



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

LUCAS DAMACENO PEREIRA E SILVA

**REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES NO SISTEMA DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE BURITIRANA/PALMAS - TO**

Palmas - TO

2022

LUCAS DAMACENO PEREIRA E SILVA

**REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES NO SISTEMA DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE BURITIRANA/PALMAS - TO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental. Área de Concentração: Saneamento e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior

Palmas - TO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S586r Silva, Lucas Damaceno Pereira e .
Redução de perdas aparentes no sistema de distribuição de água de Buritirana / Palmas - TO. / Lucas Damaceno Pereira e Silva. – Palmas, TO, 2022.
90 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2022.
Orientador: Joel Carlos Zukowski Junior

1. Submedição. 2. Hidrometria. 3. Perdas aparentes. 4. Hidrômetro volumétrico. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

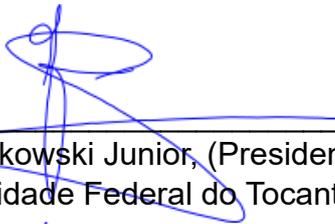
FOLHA DE APROVAÇÃO

LUCAS DAMACENO PEREIRA E SILVA

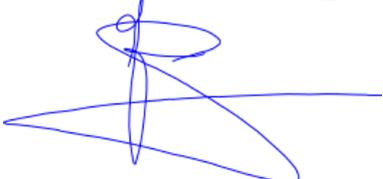
REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
DE BURITIRANA/PALMAS - TO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

BANCA EXAMINADORA

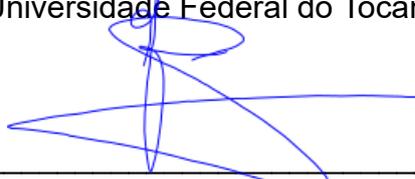


Dr. Joel Carlos Zukowski Junior, (Presidente da Banca)
Universidade Federal do Tocantins



P/

Dr. Fernán Enrique Vergara Figueroa, (Membro Titular Interno)
Universidade Federal do Tocantins



P/

Dr. Francisco Maurício de Sá Barreto, (Membro Titular Externo)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

Aprovada em: 26 de outubro de 2021

Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

O evento foi realizado por meio de vídeo conferência, conforme Art. 56-A da Resolução nº 13, de 22 de março de 2017, pela necessidade cautelar de distanciamento social em virtude da pandemia causada pelo coronavírus (SARS-CoV-2)

RESUMO

O controle de volumes nos sistemas de abastecimento de água tem sido muito contestado no que se refere à elevada perda de água. Nas perdas aparentes, geralmente a submedição assume o papel principal na maioria dos sistemas brasileiros. Ocorre ainda que, com passar do tempo, os medidores se desgastam e a curva de erros sofre um declínio, aumentando os volumes de submedição. Os medidores velocimétricos de classe B, extensamente utilizados no Brasil, têm se mostrado pouco eficientes em baixas vazões e perdem capacidade com poucos anos de uso. A eficiência da medição pode ser melhorada com novos tipos de hidrômetros disponíveis no mercado, mas esses equipamentos apresentam custo inicial mais alto e por isso não são avaliados no plano de investimentos de uma companhia de saneamento. Este trabalho visou reduzir as perdas aparentes do sistema de distribuição de água do distrito de Buritirana, Palmas-TO, com a substituição de medidores velocimétricos classe B com submedição para medidores volumétricos classe C. Após a substituição integral dos medidores, foi feita em laboratório a curva de erro de medição dos medidores novos e antigos, e então foi calculado o Índice de Desempenho da Medição (IDM), sendo possível comparar o erro de medição antes e após a substituição da tecnologia de medição. Com esses dados, foram analisados os ganhos de volume consumido e faturado, além de serem analisados indicadores de redução de perdas na distribuição e no faturamento. O Índice de Desempenho da Medição indicou uma perda de 18,83% do volume consumido, que é muito relevante para o processo de faturamento de uma concessionária. Houve ganhos de redução de perdas aparentes satisfatórios em relação ao projeto, com incremento de 20,11% ao ano no volume consumido e redução de perdas na distribuição em 10,40% em 2021, com incremento de 12,09% no volume faturado após a substituição do parque de medidores.

Palavras-chave: submedição, hidrometria, perdas aparentes, hidrômetro volumétrico.

ABSTRACT

Volume control in water supply systems has been very contested in terms of high water loss. In apparent losses, under-metering generally assumes the main role in most Brazilian systems. It also happens that, over time, the meters wear out and the error curve declines, increasing sub-measurement volumes. Class B water meters, widely used in Brazil, have been shown to be inefficient at low flows and lose capacity after a few years of use. Measurement efficiency can be improved with new types of water meters available on the market, but these equipments have a higher initial cost and therefore are not evaluated in a sanitation company's investment plan. This work aimed to reduce the apparent losses of the water distribution system in the district of Buritirana, Palmas-TO, with the replacement of class B water meters with sub-measurement for class C volumetric meters. measurement error curve of new and old meters, and then the Measurement Performance Index (MPI) was calculated, making it possible to compare the measurement error before and after the replacement of the measurement technology. With this data, the gains in volume consumed and billed were analyzed, in addition to the analysis of indicators of loss reduction in distribution and invoicing. The Measurement Performance Index indicated a loss of 18.83% of the volume consumed, which is very relevant for a concessionaire's billing process. There were satisfactory gains in the reduction of apparent losses in relation to the project, with an increase of 20.11% per year in the volume consumed and a reduction of losses in distribution by 10.40% in 2021, with an increase of 12.09% in the volume billed after the replacement of the meter park.

Keywords: submeasurement, hydrometry, apparent losses, volumetric hydrometer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cruz de Lambert de perdas aparentes.....	16
Figura 2 – Medidor volumétrico fraudado com desacomplamento das partes integrantes.....	17
Figura 3 – Medidor velocimétrico com fraude de travamento da turbina com arame	18
Figura 4 - Interface de um hidrômetro	21
Figura 5 – Nomenclatura dos hidrômetros	22
Figura 6 - Hidrômetro velocimétrico	23
Figura 7 – Esquema de funcionamento do hidrômetro velocimétrico em corte	23
Figura 8 - Esquema de funcionamento do hidrômetro velocimétrico em corte.....	24
Figura 9 – Hidrômetro volumétrico	25
Figura 10 – Visão interna do hidrômetro volumétrico em corte	26
Figura 11 - Hidrômetro ultrassônico	27
Figura 12 – Esquema de funcionamento do medidor ultrassônico.....	27
Figura 13 – Hidrômetro velocimétrico em posição inclinada	32
Figura 14 - Comparação do erro de medição entre hidrômetros de variados tipos, modelos e idades	39
Figura 15 - Fluxograma de metodologia.....	41
Figura 16 - Localização do distrito de Buritirana, Palmas - TO	42
Figura 17 - Sistema de Abastecimento de Água (SAA) de Buritirana.....	43
Figura 18 - Representação esquemática do medidor volumétrico classe C Qn 1,5 m ³ /h com visão superior (a) e lateral (b).....	45
Figura 19 - Medidor volumétrico classe C Qn 1,5 m ³ /h (a) e o mesmo medidor pré-equipado com radiotransmissor (b).....	45
Figura 28 – Hidrômetros velocimétricos classe B Qn=0,75 m ³ /h antes da substituição (a,c,e) e hidrômetros volumétricos classe C Qn=1,5 m ³ /h após a substituição (b,d,f)	47
Figura 29 – Área de alcance dos concentradores de dados (a) e qualidade de comunicação entre medidor e concentrador por ponto de ligação (b).....	48
Figura 30- Concentrador de dados instalado no alto do poste de energia elétrica em Buritirana.....	48
Figura 20 - Bancada de ensaios de hidrômetros da concessionária	51

Figura 21 – Painel de comando da bancada de ensaios de hidrômetros	52
Figura 22 – Hidrômetros separados e classificados para teste em bancada	52
Figura 23 – Perfil de consumo médio no Brasil conforme NBR 15.538/2014.....	54
Figura 24 – Perfil de consumo de Palmas-TO com medidores $Q_n=0,75 \text{ m}^3/\text{h}$	55
Figura 25 - Perfil de consumo de Palmas-TO com medidores $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$	56
Figura 26 – Curva de erros – média de hidrômetros com 5 anos de instalação segundo a AESBE.....	56
Figura 27 – Exemplo para uma determinação de IDM	57
Figura 31 – Curva de medição dos hidrômetros tipo velocimétrico classe B retirados de campo.....	62
Figura 32 – Perfil de consumo (%) da área de estudo para medidores classe B $Q_n = 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$	63
Figura 33 - Índice de Desempenho da Medição (%) dos medidores velocimétricos classe B por idade.....	65
Figura 34 – Modelo de regressão linear com variáveis idade (anos) e IDM (%)	66
Figura 35 - Curva de medição do hidrômetro tipo volumétrico $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ classe C instalado em campo	68
Figura 36 – Perfil de consumo (%) da área de estudo para medidores classe C $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$	69
Figura 37 –Volume de água consumido (micromedido em m^3) mensal entre 2019 e julho de 2021	71
Figura 38 - Evolução da quantidade de ligações ativas entre 2019 e julho de 2021	72
Figura 39 – Volume consumido por ligação ativa ($\text{m}^3/\text{ligação}$) entre 2019 e julho de 2021	73
Figura 40 - Volume disponibilizado (m^3) entre 2019 e julho de 2021.....	74
Figura 41 – Índice de Perdas na Distribuição (%) entre 2019 e julho de 2021.....	75
Figura 42 - Volume faturado (m^3) entre 2019 e julho de 2021	76
Figura 43 – Histórico de consumo de água ($\text{m}^3/\text{mês}$) do cliente A no ano de 2020... ..	77
Figura 44 – Histórico de consumo de água ($\text{m}^3/\text{mês}$) do cliente B no ano de 2020	77
Figura 45 - Volume faturado por ligação ativa ($\text{m}^3/\text{ligação ativa}$) entre 2019 e julho de 2021	78
Figura 46 - Índice de perdas de faturamento (%) entre 2019 e julho de 2021	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tolerâncias para hidrômetros em uso	37
Tabela 2 – Dimensionamento de hidrômetro pelo consumo.....	38
Tabela 3 - Dados metrológicos do medidor volumétrico classe C	45
Tabela 4 - Classes de hidrômetros e correspondentes valores de Q_{min} e Q_t	50
Tabela 5 - Formato de tabulação dos ensaios com medidores retirados de Buritirana	60
Tabela 6 - Média dos erros (%) dos medidores tipo velocimétricos classe B retirados de campo por faixa de vazão	61
Tabela 7 - Erro Médio Ponderado (EMP) dos medidores velocimétricos classe B retirados de campo.....	64
Tabela 8 – Erro ponderado (%) e Índice de Desempenho da Medição (%) dos medidores velocimétricos classe B	64
Tabela 9 - Erro ponderado (%) e Índice de Desempenho da Medição (%) dos medidores velocimétricos classe B por idade.....	65
Tabela 10 – Parâmetros de regressão	66
Tabela 11 - Curva de medição dos hidrômetros tipo volumétrico classe C.....	67
Tabela 12 - Erro Médio Ponderado (EMP) do medidor volumétrico classe C novo instalado em campo	70
Tabela 13 – Erro ponderado (%) e Índice de Desempenho da Medição (%) do medidor volumétrico classe C instalado em campo	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Balanço hídrico para sistema de abastecimento de água	14
Quadro 2 - Indicadores de Perdas extraídos do SNIS	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESBE – Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento

BABE – Background and Burst Estimates

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

Q_{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	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 Abastecimento de Água.....	13
3.2 Gestão de Perdas de Água.....	13
3.3 Gestão de Perdas Aparentes.....	16
3.3.1 Redução de Fraudes.....	17
3.3.2 Melhorias no Sistema Comercial.....	18
3.3.3 Redução de Erros dos Medidores.....	19
3.3.4 Perdas Aparentes.....	20
3.4 Micromedição.....	20
3.4.1 Medidores Velocimétricos.....	23
3.4.2 Medidores Volumétricos.....	25
3.4.3 Medidores Ultrassônicos.....	26
3.4.4 Classificação Metrológica e Vazão.....	28
3.4.5 Efeito de Submedição.....	30
3.4.6 Efeito de Sobremedição.....	34
3.4.7 Desgaste dos Medidores.....	37
3.4.8 Documentos Normativos.....	39
4 METODOLOGIA	41
4.1 Local de Estudo.....	41
4.2 Tratamento dos Dados.....	43
4.3 Substituição da Tecnologia de Medição.....	44

4.4 Substituição da Tecnologia de Medição.....	46
4.5 Definição da Amostra para Análise em Laboratório	49
4.6 Ensaios de Laboratório	50
4.7 Indicadores de Perdas	53
4.8 Índice de Desempenho de Medição (IDM).....	54
4.9 Avaliação dos Ganhos com o Parque de Medidores Volumétricos.....	58
5 RESULTADOS	59
5.1 Curva de Medição dos Medidores Velocimétricos	59
5.2 Desempenho da Medição dos Medidores Velocimétricos Classe B	62
5.3 Curva de Medição dos Medidores Volumétricos.....	67
5.4 Desempenho da Medição dos Medidores Volumétricos Classe C.....	68
5.5 Ganhos de Volume Consumido e Redução das Perdas Aparentes.....	71
5.6 Ganhos de Volume Faturado e Redução de Perdas no Faturamento	75
6 CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

O controle de volumes nos sistemas de abastecimento de água tem sido muito contestado no que se refere à elevada perda de água. Em uma visão ampla, esta eficiência está relacionada não só com o recurso hídrico no aspecto técnico, mas também com aspectos econômico-financeiros. Um ponto crucial na abordagem de melhorias para o cenário é o investimento em redução de perdas, que proporciona uma melhor gestão e controle operacional, redução de custos e posterga a ampliação de sistemas (MORAIS et al., 2010).

A confiabilidade da determinação das perdas totais depende em grande parte da confiabilidade da determinação de perdas aparentes. Nas perdas aparentes geralmente a submedição assume o papel principal na maioria dos sistemas brasileiros. Ocorre ainda que, com passar do tempo, os medidores se desgastam, e a curva de erros sofre um declínio, aumentando os volumes de submedição (OLIVEIRA et al., 2009).

A avaliação de perdas aparentes, que inclui a gestão de consumidores e parque de medidores, pode ser feita pela metodologia baseada em uma zona piloto ou uma abordagem por área ou distrito de medição. Essa abordagem é, geralmente, 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).

A situação ideal para a determinação da submedição de um parque de hidrômetros é que sejam realizados ensaios com amostras próprias da região de interesse. Essa situação nem sempre é viável, seja por questões operacionais, financeiras ou mesmo devido ao tempo necessário para coletar amostras, realizar ensaios e compilar os dados. Para cada grupo, devem ser obtidas amostras de hidrômetros para levantamento da curva de erros em laboratório. Desta forma, obtém-se uma curva de hidrômetros por idade (TROJAN et al., 2015).

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 objetivos e interesses conflitantes. A eficiência no controle das perdas, em especial das perdas aparentes, está então muito mais relacionada à qualidade da gestão do prestador de serviço e a sua capacidade de investimento (ZYOUN, 2016).

Uma boa gestão da micromedição é essencial para a manutenção dos volumes de submedição em patamares mais baixos. Os medidores velocimétricos de classe B, extensamente utilizados no Brasil, têm se mostrado pouco eficientes em baixas vazões e perdem capacidade com poucos anos de uso. Uma complexa equação de custos e benefícios envolvendo pessoal capacitado, infraestrutura de laboratórios, tecnologia de medidores, capacidade de gestão das aquisições e de fornecedores, capacidade de instalação, manutenção corretiva, preditiva e preventiva de medidores, precisa ser resolvida pelos prestadores de serviços de modo a garantir os menores patamares possíveis de submedição (Aguiar, 2019).

Segundo a AESBE (2015), a eficiência da medição pode ser melhorada caso a tecnologia dos medidores fosse trocada, por exemplo, por medidores volumétricos, porém, esses equipamentos apresentam custo inicial mais alto e por este motivo não são contemplados no plano de investimentos das concessionárias. Nos últimos anos, têm aparecido no mercado medidores eletrônicos para uso domiciliar, robustos e sem partes móveis, mas seu uso no Brasil ainda é experimental.

Mesmo que clara a necessidade de controle e gestão da medição, o assunto de gestão de perdas ainda é um assunto muito a ser desenvolvido no Brasil. Segundo o Trata Brasil (2021), 39,2% de toda água potável é perdida no Brasil, que representa um volume perdido equivalente a abastecer mais de 63 milhões de brasileiros em um ano. Neste trabalho, o estudo de redução de perdas se localiza na região norte do Brasil, que possui os piores índices de saneamento do país e o maior índice de perdas na distribuição, com registro de 55,2%. Palmas, capital do Tocantins, possui um índice de Perdas de 31,97%, o menor índice de perdas da região, mas ainda com oportunidades de redução das perdas aparentes e físicas (Trata Brasil, 2021).

Este trabalho visou reduzir as perdas aparentes do sistema de distribuição de água do distrito de Buritirana, Palmas-TO, por meio do investimento na substituição de medidores velocimétricos classe B com submedição para medidores volumétricos classe C. Para avaliar os resultados, foi necessário a execução de ensaios em laboratório de hidrometria, para serem analisadas as curvas de medição dos medidores classe B antigos e classe C novos, analisar o índice de desempenho de medição dos hidrômetros, determinar os ganhos de volume consumido e redução das perdas aparentes, e determinar os ganhos de volume faturado e redução das perdas no faturamento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as perdas aparentes de água potável por submedição do parque de hidrometria no distrito urbano de Buritirana, no município de Palmas – TO.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as perdas aparentes por submedição em Buritirana com a substituição integral do parque de hidrômetros por medidores classe C;
- Avaliar a curva de medição dos medidores classe B antigos e classe C novos;
- Analisar o índice de desempenho de medição dos hidrômetros classe B antigos e classe C novos;
- Estimar a variação de volume consumido e de perdas aparentes;
- Estimar a variação de volume faturado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Abastecimento de Água

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 de água 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, a eficiência está relacionada não só com o recurso hídrico, mas também uma parcela significativa do consumo de energia elétrica. Para uma concessionária de água ser considerada eficiente, 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 (MORAIS *et al.*, 2010).

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 resulta em uma política que procura solucionar os problemas com ações locais, que não contemplam melhorias de longo prazo e na maioria das vezes têm caráter emergencial (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 (COELHO *et al.*, 2014).

3.2 Gestão de Perdas de Água

A perda de água nos sistemas de abastecimento pode ser definida como a diferença entre o volume de água disponibilizado ao 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 não faturada, que possui três diferentes componentes: perdas de água real, perda 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 e manutenção do sistema, e a água fornecida gratuitamente para certos tipos de consumidores (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. O Quadro 1 apresenta as distribuições do volume de água dentro de um sistema de abastecimento de água (TARDELLI FILHO, 2015; FONTANA *et al.*, 2016).

Quadro 1 - Balanço hídrico para sistema de abastecimento de água

Volume Produzido	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Faturado	Consumos Medidos Faturados	Água Faturadas
			Consumos Não Medidos Faturados (Estimados)	
	Consumo Autorizado Não Faturado	Consumos Medidos Não Faturados (Usos Próprios)	Águas Não Faturadas	
		Consumos Não Medidos Não Faturados (combate a incêndios, suprimento de água em áreas irregulares)		
	Perdas Aparentes (Comerciais)	Consumos Não Autorizados (Fraudes)		
		Submedição dos hidrômetros e Falhas no Sistema Comercial		
	Perdas Reais (Físicas)	Vazamentos nas Adutoras e Redes de Distribuição		
		Vazamentos nos Ramais Prediais		
		Vazamentos e Extravasamentos nos Reservatórios Setoriais e Aquedutos		

Fonte: adaptado de Tardelli Filho (2015)

As definições dos itens do Quadro 1 são (SNIS, 2017; TARDELLI FILHO, 2015):

- 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: 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.

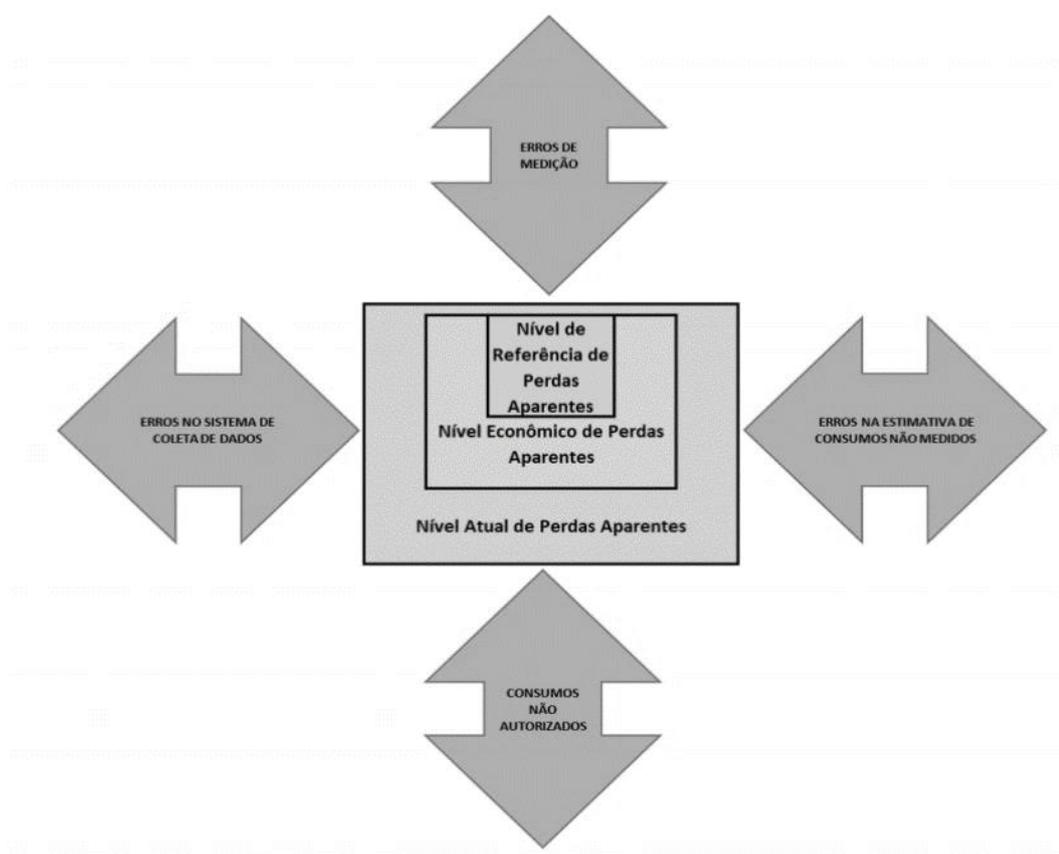
As perdas podem ser consideradas reais ou aparentes. As perdas físicas ou reais são as compreendidas por vazamentos em todas as partes do sistema e transbordamentos nos reservatórios, causadas por operações e manutenção precárias, falta de controle ativo de vazamento e baixa qualidade da infraestrutura (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.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações do Saneamento (Trata Brasil, 2021), o índice de perdas no sistema de distribuição de água em Palmas – TO é de 31,97%. As Perdas Aparentes são o foco principal deste trabalho, e por este motivo o próximo item aprofunda-se mais nesta classificação de perdas na distribuição de água.

3.3 Gestão de Perdas Aparentes

Perdas aparentes, também chamadas de comerciais, são as perdas causadas por medições de consumo erradas, erros no processamento de dados e fraudes das diversas formas, como por exemplo ligações clandestinas. A Figura 1 demonstra esses fatores e algumas variáveis que influenciam neste contexto, por meio da Cruz de Lambert (LAMBERT *et al.*, 2014).

Figura 1 - Cruz de Lambert de perdas aparentes



Fonte: adaptado de Lambert *et al.* (2014)

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).

3.3.1 Redução de Fraudes

Fraudes, ou Consumo Não-Autorizados, ocorrem em praticamente todas as concessionárias distribuidoras de água para consumo humano. Ele ocorre tipicamente por meio de ações de pessoas que furtam água do sistema. 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). Exemplificando algumas ocorrências de fraudes na cidade de Palmas-TO, apresenta-se na Figura 2 o hidrômetro volumétrico violado de forma a romper os lacres externos e possibilitar a desativação do medidor, com ausência do registro de consumo. Na Figura 3 pode-se observar o travamento da turbina com arame.

Figura 2 – Medidor volumétrico fraudado com desacomplamento das partes integrantes



Fonte: Autor (2021)

Figura 3 – Medidor velocimétrico com fraude de travamento da turbina com arame



Fonte: Autor (2021)

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 nessas localidades é um problema complexo, uma vez que são áreas de risco para a execução de ações tratativas, visto que as fraudes devem ser eliminadas por equipe presencial nestes locais vulneráveis (ABES, 2013; ABES, 2017).

3.3.2 Melhorias no 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 a 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).

3.3.3 Redução de Erros dos Medidores

Medidores de água, ou hidrômetros, são instrumentos de medição utilizados para se conhecer os volumes transcorridos em um período de tempo. Neste contexto, as medições nos sistemas de abastecimento de água 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.

3.3.4 Perdas Aparentes

O projeto de redução de 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 corretamente, sabendo-se separar aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. A redução de perdas nas companhias normalmente é estruturada na forma de um projeto, 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 (MELATO, 2010).

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 (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 (TARDELLI FILHO, 2015):

- substituição periódica dos hidrômetros de forma preventiva, e imediata dos hidrômetros danificados, de forma corretiva;
- combate às fraudes a partir de denúncias e inspeção e análises de variações atípicas de consumo em sistema comercial;
- aprimoramento da gestão comercial das companhias (cadastros e sistemas comerciais).

3.4 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, também chamados de hidrômetros, que são

aparelhos destinados a medir e indicar a quantidade de água fornecida pelo ramal a uma instalação (GULARTE, 2005).

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 (SILVA *et al.*, 2016). Mutikanga *et al.* (2011) 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.

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). A Figura 4 mostra a interface de um hidrômetro.

Figura 4 - Interface de um hidrômetro



Fonte: Aguiar (2019)

Cada hidrômetro possui uma numeração própria, que contém informações do ano de fabricação, capacidade, fabricante e número de série. A Figura 5 explica o significado de cada dígito do código.

Figura 5 – Nomenclatura dos hidrômetros



Fonte: Aguiar (2019)

A primeira letra indica a capacidade de medição (m^3/h), 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).

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 desses 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 hidrômetros em grandes quantidades, estocando-os.

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

3.4.1 Medidores Velocimétricos

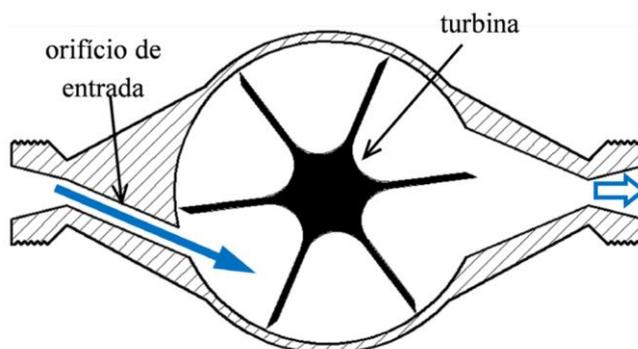
O funcionamento deste instrumento de medição é baseado no acionamento pela ação da velocidade da água sobre uma parte móvel, uma turbina, então há correlação entre o volume de água que atravessa o hidrômetro e o número de voltas da turbina. Coelho (1996) define o princípio dos medidores velocimétricos 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. A Figura 6 apresenta um medidor velocimétrico unijato, com esquema de funcionamento de vista superior na Figura 7 e lateral na Figura 8.

Figura 6 - Hidrômetro velocimétrico



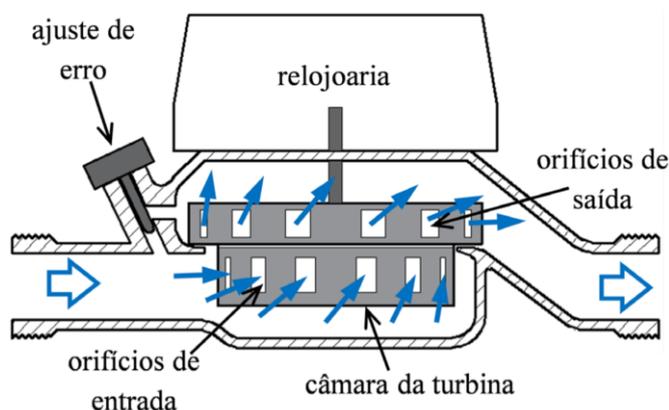
Fonte: AESBE (2015)

Figura 7 – Esquema de funcionamento do hidrômetro velocimétrico em corte



Fonte: AESBE (2015)

Figura 8 - Esquema de funcionamento do hidrômetro velocimétrico em corte



Fonte: AESBE (2015)

Os medidores velocimétricos possuem menor custo em relação aos volumétricos, 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: 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.
- Multijato: o funcionamento do medidor consiste em múltiplos jatos que incidem tangencialmente à turbina.
- Woltman: turbina instalada dentro de um duto fechado, atuando no fluxo, na direção axial em relação ao eixo da turbina.

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 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. Portanto, pode-se considerar este medidor uma opção para melhorar a performance do parque no longo prazo (BRASIL, 2018).

3.4.2 Medidores Volumétricos

Nos medidores do tipo volumétrico, 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). A Figura 9 mostra um medidor do tipo volumétrico e a visão interna do medidor é apresentado na Figura 10.

Figura 9 – Hidrômetro volumétrico



Fonte: AESBE (2015)

Figura 10 – Visão interna do hidrômetro volumétrico em corte



Fonte: AESBE (2015)

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, 2018).

3.4.3 Medidores 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.

Medidores de vazão ultrassônicos sobredimensionados ou subdimensionados irão medir valores incorretos. Apresentam como vantagens, a baixa perda de carga,

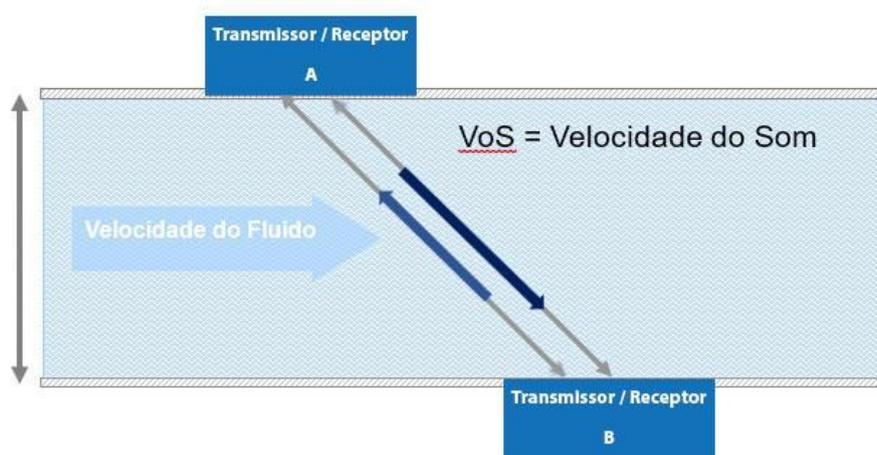
não sofrem desgastes por não possuírem partes móveis, o que reduz o índice de submedição com o tempo, possuem maior vida útil, e menor número de componentes necessários à sua instalação. Em consequência, reduzem a probabilidade de falhas por defeito (GULARTE, 2005). A Figura 11 mostra um modelo de hidrômetro ultrassônico e a Figura 12 é uma representação do funcionamento do medidor.

Figura 11 - Hidrômetro ultrassônico



Fonte: AESBE (2015)

Figura 12 – Esquema de funcionamento do medidor ultrassônico



Fonte: AESBE (2015)

3.4.4 Classificação Metrológica e Vazão

Os hidrômetros podem ser caracterizados quanto às classes de vazão e classe metrológica. As classes de vazão são as de início de trabalho, vazão mínima (Q_{min}), de transição (Q_t), nominal (Q_n) e máxima ($Q_{máx}$). 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 valor mais alto 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 esses, mais baixas 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 atravessa. (TSUTIYA, 2018).

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 define 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).

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

Mutikanga *et al.* (2011) agruparam 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. Por via de regra, 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 na cidade de Palermo, Itália. 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 de instalação.

Estudos realizados por Mendes *et al.* (2018), em Guarulhos, São Paulo, 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.

3.4.5 Efeito de Submedição

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 os 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 (BRASIL, 2018a):

- 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.

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 dessas 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. 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 13.

Figura 13 – Hidrômetro velocimétrico em posição inclinada



Fonte: Autor (2021)

Neste contexto, Criminisi *et al.* (2009) desenvolveram um estudo envolvendo 180 hidrômetros que possuíam entre 0 e 45 anos de uso. 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%, decorrente do fato idade. 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 foi reduzida 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 consumidor 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 (<100L.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, sendo possível resolver com a implantação de medidores com boa capacidade de medição em vazões abaixo da mínima (< Q_{min}).

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.

O adequado dimensionamento para cada consumo 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. Esses dados são obtidos a partir de análises denominadas 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 (AESBE, 2015).

3.4.6 Efeito de Sobremedição

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, considerando que 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 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, o que gera uma medição não pertinente, causada pela passagem de ar, e não de 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 residências localizadas em pontos de extremidade de rede de abastecimento de água são as mais afetadas.

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 RECH (1991).

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 a 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.

3.4.7 Desgaste dos Medidores

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 (TSUTIYA, 2018).

Segundo a Portaria do INMETRO 246 (2000), para definir a periodicidade da 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 ainda estabelece as vazões de ensaio para os hidrômetros em utilização, e suas respectivas tolerâncias de erro, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – 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 colmatação 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 colmatação 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.

Para evitar o desgaste excessivo ou inadequado, é necessário dimensionar corretamente os hidrômetros. Para isto, existem alguns parâmetros, mostrados na Tabela 2, que podem ser utilizados como base, além do perfil de consumo já citado.

Tabela 2 – Dimensionamento de hidrômetro pelo consumo

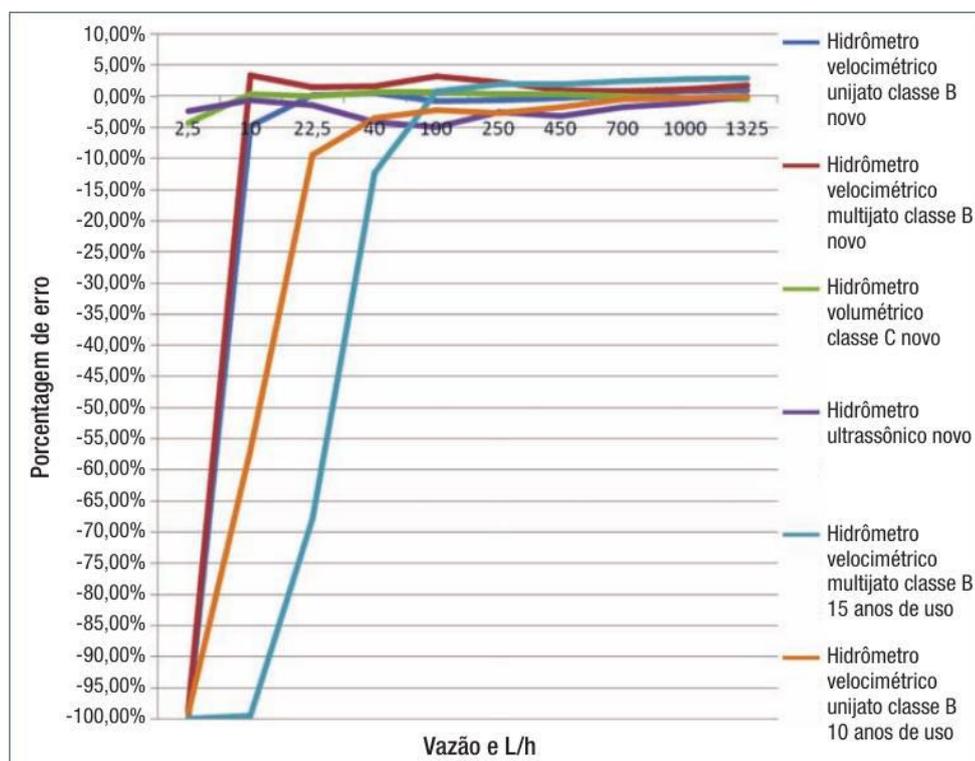
Consumo provável (m³/mês)	Designação do hidrômetro (m³/h)	Diâmetro do hidrômetro
0-240	1,5 e 3,0	20
240-400	5	20
401-800	7 e 10	25
801-1600	20	40
1601-2400	30	50
2401-3600	300	50
3601-7200	1100	80
7201-12000	1800	100
12001-36000	4000	150
36001-90000	6500	200

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 devem passar por bancada, criando um banco de dados rico em informações que podem ser tratadas e servirem de base para tomada de decisões. Adicionalmente a este procedimento, existem testes de verificação de novos hidrômetros, verificações periódicas do parque de hidrômetros, a fim de apurar seu tempo de desgaste.

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 14.

Figura 14 - Comparação do erro de medição entre hidrômetros de variados tipos, modelos e idades



Fonte: Junior (2017)

Para o caso do tipo de hidrômetro analisado no trabalho da Figura 14 – 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.

3.4.8 Documentos Normativos

Dentre os documentos técnicos e regulatórios aplicados a este estudo, pode-se destacar dois. O primeiro, a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 15.538/2014: Medidores de água potável — Ensaio para avaliação de eficiência. A norma especifica os critérios e procedimentos para avaliação da eficiência em medidores de água potável fria, com vazão permanente de até $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Além das verificações, com o intuito de apoiar a atuação dos prestadores na redução das 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. A 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, os medidores devem ser testados. A portaria determina dois ensaios:

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

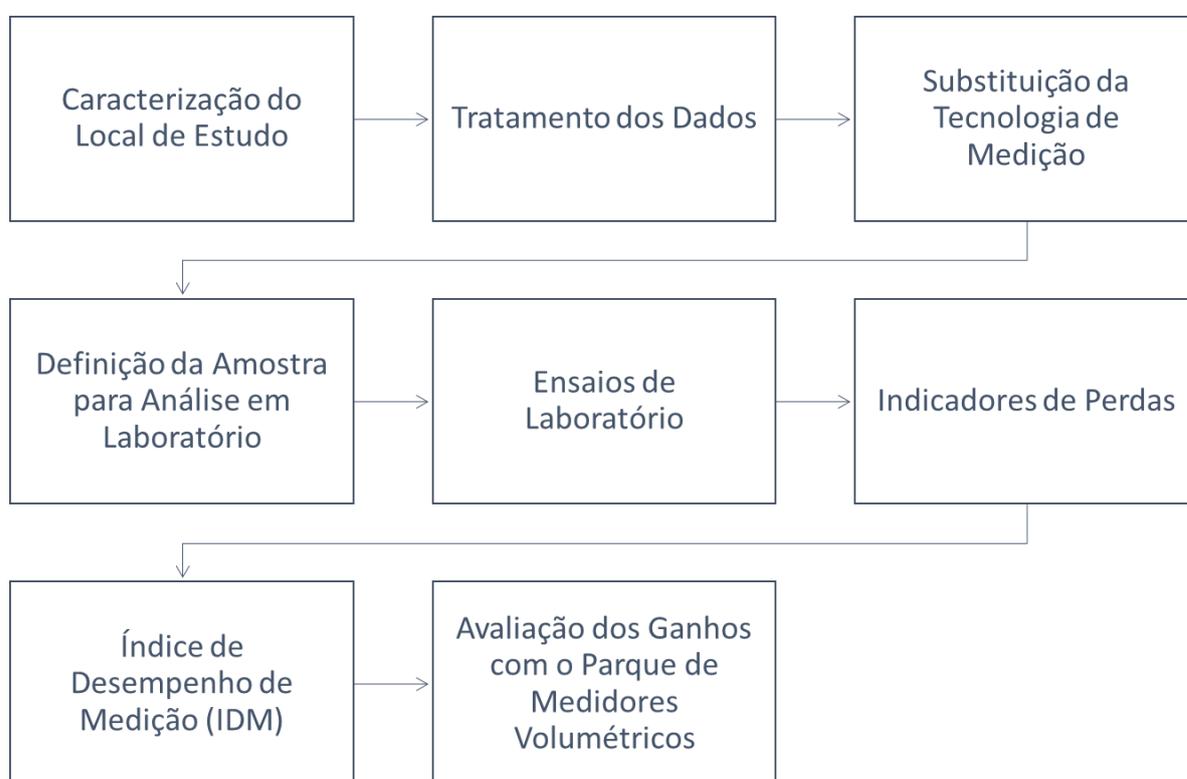
Além dessas duas situações de aprovação de medidores, a Portaria também traz a indicação de como proceder para verificações periódicas e eventuais, ou seja, hidrômetros em uso. A Portaria determina que as verificações eventuais podem ser efetuadas nos hidrômetros em uso a pedido do usuário, ou quando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

4 METODOLOGIA

A metodologia proposta foi aplicada para a avaliação do desempenho do parque de hidrômetros do distrito urbano de Buritirana, município de Palmas – TO, antes e após a mudança das tecnologias de medição existentes.

Este 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. As etapas da pesquisa tiveram o fluxo apresentado a seguir na Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma de metodologia



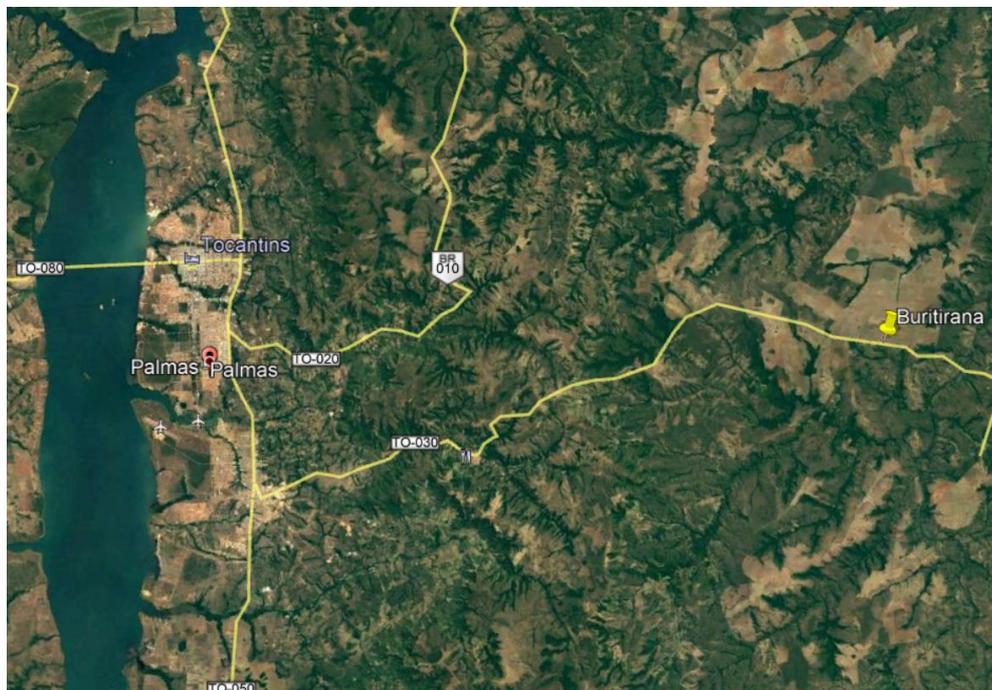
Fonte: Autor (2021)

4.1 Local de Estudo

O parque de medidores se localiza em Buritirana, distrito urbano do município brasileiro de Palmas, capital do estado do Tocantins. O distrito possui uma área de 536 km² e foi criado pela lei nº 39, de 16 de março de 1990, com o nome de Boa Vista do Tocantins, mas pela lei nº 544, de 19 de dezembro de 1995, passou a ter sua

denominação atual (IBGE, 2021). O distrito se localiza a 64 quilômetros da área urbana de Palmas-TO, conforme Figura 16.

Figura 16 - Localização do distrito de Buritirana, Palmas - TO



Fonte: Google Earth (2021)

O sistema de abastecimento de água possui captação superficial. O manancial que abastece Buritirana é do tipo nascente do córrego Barreiro, sendo este pertencente ao aquífero da bacia sedimentar do rio Parnaíba. Um conjunto motor bomba recalca para uma Unidade de Tratamento Simplificada (UTS) com etapas de desinfecção e fluoretação, que por sua vez, distribui para dois reservatórios elevados da cidade. O parque de hidrômetros, inserido no conjunto de infra-estrutura do sistema de abastecimento de água, é administrado por uma concessionária privada de saneamento. A Figura 17 traz uma representação esquemática do sistema de abastecimento de água.

Figura 17 - Sistema de Abastecimento de Água (SAA) de Buritirana



Fonte: Autor (2021)

4.2 Tratamento dos Dados

Os dados de entrada necessários para o desenvolvimento desta pesquisa fazem parte do conjunto de informações referentes às ligações de água ativas com hidrômetro. Neste trabalho os dados de data de instalação foram obtidos do sistema da concessionária afim de coletar a idade dos medidores, tornando a pesquisa e os resultados mais precisos e representativos da realidade.

As datas de instalação foram tratadas e transformadas em anos. Estes dados foram cruzados, posteriormente, aos resultados dos ensaios que foram realizados em laboratório de hidrometria próprio da concessionária.

Os dados coletados após os ensaios em bancada de hidrometria foram organizados e tabulados contendo os campos:

- Item numerado;
- Código do hidrômetro;

- Vazão nominal (Q_n m³/h);
- Ano de instalação;
- Classe metrológica;
- Fabricante;
- Origem da substituição;
- Erro (%) por faixa de vazão (L/h);
- Volume acumulado (m³).

4.3 Substituição da Tecnologia de Medição

A concessionária responsável pelo parque possui seus critérios definidos de manutenção preventiva dos medidores, considerando a idade, desgaste do medidor e leitura máxima de volume totalizado. De toda forma, para uma análise completa do parque de medição, foram substituídos todos os 400 medidores com ligação em Buritirana, para que fossem comparados os ganhos na substituição da tecnologia de medição.

Analisando o parque de hidrômetros e os equipamentos oferecidos no mercado nacional, optou-se pela aquisição de hidrômetros volumétricos classe metrológica C, de vazão máxima 3 m³/h de ¾" (polegadas) para substituição e instalação em todas as ligações ativas de água. A substituição de medidores foi custeada pela companhia de saneamento responsável pelo local.

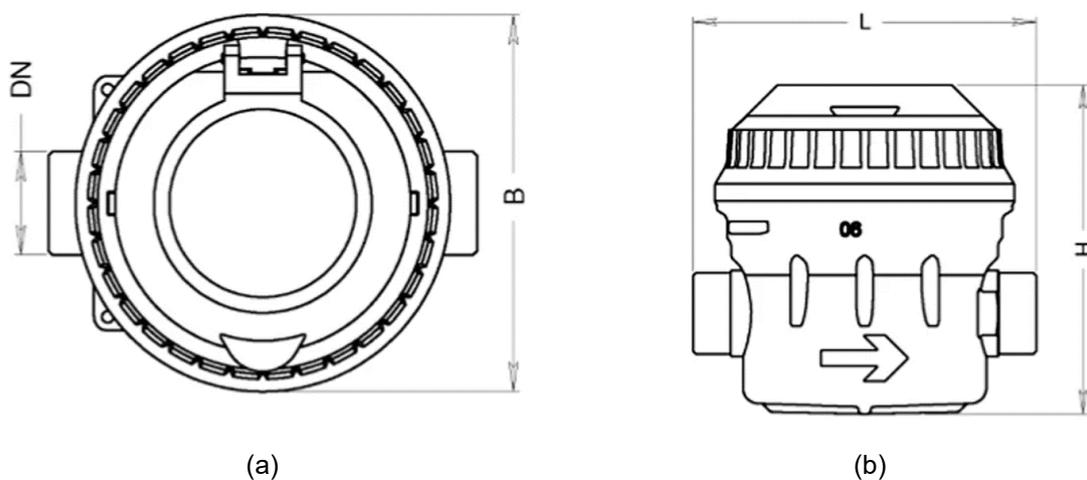
Os principais motivos que levaram a escolha deste tipo de medidor são: desempenho dinâmico mais elevado, início de funcionamento em 0,5 L/h, possibilidade de instalação em todas as posições (horizontal ou vertical), estrutura compacta compatível com telemetria e resistente à fraudes, grau de proteção IP 68, possibilidade de utilização de tecnologia de dados via rádio (SBD METERING, 2021). A Tabela 3 apresenta os dados metrológicos do medidor volumétrico classe C.

Além destas, ressalta-se o caráter inovador do uso da tecnologia, já que os medidores volumétricos ainda são uma tecnologia pouco utilizada no Brasil devido ao custo mais elevado, e portanto, precisam de mais estudos de aplicação (AESBE, 2015). A Tabela 3 apresenta os dados metrológicos do medidor volumétrico classe C. A Figura 18 é uma representação esquemática do medidor utilizado e a Figura 19 apresenta o medidor com e sem equipamento radiotransmissor acoplado.

Tabela 3 - Dados metrológicos do medidor volumétrico classe C

Dados Metrológicos	Valor	Faixa
Vazão Nominal (m ³ /h)	1,5	Q3
R	160 a 800	Q3/Q1
Vazão Inicial (L/h)	0,5	

Fonte: (SDB METERING, 2021)

Figura 18 - Representação esquemática do medidor volumétrico classe C Qn 1,5 m³/h com visão superior (a) e lateral (b)

(a)

(b)

Fonte: (SDB METERING, 2021)

Figura 19 - Medidor volumétrico classe C Qn 1,5 m³/h (a) e o mesmo medidor pré-equipado com radiotransmissor (b)

Fonte: SDB METERING (2021)



(a)

(b)

Fonte: (SDB METERING, 2021)

4.4 Substituição da Tecnologia de Medição

A substituição dos medidores aconteceu entre os dias 25/05/2020 e 29/05/2020, em todas as 400 ligações ativas de água do distrito de Buritirana, conforme Figura 20. Os hidrômetros velocimétricos classe B $Q_n=0,75 \text{ m}^3/\text{h}$ apresentaram aspecto visual de desgaste devido à ação do tempo e intempéries. Os hidrômetros volumétricos classe C $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ foram instalados com equipamento rádio para transmissão do sinal, entretanto, já vieram configurados e acoplados aos medidores de fábrica.

Figura 20 – Hidrômetros velocimétricos classe B $Q_n=0,75 \text{ m}^3/\text{h}$ antes da substituição (a,c,e) e hidrômetros volumétricos classe C $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ após a substituição (b,d,f)

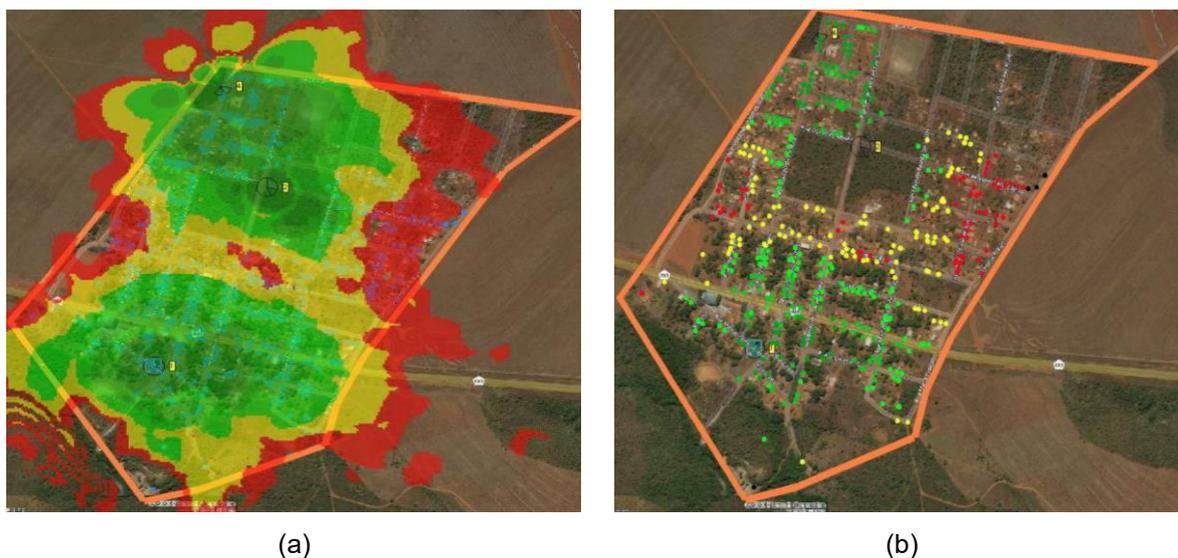


Fonte: Autor (2021)

Uma modelagem técnica de alcance foi feita levando em consideração o relevo, a vegetação e a distância do concentrador, por meio do software *ArcGIS*, com o objetivo de verificar qual posição ideal do concentrador de dados. Com o uso da ferramenta, foi possível identificar os pontos de maior dificuldade de comunicação de sinal e poder determinar a posição dos concentradores, além de direcionar melhor a antena para as áreas de baixo sinal de comunicação, conforme Figura 21. As áreas em verde representam excelente qualidade de alcance, amarelo médio e vermelho

equivalente a fraco sinal. Em uma primeira configuração não foi possível receber o sinal de rádio de todos os medidores, mas ajustes de posição de antena foram feitos para captar o sinal e enviar os dados dos medidores para o servidor (nuvem).

Figura 21 – Área de alcance dos concentradores de dados (a) e qualidade de comunicação entre medidor e concentrador por ponto de ligação (b)



Fonte: Autor (2021)

Pelo alcance, foram instalados os equipamentos concentradores de dados em duas torres do distrito, uma no alto do principal reservatório e o outro no alto de um poste de energia elétrica (Figura 22), que em seguida foram configurados pelo técnico de gestão de perdas da concessionária do município.

Figura 22- Concentrador de dados instalado no alto do poste de energia elétrica em Buritirana



Fonte: Autor (2021)

Os dados enviados para o servidor foram então convertidos para o sistema comercial da concessionária, sendo possível fazer o processo de faturamento normalmente, com entrega posterior porta a porta pela equipe da concessionária. Os dados de volume micromedido (consumido) e faturado foram então exportados em formato de banco de dados e tratados para esse trabalho.

4.5 Definição da Amostra para Análise em Laboratório

Neste estudo a amostra foi escolhida fazendo-se a seleção aleatória dos medidores, com mesma classe de medição, capacidade, expostos a mesmas condições climáticas e uso residencial. Todo o parque se caracterizava por conter medidores velocimétricos classe B, possuindo a mesma tecnologia de medição. Portanto, a população deste estudo em questão foram 400 ligações de água com medidores com essas características. A fórmula utilizada para cálculo da amostra é explicada na Equação 1.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1-p)}{(N-1) * e^2 + Z^2 * p * (1-p)} \quad (1)$$

Em que:

n = tamanho da amostra;

N = tamanho da população (400 medidores);

Z = desvio do valor médio que foi aceito para alcançar o nível de confiança desejado (Nível de confiança 95% = 1,96);

e = margem de erro máximo admissível (10%);

p = desvio padrão (50%).

As determinações amostrais foram definidas com base nos resultados esperados. Para o cálculo da amostra utilizou-se uma margem de erro de 10%, e um intervalo de confiança de 95%. Como se deseja encontrar uma amostra com alta confiabilidade, foi adotado um desvio padrão de 50%. Assim, usando a fórmula da estimativa de tamanho de amostras para distribuições normais, foi definido o tamanho (n) aceitável para a amostra, resultando em um valor de 78 unidades de medidores.

Entretanto, foi possível realizar os testes de bancada de uma amostra de 134 unidades de hidrômetros, diminuindo o erro máximo admissível (e) para 7%.

Para se 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 instalação dos mesmos. Dentre cada população homogênea de idade e classe metrológica, houve uma heterogeneidade de fabricantes, que foram selecionados aleatoriamente.

4.6 Ensaios de Laboratório

A verificação metrológica de hidrômetros foi feita através de ensaios em bancada própria certificada pelo Inmetro da concessionária, baseada na Portaria nº 246 do INMETRO (2000) para direcionamento dos ensaios de laboratório. 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 Tabela 4.

Tabela 4 - Classes de hidrômetros e correspondentes valores de Q_{min} e Q_t

Classes Metrológicas		VAZÃO NOMINAL (m ³ /h)									
		0,6	0,75	1	1,5	2,5	3,5	5	6	10	15
A	Q_{min} (m ³ /h)	0,024	0,03	0,04	0,04	0,1	0,14	0,2	0,24	0,4	0,6
	Q_t (m ³ /h)	0,06	0,075	0,1	0,15	0,25	0,35	0,5	0,6	1	1,5
B	Q_{min} (m ³ /h)	0,012	0,015	0,02	0,03	0,05	0,07	0,1	0,12	0,2	0,3
	Q_t (m ³ /h)	0,048	0,06	0,08	0,12	0,2	0,28	0,4	0,48	0,8	1,2
C	Q_{min} (m ³ /h)	0,006	0,008	0,01	0,015	0,025	0,035	0,05	0,06	0,1	0,15
	Q_t (m ³ /h)	0,009	0,011	0,015	0,023	0,038	0,053	0,075	0,09	0,15	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 foram realizadas em instalações especificamente aprovadas pelo INMETRO. Os hidrômetros foram 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 semi-automática da concessionária, que possui como padrão de trabalho uma medida materializada de volume. A bancada volumétrica consiste em um tanque abastecido com água, tubulações, um tanque transparente calibrado para a estimativa precisa de volume e 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 purgador de ar e um dispositivo de retenção. A bancada é inspecionada anualmente pelos Órgãos Metrológicos Delegados do INMETRO e devem cumprir os requisitos estabelecidos na Norma de Procedimento n° NIT-SEFLU-007 (BRASIL, 2018). A bancada de ensaios da concessionária utilizada neste estudo é apresentada na Figura 23, com demonstração do painel de comando da bancada de ensaios (Figura 24) e hidrômetros separados para início dos testes (Figura 25).

Figura 23 - Bancada de ensaios de hidrômetros da concessionária



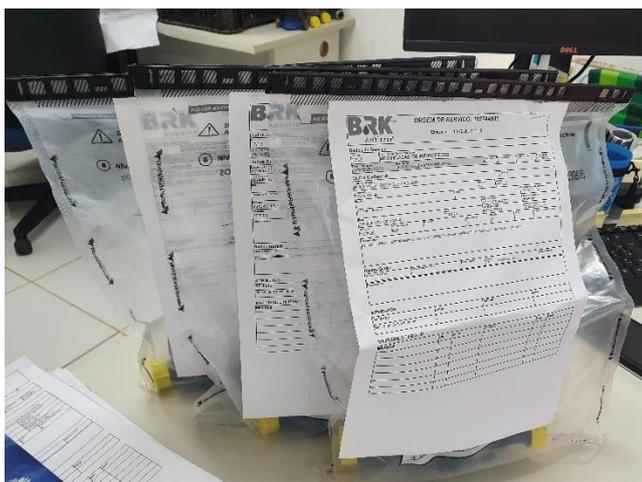
Fonte: Autor (2021)

Figura 24 – Painel de comando da bancada de ensaios de hidrômetros



Fonte: Autor (2021)

Figura 25 – Hidrômetros separados e classificados para teste em bancada



Fonte: Autor (2021)

A primeira leitura foi feita, junto a leitura do código dos hidrômetros, para anotação. 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).

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 2 (BRASIL, 2000).

$$E = \frac{(Lf - Li) - Ve}{Ve} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

E = Erro relativo em percentagem (%);

Li = Leitura inicial do hidrômetro;

Lf = Leitura final do hidrômetro;

Ve = Volume escoado recolhido na medida de capacidade aferida.

4.7 Indicadores de Perdas

Para melhor avaliação das perdas em Buritirana foram adotados os índices do SNIS (Trata Brasil, 2021). Estes índices foram calculados para período anual, com dados referentes ao ano de 2021, 2020 e 2019. O Quadro 2 apresenta os índices selecionados e calculados antes e após a renovação do parque de medidores, no estudo comparativo.

Quadro 2 - Indicadores de Perdas extraídos do SNIS

Consumo Micromedido por Ligação Ativa (m ³ /mês/ligação ativa)	$\frac{\text{volume de água consumido}}{\text{quantidade de ligações ativas}}$
Consumo de Água Faturado por Ligação Ativa (m ³ /mês/ligação ativa)	$\frac{\text{volume de água faturado}}{\text{quantidade de ligações ativas}}$

Índice de Perdas na Distribuição (%)	$\frac{\text{volume de água disponibilizado} - \text{volume de água consumido}}{\text{volume de água disponibilizado}}$
Índice de Perdas de Faturamento (%)	$\frac{\text{volume de água disponibilizado} - \text{volume de água faturado}}{\text{volume de água disponibilizado}}$
Índice de Perdas por Ligação (m³/dia.lig)	$\frac{\text{quantidade de ligações ativas de água}}{\text{volume de água disponibilizado} - \text{volume de água consumido}}$

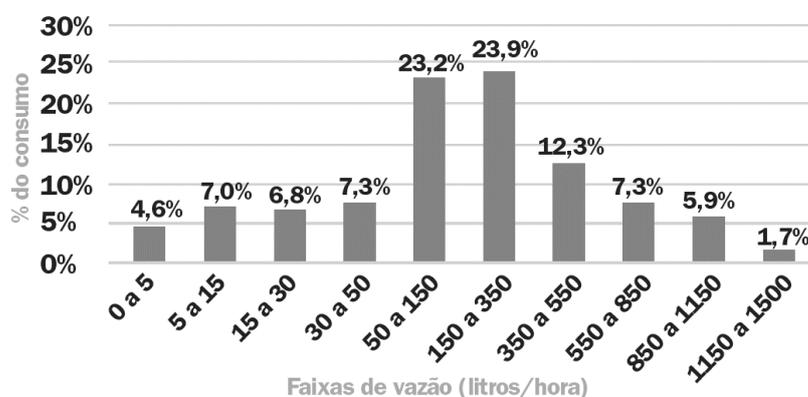
Fonte: adaptado de Sá (2007)

4.8 Índice de Desempenho de Medição (IDM)

A determinação do IDM (Índice de Desempenho de Medição) consiste em calcular 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 IDM, que representa a porcentagem da água consumida que o hidrômetro consegue medir.

O método mais preciso 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, conforme recomendações e procedimentos descritos na norma ABNT NBR 15.538/2014. A Figura 26 apresenta o perfil de consumo médio no Brasil, conforme norma ABNT NBR 15.538/2014.

Figura 26 – Perfil de consumo médio no Brasil conforme NBR 15.538/2014



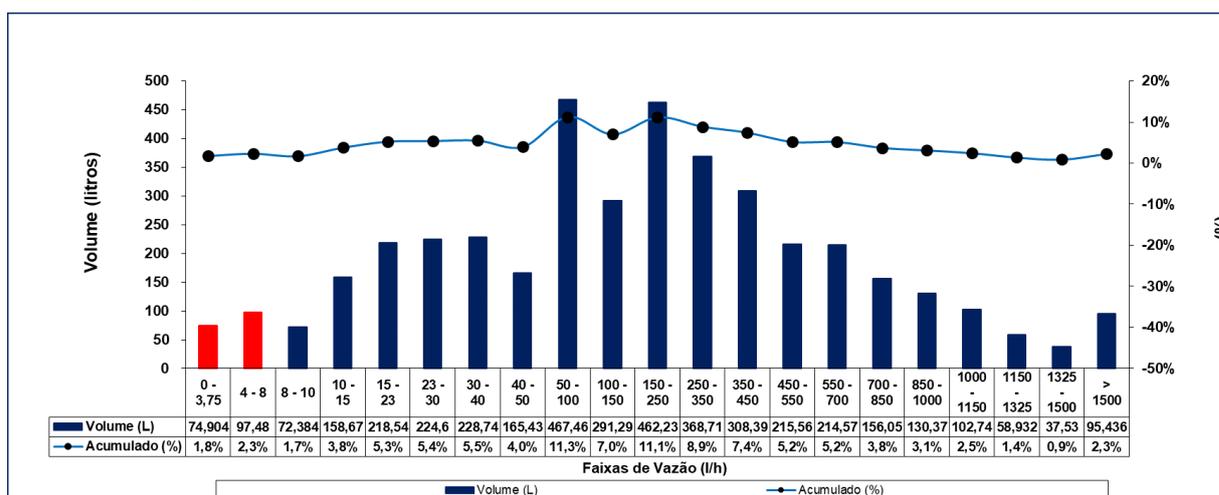
Fonte: adaptado de ABNT (2014)

Na Figura 26 observa-se 59,4% do consumo total de água nas vazões entre 50 a 550 L/h. Entretanto, utilizar este perfil de consumo para o cálculo do IDM do parque

de medidores de Buritirana seria uma estimativa, uma vez que este comportamento de consumo não reflete exatamente a realidade da região de Palmas – TO. Desta forma, foi utilizado um estudo do comportamento de consumo da população de Palmas – TO, com dados de 2020, da própria companhia de saneamento. Este estudo contém amostras inclusive do distrito de Buritirana.

O levantamento do perfil de consumo de Palmas foi dividido ainda de acordo com a capacidade dos medidores. O primeiro levantamento feito com uma amostra de 209 hidrômetros com capacidade de $Q_n=0,75 \text{ m}^3/\text{h}$, representando uma população de 62.352 ligações, é apresentado na Figura 27. Este estudo de perfil de consumo foi utilizado para o cálculo do IDM do parque de medidores velocimétricos $Q_n=0,75 \text{ m}^3/\text{h}$ de Buritirana.

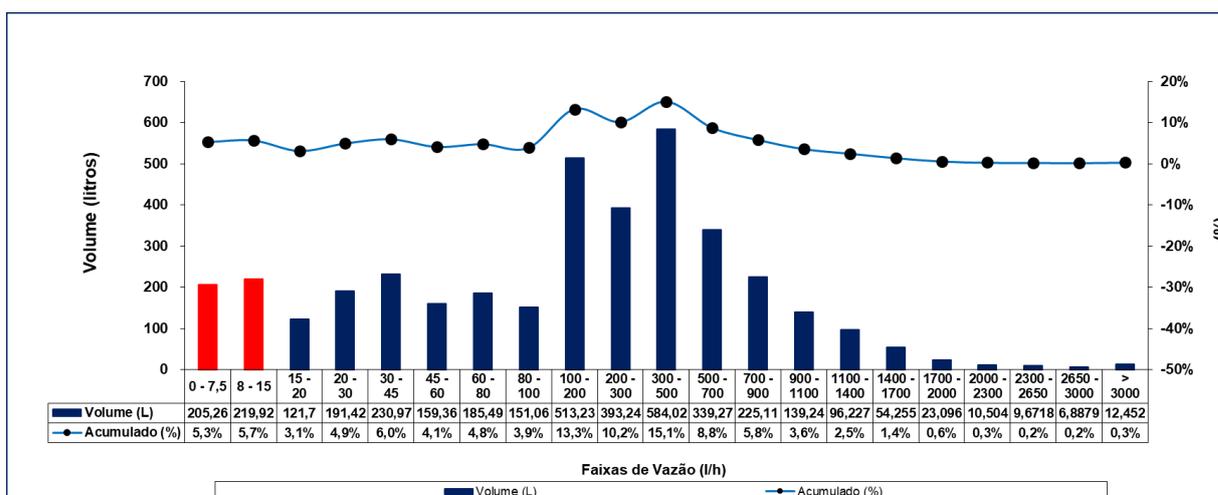
Figura 27 – Perfil de consumo de Palmas-TO com medidores $Q_n=0,75 \text{ m}^3/\text{h}$



Fonte: Autor (2021)

O segundo levantamento feito com uma amostra de 110 hidrômetros com capacidade de $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, representando uma população de 62.352 ligações, é apresentado na Figura 28. Este estudo de perfil de consumo foi utilizado para o cálculo do IDM do parque de medidores volumétricos $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ de Buritirana.

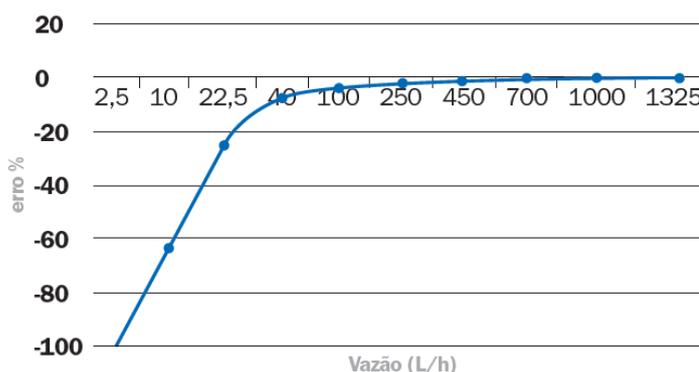
Figura 28 - Perfil de consumo de Palmas-TO com medidores Qn=1,5 m³/h



Fonte: Autor (2021)

Para fazer a determinação da submedição do parque de hidrômetros de Buritirana, foi feita a estratificação dos medidores em grupos de acordo com o tempo de instalação (idade do hidrômetro). Para cada grupo, foram obtidas amostras de hidrômetros para levantamento da curva de erros em laboratório. Desta forma, foi possível obter a curva de hidrômetros por idade. A Figura 29 apresenta um exemplo feito pela AESBE (2015) de curva de erros para 203 medidores de 5 anos de instalação.

Figura 29 – Curva de erros – média de hidrômetros com 5 anos de instalação segundo a AESBE



Fonte: AESBE (2015)

Para o levantamento da curva de erros, foi necessário realizar ensaios em laboratório nas vazões correspondentes às faixas do perfil de consumo. Para cada hidrômetro ensaiado, determinou-se o erro de medição (positivo ou negativo), de cada uma destas vazões. Ao se multiplicar o peso determinado pelo perfil de consumo pelo

erro levantado obteve-se o Erro Ponderado (EP), que representa a submedição do hidrômetro.

As fórmulas para cálculo dos Erros Ponderados (EP) e do Índice de Desempenho da medição (IDM) são apresentadas nas Equações 3 e 4.

$$EP = [(erro Qx) \times (Peso Qx)] / 100 \text{ (Equação 3)}$$

$$IDM = 100\% + EP \text{ (Equação 4)}$$

Em que:

EP – Erro Ponderado (%);

Erro Qx – Erro levantado em bancada por faixa de vazão (%);

Peso Qx – Perfil de consumo da população (%)

IDM – Índice de Desempenho da Medição (%).

A Figura 30 apresenta um exemplo de cálculo de IDM feito pela AESBE (2015) com base na NBR 15.538/2014, de hidrômetros classe B com vazão nominal 1,5 m³/h, retirados de campo após 6 anos de instalação. A terceira coluna apresenta os erros levantados em bancada para cada faixa de vazão.

Figura 30 – Exemplo para uma determinação de IDM

VAZÕES PARA VERIFICAÇÃO DE ERROS	PERFIL DE CONSUMO (%)	ERRO LEVANTADO EM BANCADA (%)	EMP (ERRO MÉDIO PONDERADO)
2,5	4,56	-100,00	-4,56
10	6,99	-65,00	-4,54
22,5	6,83	-28,90	-1,97
40	7,34	-8,20	-0,60
100	23,21	-2,70	-0,63
250	23,92	-1,60	-0,38
450	12,27	-0,82	-0,10
700	7,29	-0,75	-0,05
1000	5,86	0,15	0,01
1325	1,73	-0,10	0,00
Erro Ponderado (EP)			-12,84
Índice de Desempenho da Medição (IDM)			87,16

Fonte: AESBE (2015)

Neste exemplo, o IDM resultou em 87,16%, ou seja, de toda a água que passa pelo hidrômetro, 12,84% não é contabilizada devido à submedição. Observa-se que a

submedição varia em função da vazão que passa pelo hidrômetro. Em geral, para vazões maiores, o erro tende a ser menor. Tal cálculo também foi feito para o parque de medição de Buritirana.

4.9 Avaliação dos Ganhos com o Parque de Medidores Volumétricos

Após o cálculo de submedição pelo cálculo da AESBE (2015) com base na NBR 15.538/2014, foi feita a análise de ganhos técnicos de volume recuperado, consumido e faturado. Os indicadores (Quadro 2) foram calculados antes e após a renovação do parque de medidores. Foi analisado ainda o incremento de volume micromedido e faturado na correlação entre submedição do parque antigo e ganho de eficiência com o parque renovado. As informações encontradas foram cruzadas com dados da curva de medição dos medidores velocimétricos da amostra estudada em laboratório com a curva de medição de um medidor volumétrico novo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Curva de Medição dos Medidores Velocimétricos

Os ensaios foram realizados entre 30/05/2020 e 29/06/2020, após a retirada dos medidores de campo. As informações referentes aos resultados foram registradas em planilhas já preparadas para receber esses dados.

A execução dos ensaios seguiu os parâmetros vigentes estabelecidos pela NBR 15.538/2014. A norma determina que os medidores submetidos aos ensaios devem ser 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 (10 bar), a água utilizada nos ensaios deve possuir características semelhantes àquela fornecida ao abastecimento público, e a bancada deve estar calibrada no padrão do INMETRO.

Os medidores já estavam em funcionamento nas residências antes do início desta pesquisa, portanto, são medidores com distintos fabricantes e idades. Após a substituição, os medidores são recebidos em caixas pelo laboratório de hidrometria. Os medidores foram então limpos e separados para início dos ensaios. Na fase de ensaios, os medidores são dispostos em uma bancada, na qual um determinado volume de água os atravessa num fluxo pré-estabelecido.

Todos os ensaios foram acompanhados pela técnica do laboratório de hidrometria da concessionária, treinada para tais ensaios. As leituras dos volumes foram efetuadas pela mesma. O lançamento dos dados ficou sob responsabilidade do autor deste estudo. O formato da tabulação dos dados é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Formato de tabulação dos ensaios com medidores retirados de Buritirana

ITEM	HIDRÔMETRO	Qn (m³/h)	ANO DE INSTALAÇÃO	CLASSE METROLÓGICA	FABRICANTE	ORIGEM DA SUBSTITUIÇÃO	ERRO % NAS RESPECTIVAS VAZÕES l/h										VOL. ACUMULADO (m³)
							7,5	15	30	60	120	240	480	750	1125	1500	
1	Y18N 086446	0,75	2018	B	A	Projeto Buritirana	-80,00	-8,82	-1,36	-1,04	-2,95	-2,19	-2,08	-0,96	-0,19	0,09	21
2	Y18N 086460	0,75	2018	B	A	Projeto Buritirana	-37,00	-7,32	-2,97	-1,64	-4,05	-4,48	-5,13	-4,49	-4,06	-3,25	282
3	Y18N 086449	0,75	2018	B	A	Projeto Buritirana	-54,50	-9,82	-2,97	-3,04	-4,75	-4,38	-5,23	-4,53	-3,53	-2,99	224
4	Y18N 086458	0,75	2018	B	A	Projeto Buritirana	-93,50	-9,32	-3,77	-2,64	-5,25	-4,88	-5,47	-4,89	-4,18	-1,88	143
5	Y18N 086295	0,75	2018	B	A	Projeto Buritirana	-42,50	-6,83	-1,97	-2,44	-4,45	-4,28	-4,49	-4,03	-3,48	-2,96	209
6	Y15N 252587	0,75	2015	B	A	Projeto Buritirana	-53,00	-11,31	-4,97	-5,44	-6,75	-8,07	-8,74	-8,81	-8,09	-7,61	500
7	Y18N 086288	0,75	2018	B	A	Projeto Buritirana	-46,50	-4,83	2,05	-0,44	-3,35	-4,08	-3,35	-3,41	-3,10	-1,02	247
8	Y18N 086453	0,75	2018	B	A	Projeto Buritirana	-93,50	-8,82	-1,96	-3,04	-4,95	-4,88	-4,95	-3,97	-3,62	-4,50	268
9	Y18N 086448	0,75	2018	B	A	Projeto Buritirana	-45,00	-8,82	-3,37	-4,24	-6,75	-5,98	-6,43	-6,13	-5,94	-5,39	279
10	Y18N 086455	0,75	2018	B	A	Projeto Buritirana	-27,00	-6,83	-2,17	-2,44	-4,75	-4,28	-4,63	-3,93	-3,17	-3,63	189
11	Y13S 695595	0,75	2013	B	B	Projeto Buritirana	-22,00	-3,29	-3,08	-4,66	-3,74	-2,44	-1,24	0,00	0,38	0,79	99
12	Y12S 127762	0,75	2012	B	B	Projeto Buritirana	-46,00	-22,73	-18,19	-17,90	-19,42	-18,47	-18,26	-18,01	-17,44	-16,89	619
13	Y13S 691236	0,75	2013	B	B	Projeto Buritirana	-	-	-	-44,40	-22,22	-19,56	-18,36	-18,01	-17,30	-16,81	361
14	Y09S 557089	0,75	2009	B	B	Projeto Buritirana	-	-	-	-99,00	-83,03	-35,49	-32,91	-30,42	-30,95	-29,59	708
15	Y12S 127757	0,75	2012	B	B	Projeto Buritirana	-	-	-	-51,43	-29,81	-83,77	-	-61,06	-21,96	-21,26	1032
16	Y13S 345169	0,75	2013	B	B	Projeto Buritirana	-	-	-	-	-34,80	-26,43	-23,70	-23,01	-21,30	-21,66	908

Fonte: Autor (2021)

A primeira coluna da planilha de tabulação dos resultados dos ensaios mostra o número de identificação e sequência da amostra, em segundo o número do medidor, que identifica a capacidade (m^3/h), ano de instalação, o fabricante e o número de série. Após, registrou-se o erro calculado para cada faixa de vazão (L/h), expresso em porcentagem (%), com seu consequente volume acumulado registrado.

As idades vão de 3 (três) a 13 (treze) anos de instalação, 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. O INMETRO exige o teste dos medidores em uso em 3 pontos de vazão (vazão mínima Q_{min} , vazão de transição Q_t e vazão nominal Q_n). Neste estudo, foram testadas a $Q_{min}/2$, Q_{min} , $2 Q_{min}$, $4 Q_{min}$ (Q_t), $8 Q_{min}$, $16 Q_{min}$, $32 Q_{min}$, Q_n , $1,5 Q_n$ e Q_{max} . Foram ensaiadas 134 unidades de 3 fabricantes diferentes, com valores de erros médios conforme os valores mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Média dos erros (%) dos medidores tipo velocimétricos classe B retirados de campo por faixa de vazão

Idade	$Q_{min}/2$	Q_{min}	$2 Q_{min}$	$4 Q_{min}$ (Q_t)	$8 Q_{min}$	$16 Q_{min}$	$32 Q_{min}$	Q_n	$1,5 Q_n$	Q_{max}
	0,0075	0,0150	0,030	0,0600	0,120	0,240	0,480	0,750	1,125	1,500
3	-31,0%	-6,6%	-3,8%	-2,7%	-4,1%	-4,1%	-4,1%	-3,5%	-2,9%	-2,6%
4	-42,4%	-12,0%	-11,1%	-11,7%	-11,2%	-11,3%	-11,0%	-10,3%	-9,6%	-9,7%
5	-31,2%	-2,9%	-1,7%	-2,5%	-2,7%	-2,9%	-2,4%	-1,5%	-0,9%	-0,8%
6	-31,8%	-8,8%	-5,5%	-6,2%	-7,6%	-8,1%	-8,0%	-7,8%	-7,1%	-6,7%
7	-98,9%	-86,8%	-80,6%	-63,1%	-27,6%	-20,6%	-18,9%	-17,9%	-17,2%	-16,8%
8	-86,8%	-78,5%	-72,4%	-53,7%	-22,9%	-18,5%	-17,0%	-16,4%	-15,8%	-15,5%
9	-77,0%	-51,5%	-73,5%	-27,6%	-20,5%	-25,5%	-26,8%	-21,1%	-15,4%	-15,0%
11	-100,0%	-89,1%	-77,8%	-61,7%	-27,4%	-23,7%	-23,4%	-23,1%	-23,0%	-23,5%
12	-91,6%	-83,8%	-68,6%	-66,8%	-42,5%	-27,9%	-24,8%	-24,0%	-23,2%	-22,8%
13	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-52,7%	-34,1%	-31,5%	-71,8%	-92,5%	-98,6%
Média (%)	-56,3%	-35,0%	-32,5%	-24,8%	-14,5%	-12,7%	-12,2%	-11,6%	-10,8%	-10,6%

Fonte:Autor (2021)

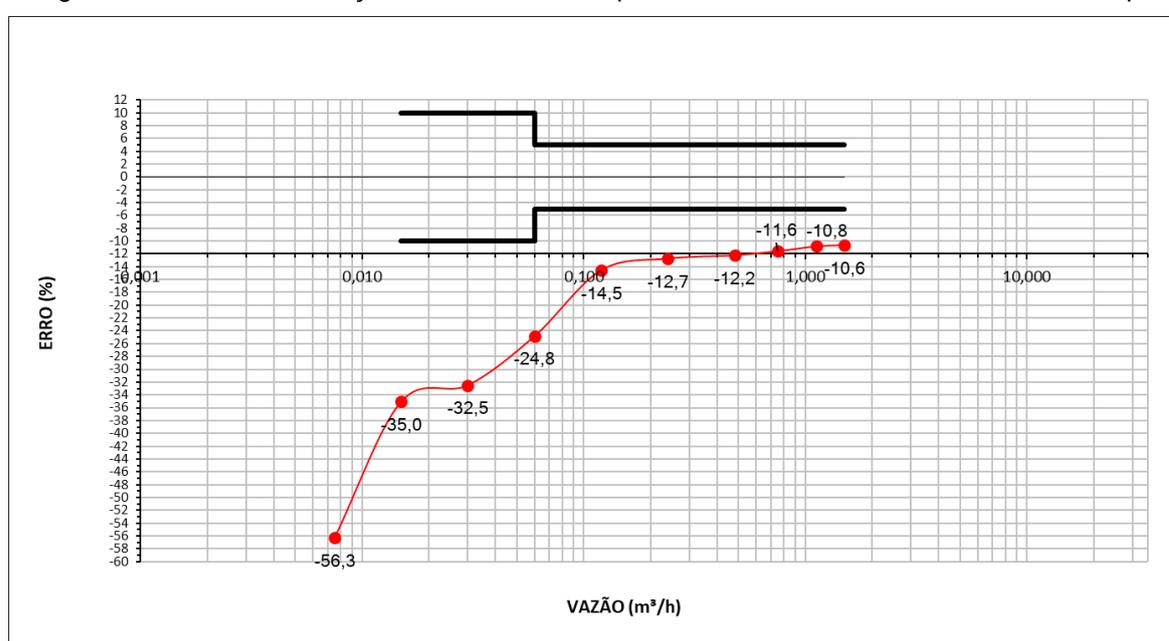
Observa-se na Tabela 6 que não houve erros positivos em nenhuma idade ou vazão, indicando assim que não há sobremedição, mas apenas efeito de submedição nos medidores. Desta forma, as medições dos hidrômetros causavam prejuízo para a companhia em termos de volume medido e faturado.

Em uma análise por idade percebe-se um aumento expressivo de erro chegando a 100% nas idades acima de 11 anos. Em seus estudos, Tsutiya (2018) avaliou que ocorre uma queda de 1% ao ano, e assim, a vida útil de um hidrômetro

varia entre 5 a 10 anos. Neste presente estudo, os dados da Tabela 6 mostram submedição acima de 10% a partir do 7º ano de vida útil do medidor, principalmente nas vazões mínimas (Qmin).

A Figura 31 mostra o erro médio apurado por faixa de vazão em comparação ao túnel de medição, que delimita os limites mínimos e máximos dos erros permitidos. É perceptível então que para todas as vazões, os erros (%) acarretam grande submedição e volume perdido no processo de faturamento.

Figura 31 – Curva de medição dos hidrômetros tipo velocimétrico classe B retirados de campo



Fonte: Autor (2021)

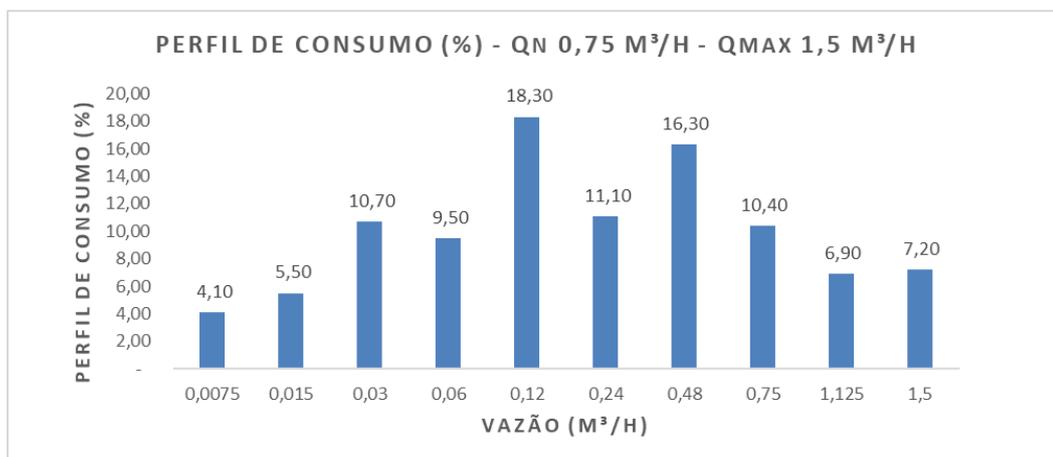
5.2 Desempenho da Medição dos Medidores Velocimétricos Classe B

O método para determinação da submedição do parque de hidrômetros utilizando o IDM – Índice de Desempenho da Medição – associa o desempenho do hidrômetro levantado em laboratório com o perfil de consumo da população, conforme recomendações e procedimentos descritos na norma ABNT NBR 15.538 - Medidores de água potável - Ensaio para avaliação de eficiência (2014).

Um estudo feito pelo próprio autor determinou o perfil de consumo da cidade de Palmas-TO, inclusive com amostras do distrito urbano de Buritirana, e o resultado deste estudo será utilizado para composição do cálculo do Erro Médio Ponderado (EMP) e o Índice de Desempenho da Medição. A Figura 32 apresenta o perfil de

consumo (%) por vazão (m^3/h) da área de estudo, para as vazões específicas descritas pela ABNT NBR 15.538/2014 para medidores classe B $Q_n = 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$.

Figura 32 – Perfil de consumo (%) da área de estudo para medidores classe B $Q_n = 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$



Fonte: Autor (2021)

Observa-se na Figura 32 que as vazões indicadas foram estabelecidas de acordo com as vazões dos testes de bancada para os hidrômetros velocimétricos classe B $Q_n = 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$, para que o cálculo do erro ponderado fosse compatível. O maior consumo é na vazão de $0,12 \text{ m}^3/\text{h}$ ($8 Q_{\min}$), com peso de 18,30% do consumo total da população. Os dados apontam que a população consome a água em sua maior parte entre a vazão mínima (Q_{\min}) e a vazão nominal (Q_n), com totalização de 81,80% do volume consumido em hidrômetros, o que indica ainda que este modelo de medidor está bem dimensionado para o perfil de consumo da população.

Com os dados da Figura 32 foi possível calcular o erro médio ponderado. A vazão de verificação de erro, em m^3/h , foi estabelecida no padrão da ABNT NBR 15.538/2014, tanto para o cálculo do perfil de consumo quanto para o erro de bancada. Os dados de erro de medição por vazão foi determinado na curva de medição do hidrômetro velocimétrico classe B $Q_n = 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$, conforme Tabela 6 e Figura 31.

A Tabela 7 apresenta o Erro Médio Ponderado (EMP), em termos percentuais (%), dos medidores velocimétricos classe B $Q_n = 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$ retirados de campo.

Tabela 7 - Erro Médio Ponderado (EMP) dos medidores velocimétricos classe B retirados de campo

Vazão para Verificação de Erro	Vazão para Verificação de Erro (m³/h)	Perfil de Consumo (%)	Erro Levantado em Bancada (%)	Erro Médio Ponderado (EMP) (%)
Qmin/2	0,0075	4,10	-56,30	-2,31
Qmin	0,015	5,50	-35,00	-1,93
2 Qmin	0,03	10,70	-32,50	-3,48
4 Qmin (Qt)	0,06	9,50	-24,80	-2,36
8 Qmin	0,12	18,30	-14,50	-2,65
16 Qmin	0,24	11,10	-12,70	-1,41
32 Qmin	0,48	16,30	-12,20	-1,99
Qn	0,75	10,40	-11,60	-1,21
1,5 Qn	1,125	6,90	-10,80	-0,75
Qmax	1,5	7,20	-10,60	-0,76

Fonte: Autor (2021)

A somatória do Erro Médio Ponderado (EMP) resultou no Erro Ponderado (EP), e o Índice de Desempenho da Medição (IDM) foi calculado por meio da Equação 4, do item 4.7. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Erro ponderado (%) e Índice de Desempenho da Medição (%) dos medidores velocimétricos classe B

Indicador de Desempenho	Índice calculado (%)
Erro Ponderado	-18,83%
Índice de Desempenho da Medição	81,17%

Fonte: Autor (2021)

O IDM resultou em 81,17%, ou seja, de todo volume de água que passa pelo hidrômetro, 18,83% não é contabilizado devido a submedição. Observa-se que a submedição varia em função da vazão que passa pelo hidrômetro. De acordo com os resultados, para as maiores vazões, entre Qn e Qmax, o erro tende a ser menor.

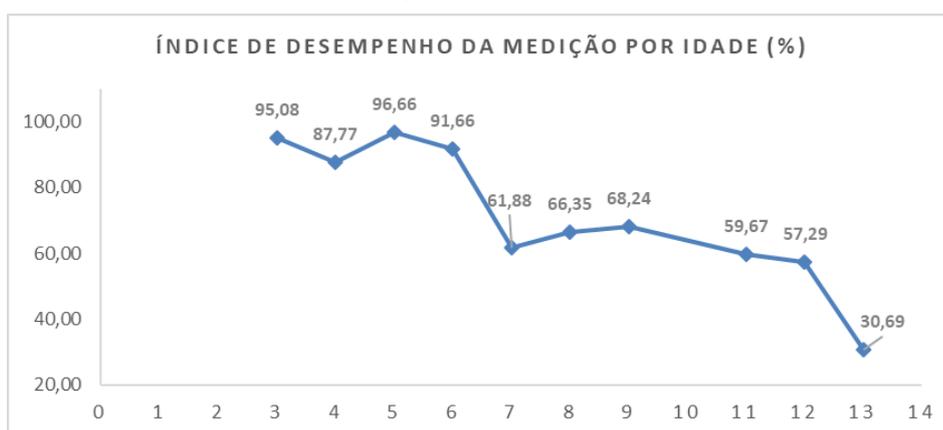
Se o mesmo processo for realizado com hidrômetros de todos os anos de instalação da amostra, é possível gerar uma curva de eficiência do hidrômetro em função do tempo, composta pelo IDM de todos os anos (3 a 13 anos). A Tabela 9 apresenta o IDM (%) por idade, e a Figura 33 apresenta os dados em formato de gráfico.

Tabela 9 - Erro ponderado (%) e Índice de Desempenho da Medição (%) dos medidores velocimétricos classe B por idade

Idade	Erro Ponderado (%)	Índice de Desempenho da Medição (%)
3	-4,92	95,08
4	-12,23	87,77
5	-3,34	96,66
6	-8,34	91,66
7	-38,12	61,88
8	-33,65	66,35
9	-31,76	68,24
11	-40,33	59,67
12	-42,71	57,29
13	-69,31	30,69

Fonte: Autor (2021)

Figura 33 - Índice de Desempenho da Medição (%) dos medidores velocimétricos classe B por idade



Fonte: Autor (2021)

De acordo com a Figura 33, é possível se observar que existe uma tendência de redução do desempenho da medição com o passar do tempo. A partir do sétimo ano existe uma degradação alta, com índices de desempenho da medição abaixo de 70%. Tal situação é crítica para um parque de medição, e reforça-se a recomendação de que hidrômetros devem ser aferidos e trocados entre o quinto e décimo ano (AESBE, 2015; TSUTIYA, 2018).

Por meio de uma Regressão Linear foi possível estabelecer uma correlação entre as variáveis idade (x) e IDM (y), servindo para prever comportamentos com o modelo de regressão. Os dados utilizados para a variável “idade” e a variável “IDM” são os mesmos indicados na Tabela 9. Para a análise dos dados foi utilizado o software *Microsoft Excel*.

Para o modelo de regressão, foi adotado nível de confiança de 95%. Para se analisar a correlação existente entre as variáveis e atestar que o modelo é útil para realizar previsões foram calculados os parâmetros p-valor e o coeficiente de determinação (R-Quadrado). A Tabela 10 apresenta os parâmetros para análise da validade da regressão.

Tabela 10 – Parâmetros de regressão

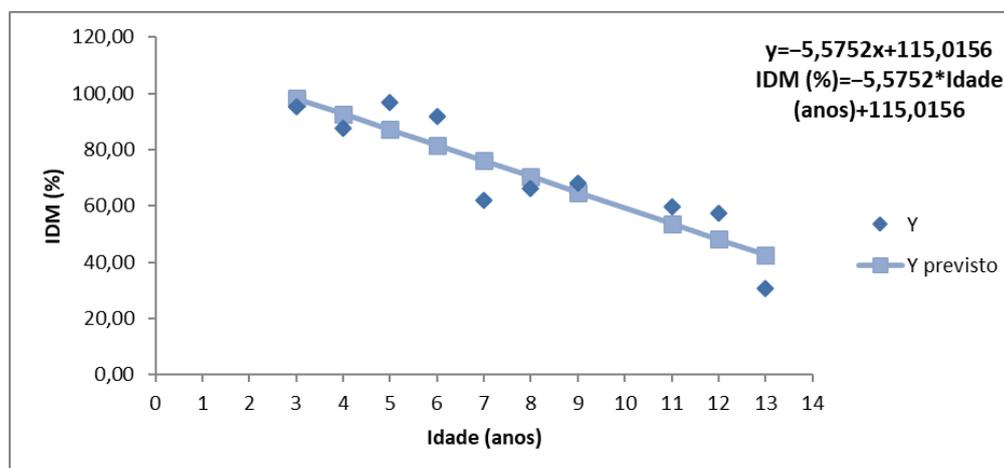
Parâmetro de Regressão	Valor
R-Quadrado	0,8211
Erro padrão	9,4539
p-valor	0,0003

Fonte: Autor (2021)

Analisa-se na Tabela 10 que o coeficiente de determinação (R-quadrado) resultou em 0,8211. Quanto mais próximo de 1, maior a representatividade da variável “idade” ao explicar o comportamento da variabilidade que ocorre com a variável “IDM”, sendo ideal acima de 0,5, e portanto, existe uma boa influência.

A regra de análise de p-valor é que se p-valor é menor que 0,05 (<0,05), a correlação entre as duas variáveis é significativa. Para a correlação em questão, pode-se ver que p-valor é 0,0003, ou seja, a correlação entre as duas variáveis é significativa. A Figura 34 apresenta a representação gráfica da regressão linear entre as variáveis “idade” e “IDM”. Com este modelo, é possível se fazer uma projeção do IDM (%) com base na idade (anos).

Figura 34 – Modelo de regressão linear com variáveis idade (anos) e IDM (%)



Fonte: Autor (2021)

5.3 Curva de Medição dos Medidores Volumétricos

Para os hidrômetros volumétricos classe C $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ foram feitos testes de bancada para 10 medidores novos, com tripla repetição para cada medidor. Por padrão de fábrica, os medidores devem ter o mesmo erro relativo ou bastante próximo nos resultados dos testes de bancada. A fabricação e instalação são do ano de 2020. O resultado dos testes é apresentado na Tabela 11.

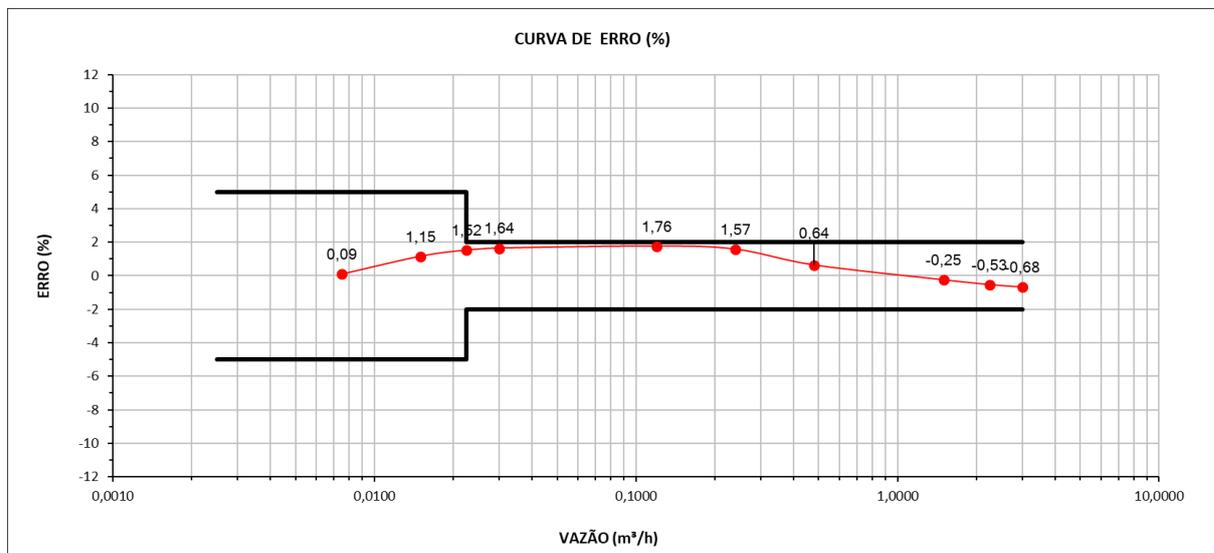
Tabela 11 - Curva de medição dos hidrômetros tipo volumétrico classe C

Hidrômetro	$Q_{min}/2$	Q_{min}	$1,5 Q_{min} (Qt)$	$2 Q_{min}$	$8 Q_{min}$	$16 Q_{min}$	$32 Q_{min}$	Q_n	$1,5 Q_n$	Q_{max}
	0,0075	0,0150	0,0225	0,030	0,120	0,240	0,480	1,500	2,250	3,000
Hidrômetro 1	0,20	1,10	1,60	1,53	1,63	1,46	0,48	-0,49	-0,88	-1,13
Hidrômetro 2	-0,47	1,23	1,46	1,66	1,70	1,60	0,61	-0,36	-0,63	-0,76
Hidrômetro 3	-0,07	1,10	1,46	1,93	1,77	1,53	0,58	-0,32	-0,59	-0,81
Hidrômetro 4	0,20	1,10	1,60	1,66	1,70	1,53	0,73	-0,22	-0,49	-0,46
Hidrômetro 5	0,33	1,23	1,60	1,53	1,83	1,66	0,78	-0,16	-0,50	-0,71
Hidrômetro 6	-0,33	0,83	1,20	1,53	1,77	1,60	0,72	-0,09	-0,37	-0,57
Hidrômetro 7	-0,20	0,97	1,33	1,40	1,70	1,60	0,58	-0,19	-0,49	-0,60
Hidrômetro 8	0,33	1,23	1,46	1,53	1,83	1,60	0,68	-0,11	-0,33	-0,49
Hidrômetro 9	0,33	1,23	1,60	1,66	1,83	1,53	0,62	-0,27	-0,50	-0,63
Hidrômetro 10	0,60	1,50	1,86	1,93	1,83	1,60	0,57	-0,25	-0,50	-0,59
Média (%)	0,09	1,15	1,52	1,64	1,76	1,57	0,64	-0,25	-0,53	-0,68

Fonte: Autor (2021)

Na Tabela 11 observa-se que a variação de desempenho é ligeiramente diferente para as mesmas vazões, mas tal diferença é esperada pois seria impossível repetir as mesmas condições de fabricação e testes de bancada para se obter os mesmos erros (%), e, portanto, tal diferença é tolerável (Aguiar, 2019). Com a média dos erros de medição da Tabela 11 foi possível estabelecer a curva de medição do hidrômetro tipo volumétrico classe C instalado em campo, conforme Figura 35.

Figura 35 - Curva de medição do hidrômetro tipo volumétrico $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ classe C instalado em campo



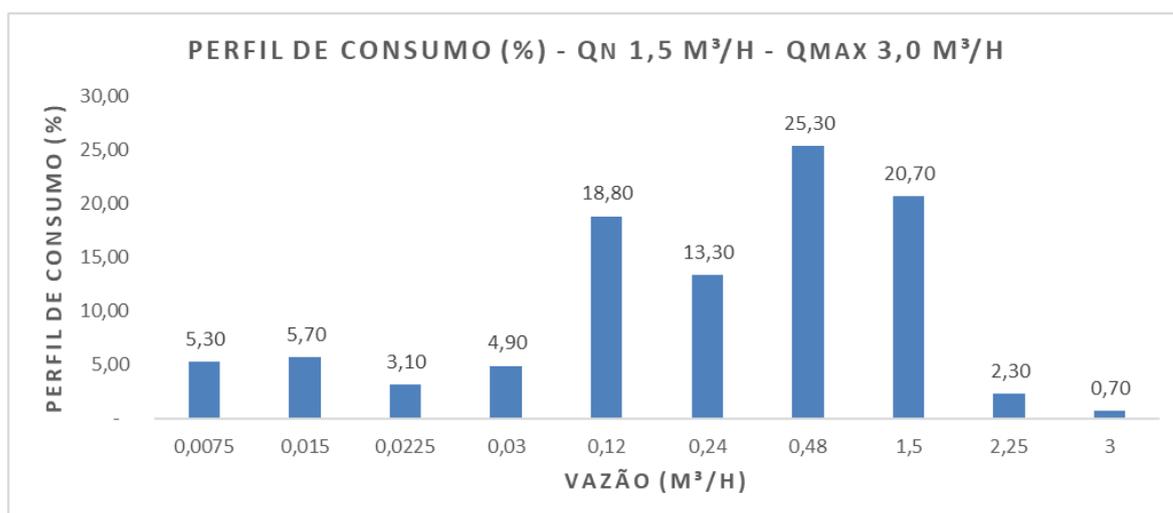
Fonte: Autor (2021)

Observa-se na Figura 35 que o hidrômetro tipo volumétrico $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ classe C novo apresenta seus erros de medição (%) dentro dos limites da ABNT NBR 15.538/2014, e portanto, possui status de aprovado. Há uma sobremedição média de 1,2% entre as vazões $Q_{\min}/2$ e $32Q_{\min}$, que acarreta em maior consumo micromedido nesta faixa de vazão, entretanto, aceitável por ser menor que 2%. O efeito é contrário para as vazões acima da vazão nominal (Q_n), havendo submedição média de -0,49%.

5.4 Desempenho da Medição dos Medidores Volumétricos Classe C

A Figura 36 apresenta o perfil de consumo (%) por vazão (m^3/h) da área de estudo, para as vazões específicas descritas pela ABNT NBR 15.538/2014 para medidores classe C $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Figura 36 – Perfil de consumo (%) da área de estudo para medidores classe C $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$



Fonte: Autor (2021)

O maior consumo é na vazão de $0,48 \text{ m}^3/\text{h}$ ($32 Q_n$), com peso de 25,30% do consumo total da população. Os dados apontam que a população consome a água em sua maior parte entre a vazão mínima (Q_{min}) e a vazão nominal (Q_n), com totalização de 91,80% do volume consumido em hidrômetros, o que indica ainda que este modelo de medidor está bem dimensionado para o perfil de consumo da população estudada.

Com os dados da Figura 36 possível calcular o erro médio ponderado. A vazão de verificação de erro, em m^3/h , foi estabelecida no padrão estabelecido pela ABNT NBR 15.538/2014, tanto para o cálculo do perfil de consumo quanto do erro de bancada. Os dados de erro de medição por vazão foi determinado na curva de medição do hidrômetro volumétrico classe C $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, conforme Tabela 11. A Tabela 12 apresenta o Erro Médio Ponderado (EMP), em termos percentuais (%), dos medidores volumétricos classe C $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ novos instalados em campo.

Tabela 12 - Erro Médio Ponderado (EMP) do medidor volumétrico classe C novo instalado em campo

Vazão para Verificação de Erro	Vazão para Verificação de Erro (m³/h)	Perfil de Consumo (%)	Erro Levantado em Bancada (%)	Erro Médio Ponderado (EMP) (%)
Qmin/2	0,0075	5,30	0,09	0,00
Qmin	0,015	5,70	1,15	0,07
1,5 Qmin (Qt)	0,0225	3,10	1,52	0,05
2 Qmin	0,03	4,90	1,64	0,08
8 Qmin	0,12	18,80	1,76	0,33
16 Qmin	0,24	13,30	1,57	0,21
32 Qmin	0,48	25,30	0,64	0,16
Qn	1,5	20,70	-0,25	-0,05
1,5 Qn	2,25	2,30	-0,53	-0,01
Qmax	3	0,70	-0,68	0,00

Fonte: Autor (2021)

A somatória do Erro Médio Ponderado (EMP) resultou no Erro Ponderado (EP), conforme Equação 3, e o Índice de Desempenho da Medição (IDM) foi calculado por meio da Equação 4. Os resultados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Erro ponderado (%) e Índice de Desempenho da Medição (%) do medidor volumétrico classe C instalado em campo

Indicador de Desempenho	Índice calculado (%)
Erro Ponderado	0,83%
Índice de Desempenho da Medição	100,83%

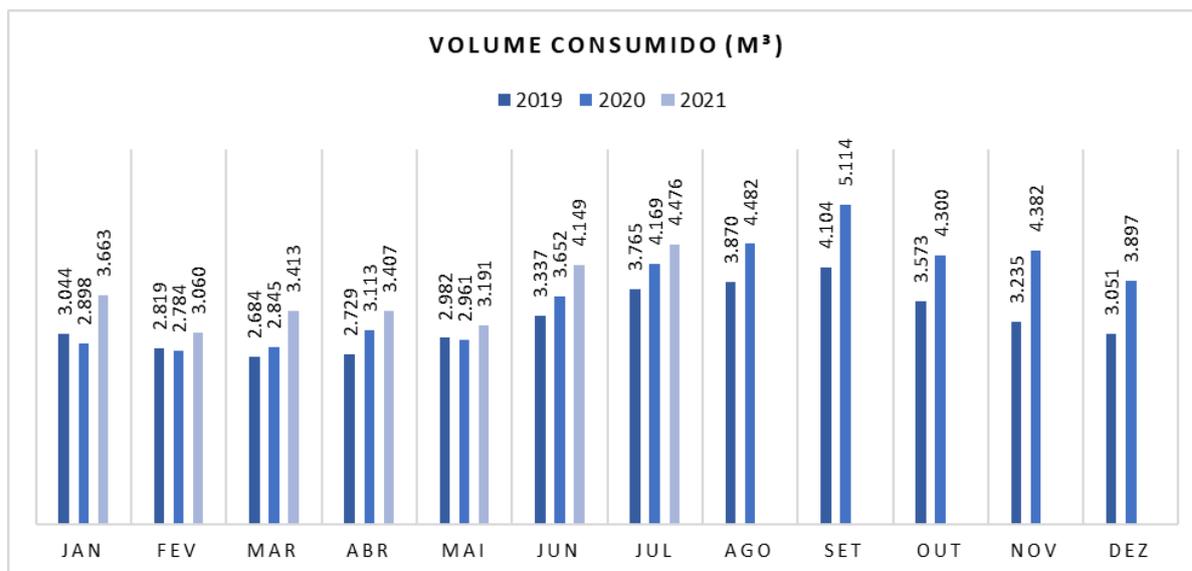
Fonte: Autor (2021)

De acordo com o IDM calculado da Tabela 13 a sobremedição já determinada impacta em mais 0,83% no consumo total micromedido. Tal diferença é benéfica para a concessionária, principalmente no primeiro ano, embora não esteja fora dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 15.538/2014. Conforme a AESBE (2015), é importante para a concessionária que esta avaliação seja feita principalmente devido ao efeito de submedição progressiva já a partir do primeiro ano de instalação do medidor, para que não haja grandes prejuízos no volume que é micromedido. A avaliação dos ganhos com este medidor são discutidos nos itens 5.6 e 5.7.

5.5 Ganhos de Volume Consumido e Redução das Perdas Aparentes

A Figura 37 apresenta a evolução, mês a mês, do volume consumido pela população e micromedido pelos hidrômetros, sendo estes velocimétricos antigos até maio de 2020 e volumétricos novos a partir de junho de 2020.

Figura 37 –Volume de água consumido (micromedido em m³) mensal entre 2019 e julho de 2021



Fonte: Autor (2021)

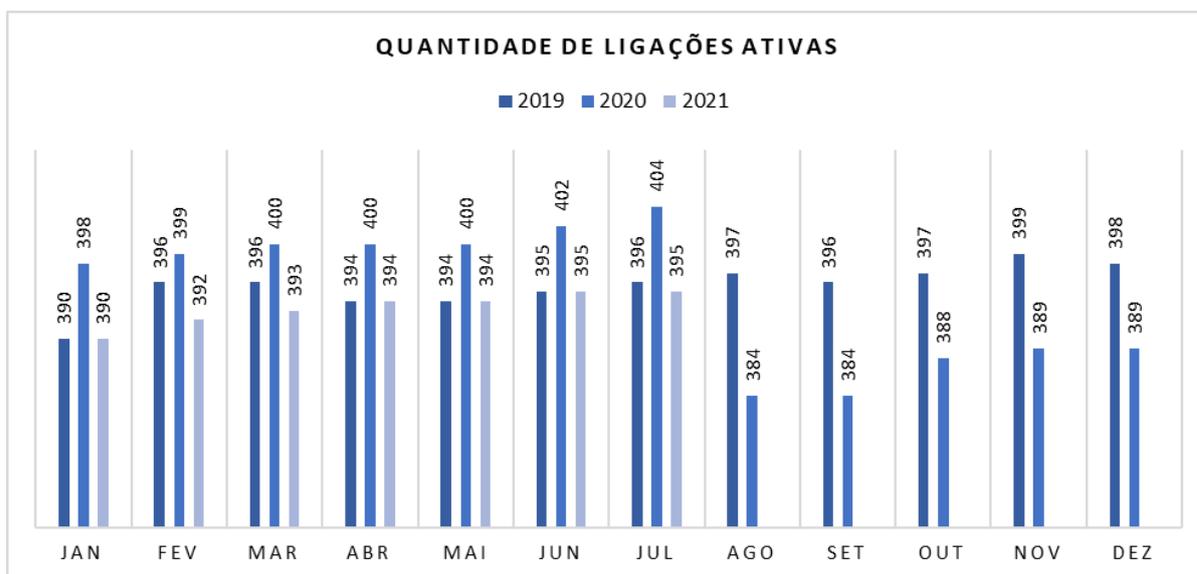
É necessário se fazer esta análise do mês com mesmo período do ano anterior devido a sazonalidade que existe no consumo de água pela população. Em meses mais chuvosos com temperaturas mais amenas, há um consumo menor em relação aos meses mais quentes e secos. Na região do estudo, os meses mais chuvosos estão entre novembro e maio, e meses quentes e secos estão entre junho e outubro.

Observa-se na Figura 37 que antes da substituição integral do parque de medidores em maio de 2020, o volume consumido se manteve equilibrado em relação ao mesmo mês do ano anterior, com variação para mais ou menos, devido a variação no consumo. A partir de junho de 2020, primeiro mês com reflexo dos novos medidores, só houve ganhos positivos em relação ao mesmo período dos anos anteriores. O incremento de volume consumido foi de 18,20% quando se compara o período de junho/2020 a maio/2021 em relação a junho/2019 a maio/2020.

Entretanto, esta análise estaria incompleta se não fosse analisada a evolução do número de ligações de água ativas em Buritirana, já que o crescimento vegetativo

da população também influencia o volume consumido pela população. É necessário, portanto, se analisar o volume consumido por ligação ativa. A Figura 38 apresenta a evolução do número de ligações ativas entre 2019 e julho de 2021.

Figura 38 - Evolução da quantidade de ligações ativas entre 2019 e julho de 2021

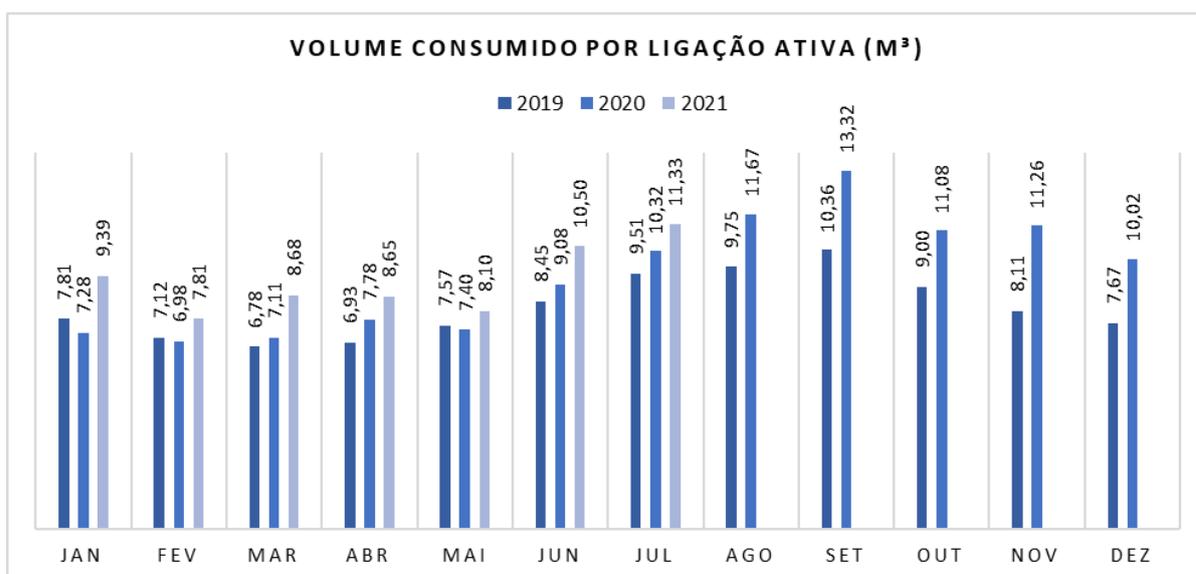


Fonte: Autor (2021)

Observa-se na Figura 38 que o número de ligações ativas entre janeiro de 2019 e julho de 2021 variou em 5 para mais, que representa 1,3% das ligações. Esta análise evidencia que não houve crescimento populacional significativo ou foram adotadas outras fontes de abastecimento alternativas, como uso de poços artesianos ou uso fraudulento da rede de água da concessionária.

Houve um crescimento gradativo do número de ligações ativas até o mês de julho de 2020 e no mês seguinte uma redução de 20 ligações. Este comportamento pode estar relacionado a percepção do aumento do consumo de água para os casos em que houve migração para fonte alternativa, ou ainda inativação por não uso. Com o número de ligações e o volume consumido, uma análise mais refinada foi possível de ser feita calculando-se o volume consumido por ligação na

Figura 39, expresso em metros cúbicos (m³). Ressalta-se que o conceito de volume consumido difere-se de volume faturado, já que o volume consumido é registrado na micromedição dos hidrômetros, e o volume faturado é o volume a ser cobrado dos clientes nas faturas (BRASIL, 2017).

Figura 39 – Volume consumido por ligação ativa (m³/ligação) entre 2019 e julho de 2021

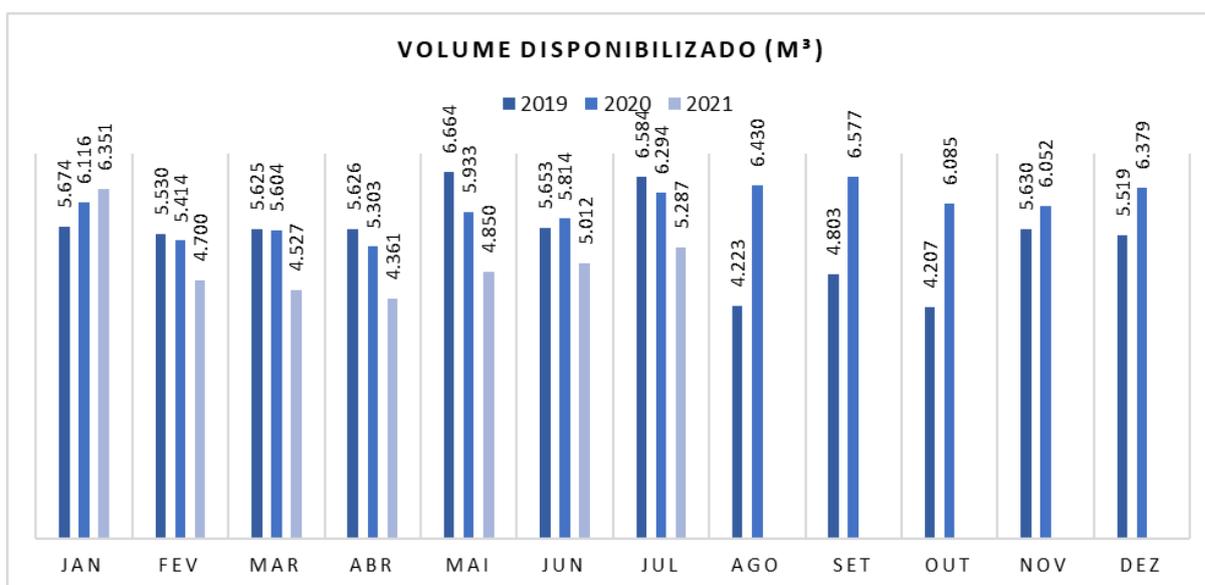
Fonte: Autor (2021)

A Figura 39 mostra que os ganhos na recuperação de volume micromedido é bastante expressivo após a instalação dos medidores volumétricos (maio de 2020). O volume médio consumido por ligação ativa passou de 8,28 para 9,95 m³/ligação, que representa um incremento médio de 1,67 m³/ligação (+20,11%), quando se compara o período de junho/2020 a maio/2021 em relação a junho/2019 a maio/2020.

Este ganho de volume micromedido com a substituição dos medidores é diferente entre os períodos do ano. Nos meses mais chuvosos e com temperaturas mais amenas (novembro a maio) o ganho médio foi de 1,65 m³/ligação e nos meses secos com temperaturas mais elevadas (junho a outubro) o ganho médio foi de 1,68 m³/ligação. Todo o volume consumido e micromedido impactou positivamente nas perdas do volume disponibilizado para a população, transformando o volume perdido com submedição em volume recuperado. Para o cálculo do índice de Perdas na Distribuição (

Figura 41), foi considerado o volume disponibilizado para a população (Figura 40) e o volume consumido (Figura 37).

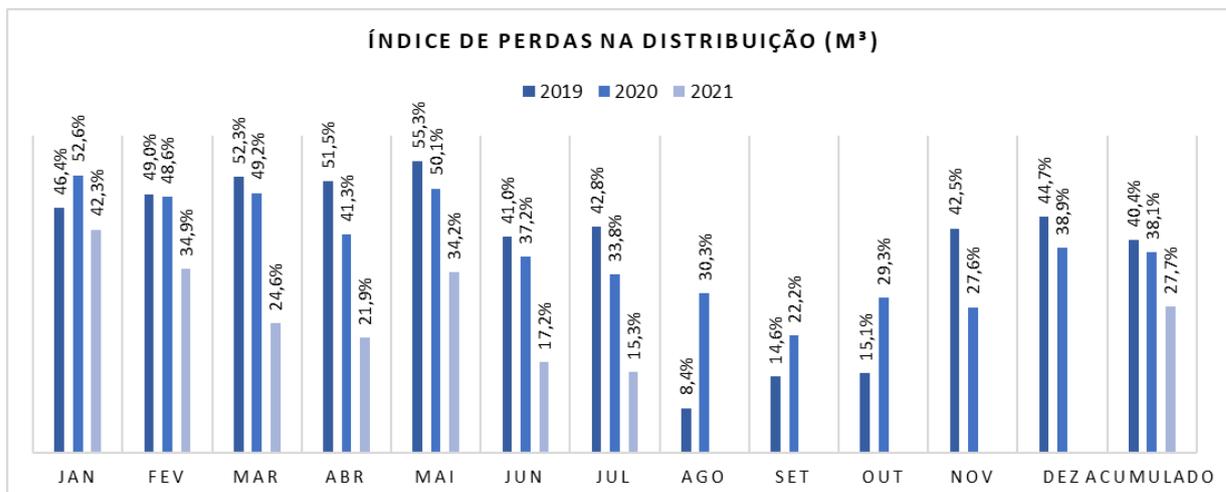
Figura 40 - Volume disponibilizado (m³) entre 2019 e julho de 2021



Fonte: Autor (2021)

Observa-se na Figura 40 que há uma tendência de diminuição do volume disponibilizado em 2021 em relação aos anos anteriores. Em comparação, o volume disponibilizado entre janeiro a julho de 2021 é 13,32% inferior a 2020 e 15,16% inferior a 2019. Tal comportamento não era esperado em termos de consumo, já que os novos hidrômetros não interferem no volume que é distribuído para a rede. Entretanto, em termos de perdas físicas este comportamento era esperado uma vez que com a implantação de dois macromedidores na saída dos reservatórios, houve maior controle do desperdício de água com vazamentos, extravasamentos de reservatório e volume para serviço da companhia, que não são foco deste trabalho. No acumulado da Figura 42, pode-se observar que o Índice de Perdas na Distribuição (IPD) reduz consideravelmente com o passar dos anos, com influência do aumento do volume consumido por meio da substituição de hidrômetros, no último ano, com a redução do volume produzido. Observou-se já em 2020 uma redução de 2,30 pontos percentuais, e em 2021, uma redução de 10,40 pontos percentuais.

Figura 41 – Índice de Perdas na Distribuição (%) entre 2019 e julho de 2021



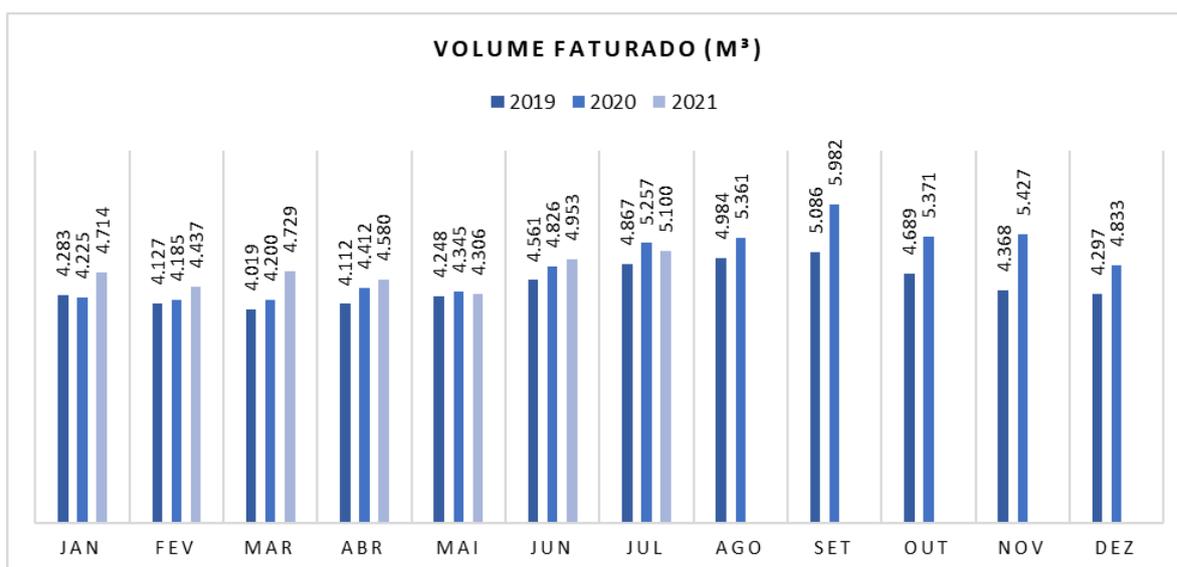
Fonte: Autor (2021)

5.6 Ganhos de Volume Faturado e Redução de Perdas no Faturamento

Em termos de análise dos ganhos da substituição da tecnologia de medição, é importante que alguns fatores sejam avaliados, como o volume faturado (m³), volume faturado por ligação ativa (m³/ligação ativa) e o índice de perdas no faturamento (%). Estes indicadores são importantes de serem avaliados pois refletem os ganhos reais do projeto de substituição da tecnologia de medição em termos de faturamento e retorno financeiro. Uma análise apenas do volume consumido refletiria o ganho técnico em perdas aparentes com a redução da submedição dos hidrômetros, e apenas este indicador não justificaria o aporte de investimento na troca dos medidores.

Em termos gerais, o volume faturado não é o mesmo que o volume consumido pois embora o usuário do serviço de água tenha consumido nada, ou 0 m³, precisa pagar um volume mínimo pela disponibilidade do serviço. Como exemplo, para unidades residenciais, mesmo que o consumidor tenha consumido um volume abaixo de 10 m³/mês, seu consumo faturado seria de 10 m³, sendo este o consumo faturado mínimo exigido pela Agência Tocantinense de Regulação (ATR, 2017).

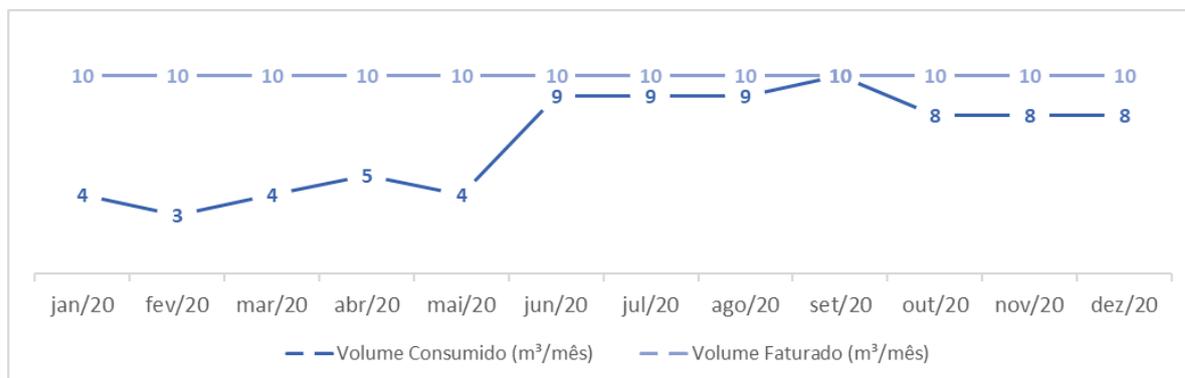
A Figura 42 apresenta o volume faturado por mês entre janeiro de 2019 e julho de 2021.

Figura 42 - Volume faturado (m³) entre 2019 e julho de 2021

Fonte: Autor (2021)

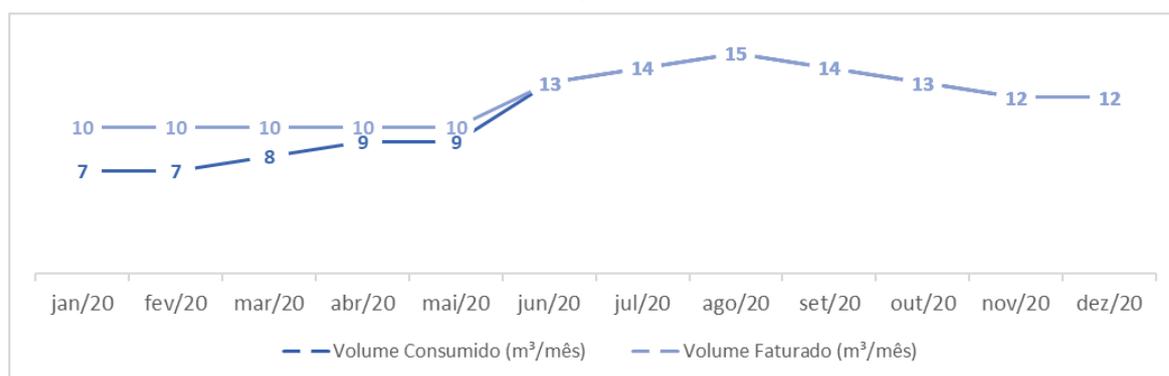
Observa-se na Figura 42 que houve um aumento do volume faturado após a instalação dos hidrômetros volumétricos em maio de 2020, entretanto, mais discreto do que o incremento de volume consumido. O incremento de volume consumido foi de 18,20% quando comparado ao período de junho/2020 a maio/2021 em relação a junho/2019 a maio/2020, e para o mesmo período, o incremento de volume faturado foi de 10,34%. Este comportamento já era esperado uma vez que o retorno de volume faturado é menor que o volume consumido, e o motivo é que embora um cliente aumente seu volume consumido dentro da faixa de 0 a 10 m³, o mesmo não mudará de faixa de consumo faturado, pois permaneceu pagando uma fatura com consumo de 10 m³ de água.

Como exemplo, foram analisados os casos de dois clientes, com ligação do tipo residencial, que tiveram seus consumos elevados devido a substituição do medidor velocimétrico antigo com submedição. A Figura 43 apresenta o histórico de consumo de água em metros cúbicos (m³) do cliente A no ano de 2020. Observa-se que houve um aumento do volume consumido a partir do mês de maio, com registros superiores aos meses anteriores. Conclui-se, com base na comparação entre volume consumido e faturado, que este cliente não teve alteração no valor da sua fatura, uma vez que permaneceu dentro da faixa mínima de consumo e continuou pagando a tarifa mínima estabelecida. Para este caso, houve um ganho em termos de redução de perdas aparentes por submedição, mas não houve incremento de volume faturado.

Figura 43 – Histórico de consumo de água (m³/mês) do cliente A no ano de 2020

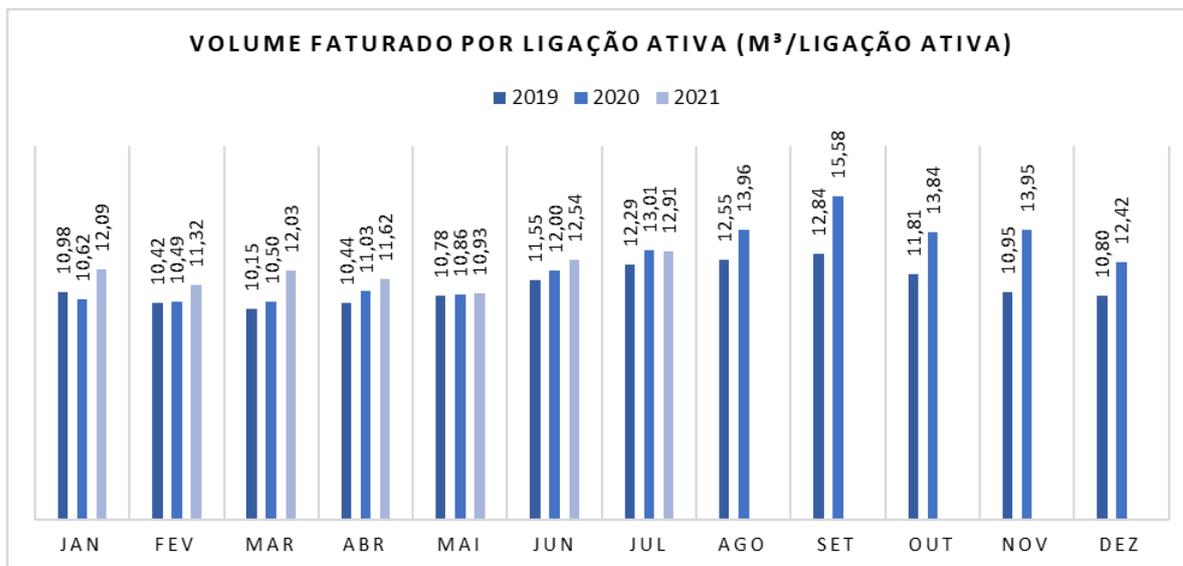
Fonte: Autor (2021)

Para o caso do cliente B, apresentado na Figura 44, foi percebido também um incremento de volume consumido após a substituição do hidrômetro, entretanto, houve a alteração da faixa de consumo que passou de 10 m³ e começou a ser faturado um volume equivalente ao volume consumido. Neste caso, houve a recuperação do volume perdido por submedição e incremento de volume faturado, além do ganho com redução das perdas aparentes por submedição ao passar a registrar o volume consumido correto.

Figura 44 – Histórico de consumo de água (m³/mês) do cliente B no ano de 2020

Fonte: Autor (2021)

A Figura 45 apresenta o volume faturado por ligação ativa (m³/ligação ativa) entre janeiro de 2019 e julho de 2021. O objetivo de apresentar este indicador é observar a evolução do volume faturado junto a oscilação das ligações apresentadas na Figura 38, e dessa forma, fazer uma avaliação mais precisa dos resultados.

Figura 45 - Volume faturado por ligação ativa (m³/ligação ativa) entre 2019 e julho de 2021

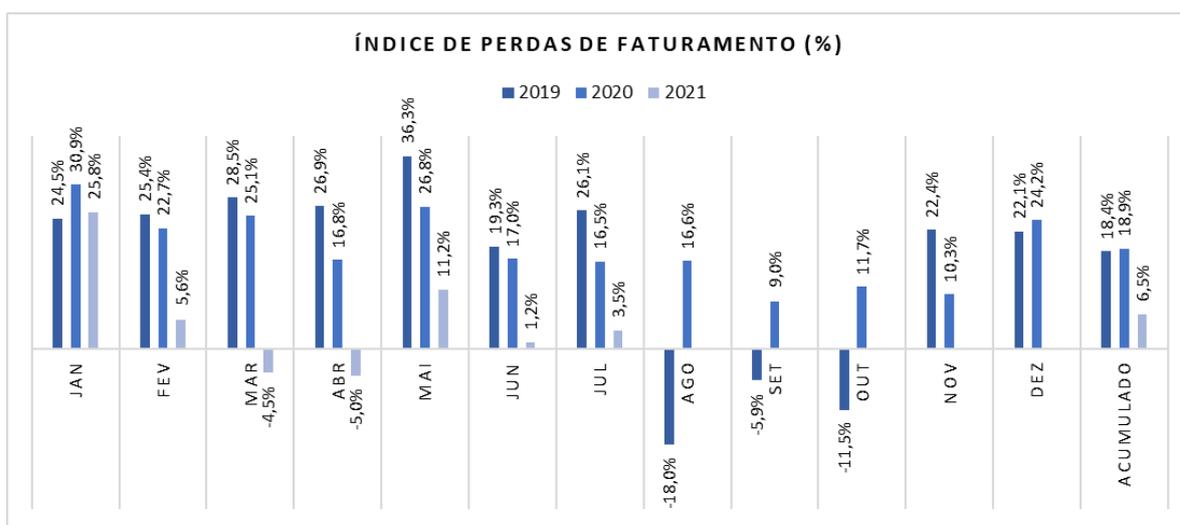
Fonte: Autor (2021)

Figura 45O retorno financeiro na recuperação de volume faturado é bastante expressivo após a instalação dos medidores volumétricos no mês de maio de 2020, conforme Figura 45. O volume médio faturado por ligação ativa passou de 11,36 para 12,73 m³/ligação, que representa um incremento de 1,37 m³/ligação (+12,09%), quando se compara o período de junho/2020 a maio/2021 em relação a junho/2019 a maio/2020.

O ganho de volume faturado com a substituição dos medidores é diferente entre os períodos do ano. Nos meses mais chuvosos e com temperaturas mais amenas (novembro a maio) o ganho médio foi de 1,30 m³/ligação e nos meses secos com temperaturas mais elevadas (junho a outubro) o ganho médio foi de 1,47 m³/ligação, período em que o consumo de água é maior.

Para o cálculo do índice de perdas de faturamento (Figura 46), foi considerado o volume disponibilizado para a população (Figura 40) e o volume faturado (Figura 42). Esse índice se difere do índice de perdas na distribuição pois não é analisada a eficiência do sistema em termos de perdas aparentes diretamente, mas do volume que é pago pela população, com uma visão mais econômica do que técnica.

Figura 46 - Índice de perdas de faturamento (%) entre 2019 e julho de 2021



Fonte: Autor (2021)

No acumulado da Figura 46, pode-se observar que o índice de perdas de faturamento reduz consideravelmente mês a mês, devido ao aumento do volume faturado por meio da substituição de hidrômetros (+12,09%). Observou-se em 2020 um aumento de 0,50 pontos percentuais, e em 2021, uma redução de 12,40 pontos percentuais. Em alguns meses, se percebe uma índice negativo (%), mas isso acontece quando o volume faturado é superior ao volume distribuído (produzido).

6 CONCLUSÕES

A curva de medição dos medidores velocimétricos antigos indicou um erro alto de medição em todas as vazões estudadas, e portanto, necessitavam de substituição imediata. O Índice de Desempenho da Medição indicou uma perda de 18,83% do volume consumido, que é muito relevante para o processo de faturamento de uma concessionária.

Este tipo de avaliação foi importante para se analisar o ganho real com a substituição da tecnologia de medição e avaliar as condições do parque, reforçando-se a recomendação da literatura em avaliar a substituição do parque já a partir do quinto ano de instalação.

Foi ainda possível criar um modelo de regressão com base no parque de Buritirana que pudesse projetar o IDM com base na idade, comprovando que há uma redução gradual do desempenho da medição, e para a realidade de Buritirana, acima de 1% ao ano. Outros estudos poderão ser feitos para incluir novas variáveis que possam impactar o desempenho da medição, como a posição do hidrômetro e fabricantes diferentes.

Houve redução de perdas aparentes satisfatória em relação ao projeto, com incremento de 20,11% ao ano no volume consumido e redução de perdas na distribuição em 10,40 pontos percentuais em 2021. Estes ganhos cumprem a expectativa de retorno em volume recuperado previsto no cálculo de submedição do parque e substituição pela nova tecnologia de medição. Houve ainda o incremento de 12,09% no volume faturado após a substituição do parque de medidores. Além dos ganhos calculados, existem ainda os ganhos de imagem com os clientes, agências reguladoras/governamentais e acionistas, e atendimento das normas vigentes.

Portanto, a substituição da tecnologia de medição foi eficiente uma vez que a substituição da tecnologia de medição para o tipo volumétrica trouxe os benefícios esperados em termos de recuperação de volume e faturamento. Avalia-se ainda o aumento da vida útil do medidor, que poderá chegar a 10 anos.

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.

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.

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.

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.

IBGE. **CENSO BRASILEIRO DE 2010**. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2010. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (**IBGE**).

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: 24^o. Encontro Técnico AESABESP. São Paulo, 2013.

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.

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; MENDAZA, 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.

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, 2011.

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.

TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento (SNIS)**. 2021. Disponível em: < https://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking_saneamento_2021/Relat%C3%B3rio_-_Ranking_Trata_Brasil_2021_v2.pdf>. Acesso em: 30 out. 2021.

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.

SDB METERING. Volumétrico Altair. **Hidrômetro Volumétrico**, 2021. Disponível em: < <https://www.sdbmetering.com.br/hidrometros-volumetrico-altair>>. Acesso em 15 de junho de 2020.

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.