra apresentou sobremedição na vazão mais alta. A vazão mínima apresentou a média mais alta de sobremedição, porém a menor taxa de ocorrência. Existe uma heterogeneidade de fabricantes, que foi representada no Quadro 08, junto às diferentes médias de erro por vazões. A nomenclatura dos seis fabricantes foi mantida igual a já utilizada anteriormente.

Quadro 08 - Erros médios por fabricante

	Média de Qn	Média de Qt	Média de Qmin	Amostra
1				
Fabricante 1	0,92%	-3,29%	-7,23%	57
Fabricante 2	0,76%	-5,37%	-10,07%	22
Fabricante 4	1,47%	0,35%	-16,24%	8
Fabricante 5	0,01%	-1,42%	-18,35%	8
2				
Fabricante 1	0,45%	-2,58%	-9,43%	52
Fabricante 3	-2,50%	-7,76%	-35,07%	3
3				
Fabricante 1	0,33%	-4,57%	-43,00%	3
Fabricante 3	-0,09%	-0,41%	-3,47%	11
Fabricante 4	-0,15%	-2,32%	-34,53%	4
4				
Fabricante 3	1,15%	0,23%	-10,04%	11
Fabricante 4	-2,09%	-6,67%	-100,00%	2
5				
Fabricante 1	1,01%	-10,43%	-56,84%	17
Fabricante 3	-0,44%	-1,53%	-7,26%	3
Fabricante 4	2,46%	0,63%	-33,38%	4
6				
Fabricante 1	1,11%	-6,48%	-77,12%	7
Fabricante 3	0,48%	-3,54%	-20,09%	5
Fabricante 4	-0,17%	-9,06%	-50,63%	18
7				
Fabricante 3	5,55%	-11,83%	-24,59%	2
Fabricante 4	-0,70%	-11,23%	-63,64%	11
8				
Fabricante 3	-1,86%	-10,98%	-70,51%	4
Fabricante 6	-0,52%	-16,00%	-64,50%	8
9				
Fabricante 3	-4,59%	-7,04%	-44,40%	29
Fabricante 5	-2,41%	-53,19%	-100,00%	3
10				
Fabricante 2	4,67%	-3,20%	-56,61%	5
Fabricante 3	-4,48%	-5,03%	-37,70%	3
Fabricante 5	-2,72%	-30,52%	-64,44%	15
Fabricante 6	0,27%	-3,61%	-52,94%	10
>10				
Fabricante 1	-2,47%	-4,16%	-56,14%	2
Fabricante 2	2,78%	-1,20%	-100,00%	1
Fabricante 3	3,85%	-10,31%	-42,59%	9
Fabricante 5	-1,70%	-8,77%	-61,28%	2
Fabricante 6	1,02%	-5,07%	-100,00%	3

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao analisar a amostra total, nota-se que apenas dois hidrômetros apresentaram sobremedição acima dos limites na Qmin. Estes dois medidores tinham idades de 9 e 10 anos, e ambos são do Fabricante 3. Na vazão de transição, o número de medidores com sobremedição foi maior, 12 unidades. 10 dessas unidades também eram do Fabricante 3, com idades maiores que 9 anos. Para a maior vazão, Qn, 10 hidrômetros

tiveram erros positivos maiores que o tolerado (10%). Destes, 8 são do Fabricante 3 novamente, e com idades também maiores que 9 anos. Este pequeno levantamento pode demonstrar que o fabricante 3 apresenta índices de sobremedição mais expressivos naqueles medidores com mais de 9 anos de idade.

5 CONCLUSÃO

A existência das perdas aparentes é inevitável em qualquer sistema. Porém, há ações que podem ser tomadas para tentar atingir níveis de perdas que se igualem apenas àqueles inevitáveis. Ao avaliar o parque metrológico e as suas condições, conclui-se que as variáveis são inúmeras, e evidencia-se que essas variáveis provocam um desgaste inerente ao uso e às condições. Da amostra testada, os hidrômetros velocimétricos unijato classe B demonstraram um índice geral de reprovação, englobando todas as idades, de 69%.

Trocar os medidores também deve ser um procedimento que vise o avanço tecnológico do parque de medidores, aumentando a vida útil destes equipamentos, sendo que uma maneira de acompanhar a evolução tecnológica e o acompanhamento contínuo do IDM do parque de medidores. Ao avaliar a tendência de decrescimento do IDM do parque ao longo do tempo, a partir da linha de tendência traçada com os resultados, obteve-se a taxa de -1,04% ao ano. Ressalta-se a diferença de comportamento dos medidores a medida que se avalia diferentes fabricantes, demonstrando que a marca do equipamento influencia no desempenho.

Adicionalmente, percebe-se uma irregularidade no comportamento a partir dos 5 anos de idade. A Sabesp, ao avaliar este decrescimento, em 2004, reduziu a idade máxima dos hidrômetros de pequena capacidade de 8 para 4,5 anos, e o resultado dessa troca foi avaliado em ganho de cerca de 2m³ por mês por hidrômetro trocado, em média (TSUTIYA, 2018). A nova Portaria 295 do Inmetro (2018) trouxe uma alteração na idade mínima para verificação de hidrômetros em uso, que passou de 5 para 7 anos. Este direcionamento deve ser avaliado pela companhia afim de verificar o benefício financeiro desta adoção. Há também a questão social, pois envolve a satisfação da população, em casos de sobremedição, além do aumento da eficiência de gestão contribuir para questões ambientais que vão além da medição. Uma medição eficiente contribui não só para a redução de perdas aparentes, mas também terá o efeito direto de se conseguir calcular o índice de perdas com incerteza mais baixa. Ao contribuir para uma otimização do controle do sistema de forma geral, facilita-se a detecção de avarias, fraudes, vazamentos ou outras situações que gerariam contribuição para o aumento de perdas físicas. Um outro fator, muitas vezes não identificado ou valorizado, é o aumento do consumo consciente, pois o consumidor busca manter um

maior controle, para não ter incremento em sua fatura, preservando um volume de água que o prestador terá disponível para fornecer aos consumidores que demandam por mais volume.

Além disto, avaliou-se o quantitativo das perdas por erros de medição, e foram calculados volumes de perda que representam aproximadamente 6% do volume micromedido do parque.

A avaliação das variáveis revelou uma influência maior do volume totalizado pelo hidrômetro do que a idade do medidor em relação ao aumento dos erros encontrados. Este resultado é interessante e deve ser levado em conta, visto que a literatura existente avalia prioritariamente a idade. Os resultados deste estudo mostraram que 23% da variabilidade dos erros ponderados dos medidores estudados está na idade e no volume totalizado. Analisou-se também esta influência em relação aos erros em vazão mínima, vazão crítica para perdas, e o resultado foi de 28%. Ressalta-se que a avaliação contínua consegue resultados mais representativos, pela densidade de dados, pois cria-se uma base dados mais robusta, gerando evidências que cada vez estarão mais precisas ao caracterizar o parque.

A amostra com hidrômetros analisada em relação à sobremedição indicou 51% de reprovações, para erros positivos ou negativos. Para os erros positivos, 5%, e para erros negativos 46%. Isto demonstra a predominância de erros negativos, mas também evidencia a existência de erros positivos. Ao analisar os erros gerais, independente de limites estabelecidos pela legislação, mais de 50% da amostra apresentou sobremedição em vazão nominal. A sobremedição dentro dos limites é aceitável do ponto de vista metrológico, porém o prejuízo financeiro ao consumidor ainda assim acontece.

Como recomendações para próximos trabalhos, sugere-se a aplicação de testes de fadiga, além de uma análise financeira de viabilidade de troca, de acordo com o incremento de volume medido a partir de melhorias do parque. Recomenda-se também o levantamento de perfil de consumo regional específico, através de análise de campo com *data logger*. Uma outra opção interessante é realizar essa análise em um conceito DMC, em que as variáveis estão mais controladas e as influências são conhecidas e mensuráveis, gerando resultados mais concretos e com atuação corretiva mas facilmente identificável.

REFERÊNCIAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. (Org.). **Entraves ao investimento em Saneamento**. São Paulo: Abes, 2013.

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Perdas de água nas capitais do Brasil: Um olhar sobre as áreas irregulares**. Rio de Janeiro: ABES, 2017.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15538: Medidores de Água Potável – Ensaio para a avaliação de eficiência**. Rio de Janeiro, 2014.

ADEOSUN, O. O. Water Distribution System Challenges And Solutions. **Water Online**. Obafemi Awolowo University, 2014.

AESBE – Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. **Guia prático de procedimentos para estimativa de submedição no parque de Hidrômetros**. Brasília, 2015.

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRERA, E.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R. **Performance indicators for water supply services**. 2. Ed. Londres: IWA Publishing, 2006.

AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; KENNEDY, M. Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. **Water Resources Management**, v. 30, n. 14, p. 4985-5001, 2016.

ARREGUI, F. J.; CABRERA, E.; COBACHO, R.; GARCIA-SERRA, J. Reducing Apparent Losses Caused By Meters Inaccuracies. **Water Practice And Technology**, v. 1, n. 4, p. 2006093-2006093, 2006.

ARREGUI, F. J.; COBACHO, R.; SORIANO, J.; JIMENEZ-REDAL, R. Calculation Proposal for the Economic Level of Apparent Losses (ELAL) in a Water Supply System. **Water**, v. 10, n. 12, p. 1809, 2018.

ARREGUI, F. J.; GAVARA, F. J.; SORIANO, J.; PASTOR-JABALOYES, L. Performance Analysis of Ageing Single-Jet Water Meters for Measuring Residential Water Consumption. **Water**, v. 10, n. 5, p. 612, 2018.

BIASUTTI, S. ; COELHO, E. R. C. . Water loss indicators used in public water supply services in Brazil: Literature research and review. In: International Sustainable Built Environment Conference, 2016, Vitória. **Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment**, v. 2. p. 963-972, 2016.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é – o que não é**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012

BOYLE, T.; GIURCO, D.; MUKHEIBIR, P.; LIU, A.; MOY, C.; WHITE, S.; STEWART, R. Intelligent Metering for Urban Water: A Review. **Water**, v. 5, n. 3, p. 1052-1081, 2013.

BRASIL. Agência Nacional das Águas - ANA. **Atlas Abastecimento Urbano de Água: Resultados por Estado**. Volume 2. Brasília: ANA, 2010.

BRASIL. **Caderno temático 3 - Perdas aparentes: Ações de assistência técnica em redução e controle de perdas de água e uso eficiente de energia elétrica**. Ministério das Cidades, 2018. Disponível em: <http://interaguas.ana.gov.br/Lists/Licitacoes_Docs/Attachments/229/AT3%20-%20PERDAS%20APARENTES.pdf> Acesso em: 23 out. de 2019.

BRASIL. **Lei n.º 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, e dá outras providências. Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO. **Portaria n.º 436 , de 16 de novembro de 2011**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001755.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO. **Portaria nº 246, de 17 de outubro de 2000**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC000667.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO. **Portaria nº 295, de 29 de junho de 2018**. Disponível em:

<<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002515.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO. **Inspeção de bancadas de ensaios de hidrômetros NIT-SEFLU-007**. 2018a. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/pesquisa_link.asp?seq_tipo_documento=4&cod_uo_numeracao=00875&num_documento=007>. Acesso em: 23 out. de 2019.

BRASIL. **Perdas de água 2019 (SNIS 2017)**: Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. Brasil: Instituto Trata Brasil, 2019.

BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico: PLANSAB**. Brasília: Ministério das Cidades, 2013. Disponível em: < http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab_06-12-2013.pdf>. Acesso em: 01 Jul. de 2019.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017.

BRASIL.Ministério da Saúde. **Portaria nº 21. 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.

BRITTON, T. C.; STEWART, R. A.; O'HALLORAN, K. R. Smart metering: enabler for rapid and effective post meter leakage identification and water loss management. **Journal Of Cleaner Production**, v. 54, p.166-176, 2013.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica (Métodos Quantitativos)**. 4ª edição. SãoPaulo: Atual, 1987.

CARVALHO, V. **Gestão dos fatores críticos de sucesso de processos de concessão e parceria público-privada no setor de água e esgoto**. 2019. 130 f. Dissertação (Mestrado Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2019.

COELHO, A. C. **Medição de Água, Política e Prática**. Recife: Editora Comunicarte, 1996.

COELHO, B.; CAMPOS, A. Efficiency achievement in water supply systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 30, p. 59–84, 2014.

COUVELIS, F.A.; VAN ZYL, J.E. Apparent losses due to domestic water meter under-registration in South Africa. **Water SA**, v. 41, n. 5, p. 698-705, 2015.

CRIMINISI, A.; FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G. Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. **Water Science & Technology - WST**, v. 60, n.9, p. 2373-2382, 2009.

DEPEXE, M.; GASPARINI R. **Estimativas de submedição de um parque de hidrômetros a partir de taxas anuais de redução da eficiência da medição**. In: 24º. Encontro Técnico AESABESP. São Paulo, 2013.

FAE Technology Company. **Hidrômetros Ultrassônicos**: Linha Fluxus. 2019. Disponível em: <<http://www.fae.com.br/hidrometros-ultrassonicos/>> Acesso em: 23 out. 2019.

FARLEY, M.; LIEMBERGER, R. Developing a non-revenue water reduction strategy: planning and implementing the strategy. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 5, n. 1, p. 41-50, 2005.

FARLEY, M.; TROW, S. Losses in water distribution networks: a practitioner's guide to assessment, monitoring and control. **IWA Publishing**, Londres, 2003.

FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. Decision model to control water losses in distribution networks. **Production**, v. 26, n. 4, p. 688-697, 2016 .

FONTANAZZA, C.; NOTARO, V.; PULEO, V.; FRENI, G. The apparent losses due to metering errors: a proactive approach to predict losses and schedule maintenance. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 3, p. 229-239, 2015.

FRANCI, R. **Uso Racional de água e Energia**. Rio de Janeiro: Abes, 2009.

GONÇALVES, E.; ITONAGA, L. C. **Controle de perdas em sistemas de água**. Departamento de engenharia civil e ambiental, Universidade de Brasília, 2007.

GUIMARAES, D. C. L. **Nível de desempenho de perda real no sistema de distribuição de água em Vitória – ES**: Estudo de caso 2014-2017. 2019. 142 f. Dissertação (Mestrado Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) - Programa de

Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2019.

GULARTE, C. B. **Um Estudo sobre a Submedição em Hidrômetros para Aplicação no Controle de Perdas Aparentes no Sistema de Abastecimento de Água de Blumenau**. 2005. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ILHA, M. S. O.; OLIVEIRA, L. H.; GONCALVES, O. M. Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros?. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 177-186, 2010 .

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES - IJSN. **Banco de Dados: ES em mapas**. 2011. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/mapas/>> Acesso em: 23 out. 2019

IWA - International Water Association. **Guidance Notes on Apparent losses and water loss reduction planning: Iwa**, 2016.

JUNIOR, C. A. S. **Micromedição: a importância dos ensaios e dimensionamento**. Edição: Hydro Abril 2017. Poços de Caldas - MG, 2017.

KANAKOUDIS, V.; TSITSIFLI, S.; SAMARAS, P.; ZOUBOULIS, A. Assessing the performance of urban water networks across the EU Mediterranean area: The paradox of high NRW levels and absence of respective reduction measures. **Water Science & Technology: Water Supply**, v. 13, n. 4, p.939-950, 2013.

LAMBERT, A; MENDEZA, F.; TVEIT, O. A. 14 Years Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators in Europe. In: **Proceedings of IWA Specialized Conference: Water Loss**. 2014.

LAMBERT, A; MENDEZA, F.; TVEIT, O. A. Water Losses Management and Techniques. **Water Science and Technology: Water Supply**. v.2, n.4, p.1-20, 2002.

Lao Indústria - Tecnologia e Excelência em Medição de Água e Gás. **Hidrômetro Multijato Magnético**. 2015b. Disponível em: <<http://laoindustria.com.br/images/uploads/Hidr%C3%B4metro%20Multijato%20Magn%C3%A9tico%20-%20Classe%20B.pdf>> Acesso em: 23 out. 2019.

Lao Indústria - Tecnologia e Excelência em Medição de Água e Gás. **Hidrômetro Unijato Magnético.** 2015a. Disponível em:

<<http://laoindustria.com.br/images/uploads/Hidr%C3%B4metro%20Unijato%20Magn%C3%A9tico%20-%20Classe%20B.pdf>> Acesso em: 23 out. 2019.

Lao Indústria - Tecnologia e Excelência em Medição de Água e Gás. **Hidrômetro Volumétrico Pistão Rotativo.** 2015d. Disponível em:

<<http://laoindustria.com.br/images/uploads/Hidr%C3%B4metro%20Volum%C3%A9trico%20Pist%C3%A3o%20Rotativo%20-%20Classe%20C.pdf>> Acesso em: 23 out. 2019.

Lao Indústria - Tecnologia e Excelência em Medição de Água e Gás. **Hidrômetro Woltman.** 2015c. Disponível em:

<<http://laoindustria.com.br/images/uploads/Hidr%C3%B4metro%20Woltman.pdf>> Acesso em: 23 out. 2019.

LAY, M. C. D ; REIS, A. T. L. Análise quantitativa na área de estudos ambiente-comportamento. **Ambiente construído**, v. 5, n. 2 , p. 21-36, 2005.

LEU, S.; BUI, Q. Leak Prediction Model for Water Distribution Networks Created Using a Bayesian Network Learning Approach. **Water Resources Management**, v. 30, n. 8, p. 2719-2733, 2016.

LOPES, N. P.; LARA, M.; LIBÂNIO, M. Quantificação em escala de bancada do volume de ar em ligações prediais de água. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.16, n. 4, p. 343-352, 2011.

LOUREIRO, D.; ALEGRE, H.; COELHO, S. T.; MARTINS, A.; MAMADE, A. A new approach to improve water loss control using smart metering data. **Water Science & Technology: Water Supply**, v. 14, n, 4, p. 618-625, 2014.

LUCIANI, C.; CASELLATO, F.; ALVISI, S.; FRANCHINI, M. Green Smart Technology for Water (GST4Water): Water Loss Identification at User Level by Using Smart Metering Systems. **Water**, v. 11, n. 3, p. 405, 2019.

MALHEIRO, R. M. G. **Controlo de perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água com sistemas de telecontagem.** 2011. 150 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil — Especialização em Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

MARTINS, M. E. G. Coeficiente de Correlação Amostral. **Revista de Ciências Elementar**, v. 2, n. 2, 2014.

MELATO, D. S. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água**: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo. 134 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MENDES, L. E.; SANTIM, T. G. S.; COSTA, M. **Cálculo do índice de desempenho da medição – idm do parque de medidores do saae guarulhos no ano de 2017**. 48º Congresso Nacional de Saneamento da Assemae. 2018. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/15733902/>> Acesso em: 23 out. 2019.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 3, p. 567-584, 2006.

MORAIS, D. C.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n. 1, p. 15-32, 2010 .

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Investigating water meter performance in developing countries : a case study of Kampala, Uganda. **Water SA**, v. 37, n. 4, p. 567-574, 2011b.

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Multi-criteria Decision Analysis: A Strategic Planning Tool for Water Loss Management. **Water Resources Management**, v. 25, n. 14, p.3947-3969. 2011a.

MUTIKANGA, H.E., SHARMA, S.K., VAIRAVAMOORTHY, K. Assessment of apparent losses in urban water systems. **Water and Environment Journal**, v. 25, n. 3, p. 327–335, 2011c.

NIELSEN, M. J.; TREVISAN, J.; BONATO, A.; SACHET, M. A. C. **Medição de Água – Estratégias e Experimentações**. Optagraf Editora & Gráfica. ABES. São Paulo, 2003.

OCIEPA, E.; MROWIEC, M.; DESKA, I. Analysis of Water Losses and Assessment of Initiatives Aimed at Their Reduction in Selected Water Supply Systems. **Water**, v. 11, n. 5, p. 1037, 2019.

OLIVEIRA, F. G. R.; REIS, F. A. G. V.; GIORDANO, L. C.; MEDEIROS, G. A. Controle de perdas em sistema de abastecimento de água: o caso do município de Poços de Caldas (MG). **Revista Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v.6, n. 1, p. 309-320, 2009.

PEREIRA, L. G.; ILHA, M. S. O. Avaliação da submedição de água em edificações residenciais unifamiliares: o caso das unidades de interesse social localizadas em Campinas, no estado de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 7-21, 2008.

RECH, A. L. Capacidade mensal do hidrômetro. In: **Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária e Ambiental**, 16., 1991, Goiânia. Anais... Goiânia: DMAE, 1991.

RIZZO, A., PEARSON, D., STEPHENSON, M.; HARPER, N. Apparent Water Loss Control: A Practical Approach. **Water**, v. 21, p. 44–45, 2005.

RIZZO, A., VERMERSCH, M., GALEA ST. JOHN, S., MICALLEF, G., RIOLO, S.; PACE, R. Apparent Water Loss Control: The Way Forward. **Water**, v. 21, n. 9, p. 45–47, 2007.

ROUSTA, B.; ARAGHINEJAD, S. Development of a Multi Criteria Decision Making Tool for a Water Resources Decision Support System. **Water Resources Management**, v. 29, n. 15, p.5713-5727, 2015.

SÁ, C.C. **A importância da micromedição no combate às perdas de água- estudo da hidrometração da companhia águas de Joinville**. 2007. 150f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. **APOSTILA AJUSTADOR DE HIDRÔMETROS**. [s.d.] Disponível em: <<https://samaecaxias.com.br/Upload/CONCURSOS/CONCURSO/Apostila%20Ajustador%20de%20Hidr%C3%B4metros.pdf>> Acesso em: 23 out. 2019.

SANTIM, T. G. S. **Avaliação do desempenho metrológico dos hidrômetros velocimétricos com filtro retentor de partículas**. 47º Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE. Campinas, 2017.

SANTOS, D. D. ; MONTENEGRO, S. M. G. C.; Avaliação da metodologia para controle de perdas de água em rede de distribuição no Recife-PE. **Revista Dae**,[s.l.], n. 197, p.56-70, 2014.

SCALIZE, P. S.; LEITE, W. C. A. Variação na micromedição do consumo de água no funcionamento correto e reversível do hidrômetro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.6, n. 1, p. 9-15, 2013.

SCALIZE, P. S.; PERRONI, J. C. A.; LEITE, W. C. A. **Proposta de critérios para substituição racional de hidrômetros nos sistemas de abastecimento de água.** In: Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, 11., 2007, Guarulhos, SP. Anais... Brasília: ASSEMAE, 2007.

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.** 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2014.

SILVA, C. M.; PADUA, V. L.; BORGES, J. M. Contribuição ao estudo de medidas para redução da perda aparente de água em áreas urbanas. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 3, p. 253-274, 2016.

SILVA, M. A.; AMADO, C.; LOUREIRO, D. Propagation of uncertainty in the water balance calculation in urban water supply systems – A new approach based on high-density regions. **Measurement**, v. 126, p. 356-368, 2018.

SZWARCWALD, C. L.; DAMACENA, G. N. Complex Sampling Design in Population Surveys: Planning and effects on statistical data analysis. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 11, p. 38-45, 2008.

TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. **Revista DAE**, v. 64, n. 201, p. 6-20, 2015.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G.. **Water Loss Control**. 2. ed. Usa: Mc Graw Hill, 2008.

TROJAN, F. ; MORAIS, D. Maintenance Management Decision Model for Reduction of Losses in Water Distribution Networks. **Water Resources Management**, v.29, n. 10, p.3459-3479, 2015.

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.

TSUTIYA, M. T. **Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento** – Guia do Profissional em Treinamento. Núcleo Regional Nordeste – NURENE, 2018.

UNICEF, WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment**. Estados Unidos da América: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2016.

VICENTINI, L. P. **Componentes do Balanço Hídrico para Avaliação de perdas em um SAS**. 2012. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de São Paulo, 2012.

VON SPERLING, T. L.; VON SPERLING, M. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 313-322, 2013.

WALTER, D.; MASTALLER, M.; KLINGEL, P. Accuracy of single-jet and multi-jet water meters under the influence of the filling process in intermittently operated pipe networks. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 18, n. 2, p. 679–687, 2017.

XIN, K.; TAO, T.; LU, Y.; XIONG, X.; LI, F. Apparent losses analysis in district metered areas of water distribution systems. **Water Resources Management**, v. 28, n. 3, p. 683–696, 2014.

YAZDANDOOST, F.; IZADI, A. An asset management approach to optimize water meter replacement. **Environmental Modelling & Software**, v. 104, p. 270-281, 2018.

ZYOUD, S. H.; KAUFMANN, L. G.; SHAHEEN, H.; SAMHAN S.; FUCHS-HANUSCH, D. A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. **Expert Systems with Applications**, v. 61, p. 86-105, 2016.